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 hydrochimique et qualitative des eaux embouteillées

Présenté et soutenu publiquement par :

Mlle KHIER Ikhlas Nour El Houda

&

Mlle MADANI Khawla

Devant le jury composé de :

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

Année 2024/2025

REMERCIEMENTS

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de ce mémoire de master en hydrogéologie.

Tout d'abord, nous remercions chaleureusement notre encadrante de mémoire, **Mme. MEBROUK Naima**, pour son soutien constant, ses conseils avisés et sa patience tout au long de ce projet. Sa supervision éclairée a été essentielle à la réussite de ce travail.

Nous remercions également les membres du jury, **M. FOUKRACHE Mohamed** et **Mme. ABLAOUI Halima**, pour avoir accepté d'examiner notre travail.

Nos remerciements s'adressent également aux personnels de la Société de l'Eau et de l'assainissement d'Oran «-SEOR-», en particulier le laboratoire d’analyses physico-chimiques, pour leur collaboration.

Enfin, nous souhaitons exprimer notre reconnaissance à nos familles et à nos amis pour leur soutien inestimable et leur encouragement constant tout au long de ce parcours académique.

DEDICACE

Je dédie ce modeste travail :

À celui qui m'a aidé à devenir ce que je suis aujourd'hui, et qui m'a montré le bon chemin en me rappelant que la volonté mène toujours aux grandes réalisations :

*Mon HOMME, mon très cher **père**, j'aurais tant aimé que tu sois à mes côtés ce jour.*

Que Dieu ait pitié de ton âme.

À celle qui m'a soutenu et attendu avec patience les fruits de sa bonne éducation, qui m'a entourée d'amour et d'affection, et qui a tout fait pour ma réussite :

*Ma très chère **mère**, que Dieu te procure une bonne santé et une longue vie.*

*À mon petit homme, mon très cher frère **Cherif**.*

*À mes très chères et adorables princesses, mes sœurs **Yasmine** et **Aziza**.*

*À mes très chères et fidèles amies **Khawla** et **Sarra**.*

À tous mes enseignants de mon cycle d'études universitaire, plus spécialement à mes meilleurs, ceux qui ont partagé leur savoir avec passion et dévouement :

Madame ABLAOUI Halima, Madame MEBROUK Naima, Madame MEROUANE Fatima, Monsieur FOUKRACHE Mohamed, Monsieur BORSALI Toufik, Monsieur MANSOUR Hamidi, Monsieur ATIF Kheirredine, Monsieur BOUTERFA, Monsieur BELKHEDIM Salim, Monsieur SADJI Redouane, Monsieur BENREMDANE Hocine et Monsieur MAHBOUBI Younes.

À notre respectueux et serviable agent de sécurité du département, Monsieur MAHARI Omar, qui considère les étudiants comme ses enfants et les aide à tout moment.

KHIER Ikhlas Nour El Houda

DEDICACE

Je dédie ce travail, à ceux qui ont toujours été mon soutien et mon aide à chaque étape, ***mes chers parents****, le secret de mon existence et la lumière de mon chemin. À vous tout mon amour et ma gratitude pour votre soutien moral et vos encouragements constants qui ont été mon carburant.*

À la force de mon cœur, mes chères sœurs, ***Imene*** *et* ***Khadidja****, merci à vous d'être à mes côtés et pour vos encouragements incessants.*

À mes compagnes de route, et mes amies sincères, ***Ikhlas*** *et* ***Sarra****, qui ont supporté avec moi toutes les difficultés, partagé les nuits blanches, patienté face à mes changements d'humeur, et encouragé ma persévérance, merci à vous pour tous vos efforts, votre patience et votre soutien illimité.*

À ma chère cousine ***Malika****, qui m'a apporté un soutien précieux, tant moral que matériel, merci infiniment pour ta générosité.*

Et à celui qui m'a comblé de sa générosité et de son aide, ***mon oncle Omar****, mes plus sincères remerciements et ma gratitude.*

Je tiens également à exprimer mes plus vifs remerciements et ma reconnaissance à Mme ***ABLAOUI****, pour ses précieuses orientations et son soutien continu.*

À tous ceux-là, je dédie cette réussite qui n'aurait pu se concrétiser sans la grâce d'Allah puis leur aide et leurs encouragements.

MADANI Khawla

SOMMAIRE

Introduction.....1

Chapitre I : Généralités

I.1. Généralités sur l'eau embouteillée.....3
- I.1.1. Introduction.....3
- I.1.2. Notion d'eau embouteillée dans le monde.....4
  - I.1.2.1. Eaux embouteillées aux U.S.A.....4
    - I.1.2.1.1. Eau Purifiée.....4
    - I.1.2.1.2. Eau Minérale.....4
    - I.1.2.1.3. Eau de Source.....4
    - I.1.2.1.4. Eau Artésienne ou Eau de Puits Artésien.....4
    - I.1.2.1.5. Eau de Puits.....5
    - I.1.2.1.6. Eau Embouteillée Pétillante.....5
    - I.1.2.1.7. Eau Stérile ou Stérilisée.....5
  - I.1.2.2. Eaux Embouteillées dans l'Union européenne.....5
    - I.1.2.2.1. Eau Minérale Naturelle.....5
    - I.1.2.2.2. Eau de Source.....5
    - I.1.2.2.3. Autre Eau Potable Embouteillée.....5
  - I.1.2.3. Eaux Embouteillées en Algérie.....5
    - I.1.2.3.1. Eaux Minérales Naturelles (EMN).....6
    - I.1.2.3.2. Eaux de Source.....6
- I.1.3. Protection et Exploitation des Sources.....6
- I.1.4. Potabilité des eaux souterraines en Algérie 6

I.2. Hydrogéologie du nord algérien.....7
- I.2.1. Contexte géographique et climatique.....7
- I.2.2. Cadre géologique et structural.....9
  - I.2.2.1. Le nord de l'Algérie.....9
- I.2.3. Principaux aquifères du nord de l'Algérie.....10
  - I.2.3.1. Aquifères karstiques.....10
  - I.2.3.2. Aquifères alluviaux.....10
  - I.2.3.3. Aquifères sédimentaires.....11
  - I.2.3.4. Aquifères ignés.....11
- I.2.4. Les ressources hydriques en Algérie.....12

I.3. Historique de l'eau embouteillée en Algérie.....13
I.4. Conclusion.....15

Chapitre II : SYNTHESE DES PARAMETRES CARACTERISTIQUES & ASPECTS REGLEMENTAIRES

II.1. État des lieux en Algérie.....17
II.2. Paramètres caractéristiques de l'eau 18
- II.2.1. Principaux paramètres physiques de l'eau.....18
  - II.2.1.1. Température.....18
  - II.2.1.2. pH (Potentiel Hydrogène).....18
  - II.2.1.3. Conductivité électrique.....18
  - II.2.1.4. Turbidité.....19
  - II.2.1.5. Densité.....19
  - II.2.1.6. Tension superficielle.....20
  - II.2.1.7. Solubilité des gaz.....20

- II.2.1.8. Solides totaux dissous (TDS).....20
- II.2.2. Principaux paramètres chimiques de l'eau.....20
  - II.2.2.1. Alcalinité (Titre Alcalimétrique Complet - TAC)…..20
  - II.2.2.2. Dureté (Titre Hydrotimétrique – TH).....20
  - II.2.2.3. Ions majeurs dissous.....21
  - II.2.2.4. Oxygène dissous (O_2).....21
  - II.2.2.5. Matières organiques (Indicateurs Globaux).....21
  - II.2.2.6. Nutriments (Azote et Phosphore).....21

II.3. Qualité de l'eau potable.....22
- II.3.1. Normes nationales algériennes pour la qualité de l'eau potable.....22
  - II.3.1.1. Cadre légal et réglementaire régissant l'eau potable en Algérie.....22
  - II.3.1.2. Paramètres physico-chimiques, normes et valeurs limite.....22
  - II.3.1.3. Paramètres microbiologiques, normes et valeurs limites.....23
  - II.3.1.4. Paramètres radiologiques, normes et valeurs limites.....23
- II.3.2. Directives de l'OMS pour la qualité de l'eau potable.....25
  - II.3.2.1. Aperçu du rôle et approche de l'OMS dans la qualité d'eau potable.....25
  - II.3.2.2. Principes clés et cadre des directives de l'OMS.....25
  - II.3.2.3. Paramètres physico-chimiques, directives et valeurs recommandées….....25
  - II.3.2.4. Paramètres microbiologiques, directives et valeurs recommandées.....25
  - II.3.2.5. Paramètres radiologiques, directives et valeurs recommandées.....26

II.4. Conclusion.....27

Chapitre III : METHODOLOGIE & ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES (SUR LES ETIQUETTES)

III.1. Méthodes d'analyse de quelques paramètres.....29
- III.1.1. La mesure du pH….....29
- III.1.2. L'analyse de la conductivité électrique.....29
- III.1.3. Technique d'évaluation de la turbidité.....29
- III.1.4. Analyse du titre alcalimétrique complet et de la dureté totale.....29
- III.1.5. Méthodes analytiques pour les ions majeurs……..……..…30
- III.1.6. Techniques de détermination des nitrates (NO_3^-)……...……...…31

III.2. Sélection des sites…….....31
- III.2.1. Aperçu général…….....……..……..…...31
- III.2.2. Présentation des marques d'eaux étudiées.....33
  - III.2.2.1. Eaux de source33
  - III.2.2.2. Eau minérale34
- III.2.3. Discussion comparative…….....……..…....35

III.3. Paramètres physico-chimiques étudiées.....36
- III.3.1. Le résidu sec.....……..……..…..38
- III.3.2. Les ions majeurs.....38
  - III.3.2.1. Les bicarbonates.....38
  - III.3.2.2. Les sulfates.....39
  - III.3.2.3. Les chlorures.....40
  - III.3.2.4. Le sodium.....40
  - III.3.2.5. Le calcium.....41
  - III.3.2.6. Le potassium.....41
  - III.3.2.7. Le magnésium.....42
- III.3.3. Le pH…….....42
- III.3.4. Les éléments azotés.....43
  - III.3.4.1. Les nitrates.....43

- III.3.4.2. Les nitrites.....43

III.4. Conclusion.....44

Chapitre IV : Résultats et discussion

IV.1. Interprétation graphique des résultats sur les étiquettes……..…….46

- IV.1.1. Balance ionique……..46
- IV.1.2. Représentations graphiques……47
  - IV.1.2.1. Diagramme de Schoeller-Berkaloff…….47
  - IV.1.2.2. Diagramme de Piper……48
  - IV.1.2.3. Diagramme de Stabler……49

IV.2. Interprétation des résultats des analyses réalisées au laboratoire……..52

- IV.2.1. Présentation des résultats…….……...52
- IV.2.2. Balance ionique……..56
- IV.2.3. Représentations graphiques…….……...57
  - IV.2.3.1. Diagramme de Schoeller-Berkaloff…….57
  - IV.2.3.2. Diagramme de Piper……....57
  - IV.2.3.3. Diagramme de Stabler……..…58

IV.3. Comparaison et Discussions……..59

IV.4. Conclusion…….……61

Conclusion & recommandations…..……..64

Références bibliographiques……...……...…….……..66

RESUME

Ce mémoire de Master en Hydrogéologie a pour objectif la **caractérisation hydrochimique et qualitative de quelques eaux embouteillées** disponibles sur le marché, conformément aux normes de potabilité algériennes et de l'OMS. L'étude a porté sur l'analyse de divers paramètres physico-chimiques (pH, conductivité électrique, turbidité, dureté) et la quantification des anions et cations majeurs (nitrates, nitrites, chlorures, sulfates, etc.). Les résultats ont permis de comparer et de vérifier la conformité de ces eaux par rapport aux standards de consommation humaine et de mettre en évidence leurs faciès hydrochimiques spécifiques. Ce travail contribue à une meilleure connaissance de la qualité des eaux embouteillées, fournissant ainsi des informations précieuses pour les consommateurs, les producteurs et les autorités de régulation, tout en soulignant l'importance d'une surveillance continue pour la protection de la santé publique.

Mots clés : Eaux embouteillées, Hydrogéologie, Hydrochimie, Qualité de l'eau, Potabilité, Analyse physico-chimique, Normes de l'eau, Algérie.

الملخص

يهدف هذا البحث المقدم لنيل شهادة الماستر في الهيدروجيولوجيا إلى **التوصيف الهيدروكيميائي والنوعي لبعض المياه المعبأة** المتوفرة في السوق، وذلك بما يتوافق مع معايير الشرب الجزائرية ومنظمة الصحة العالمية. ركزت الدراسة على تحليل مختلف المعايير الفيزيوكيميائية (الرقم الهيدروجيني pH، الناقلية الكهربائية، العكارة، قساوة المياه) وتحديد كمية الأنيونات والكاتيونات الرئيسية (النيترات، النيتريت، الكلوريدات، الكبريتات، إلخ). أتاحت النتائج مقارنة هذه المياه والتحقق من مطابقتها لمعايير الاستهلاك البشري وإبراز سماتها الهيدروكيميائية الخاصة. يساهم هذا العمل في تحسين المعرفة بـجودة المياه المعبأة، وبالتالي يوفر معلومات قيمة للمستهلكين والمنتجين والسلطات التنظيمية، مع التأكيد على أهمية المراقبة المستمرة لحماية الصحة العامة.

الكلمات المفتاحية : المياه المعبأة، الهيدروجيولوجيا، الهيدروكيمياء، جودة المياه، قابلية الشرب، التحليل الفيزيوكيميائي، معايير المياه، الجزائر.

SUMMARY

This Master's research in Hydrogeology aims to hydrochemically and qualitatively characterizes several bottled waters available on the market, in accordance with Algerian and WHO drinking water standards. The study involved analyzing various physicochemical parameters (pH, electrical conductivity, turbidity, hardness) and quantifying major anions and cations (nitrates, nitrites, chlorides, sulfates, etc.). The results allowed for the comparison and verification of these waters' compliance with human consumption standards and highlighted their specific hydrochemical facies. This work contributes to a better understanding of bottled water quality, providing valuable information for consumers, producers, and regulatory authorities, while emphasizing the importance of continuous monitoring for public health protection.

Keywords: Bottled water, Hydrogeology, Hydrochemistry, Water quality, Potability, Physicochemical analysis, Water standards, Algeria.

LISTE DES FIGURES

Figure 01 : Répartition de l'eau sur terre……...03

Figure 02 : Grands ensembles de l'Algérie……...08

Figure 03 : Géologie du nord algérien……...10

Figure 04 : Aquifères de l'Algérie……12

Figure 05 : Eaux embouteillées du nord algérien……..15

Figure 06 : Classification de l'eau en fonction du TH……..……21

Figure 07 : Répartition géographique des marques d'eaux étudiées…….32

Figure 08 : Concentrations des résidus secs en mg/l des eaux étudiées……38

Figure 09 : Concentrations des bicarbonates en mg/l des eaux étudiées……...39

Figure 10 : Concentrations des sulfates en mg/l des eaux étudiées…...……39

Figure 11 : Concentrations des chlorures en mg/l des eaux étudiées……40

Figure 12 : Concentrations du sodium en mg/l des eaux étudiées……40

Figure 13 : Concentrations du calcium en mg/l des eaux étudiées……41

Figure 14 : Concentrations du potassium en mg/l des eaux étudiées……41

Figure 15 : Concentrations du magnésium en mg/l des eaux étudiées……..42

Figure 16 : Valeurs du pH des eaux étudiées……42

Figure 17 : Concentrations des nitrates en mg/l des eaux étudiées……...43

Figure 18 : Concentrations des nitrites en mg/l des eaux étudiées……44

Figure 19 : Diagramme de Schoeller-Berkaloff (analyse étiquette)……..48

Figure 20 : Diagramme de Piper (analyse étiquette)……49

Figure 21 : Diagramme de Stabler (analyse étiquette)……..50

Figure 22 : Diagramme de Schoeller-Berkaloff (analyse laboratoire)……..57

Figure 23 : Diagramme de Piper (analyse laboratoire)…….58

Figure 24 : Diagramme de Stabler (analyse laboratoire)……...58

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 01 : Conductivité moyenne de quelques eaux à 20°C…….19

Tableau 02 : Densité de l'eau à des températures différentes……19

Tableau 03 : Normes nationales algériennes pour la qualité de l'eau potable……...24

Tableau 04 : Directives de l'OMS pour la qualité de l'eau potable……..26

Tableau 05 : Répartition par bassin hydrographique des marques d'eaux étudiées……..32

Tableau 06 : Résultats des analyses chimiques des étiquettes des eaux de source……...37

Tableau 07 : Résultats des analyses chimiques des étiquettes des eaux minérales……...37

Tableau 08 : Balances ioniques (analyse étiquettes)…….46

Tableau 09 : Faciès chimiques (analyse étiquettes)……..51

Tableau 10 : Résultats des analyses chimiques des eaux de source au laboratoire……...52

Tableau 11 : Résultats des analyses chimiques des eaux minérales au laboratoire……..53

Tableau 12 : Paramètres physicochimiques mesurées en plus……..54

Tableau 13 : Classification de TH…….55

Tableau 14 : Classification des eaux étudiées selon le TH……...55

Tableau 15 : Balances ioniques (analyse laboratoire)……...……56

LISTE DES ABREVIATIONS

OMS : Organisation Mondiale de la Santé……17

IANOR : Institut Algérien de Normalisation…….……22

CEE : Communauté Économique Européenne……..22

PSSE : Plans de Sécurité Sanitaire de l'Eau……...25

SAA : Spectrométrie d'Absorption Atomique……30

IPA : Institut Pasteur d'Algérie……..36

ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques……36

CNT : Centre National de Toxicologie……..36

méq/l : milli-équivalent par litre……47

INTRODUCTION

« L'eau est la source de la vie » dit- on, cette assertion prend tout son sens quand on sait que toute créature à cycle de vie en général a besoin d'eau pour s'épanouir et que la masse corporelle de l'adulte chez l'être humain en particulier est constituée de 60 % d'eau (*In* Oumou, 2012).

Cette étude s'articule autour de la problématique des défis liés à la qualité de l'eau embouteillée en Algérie et de leur impact sur la santé publique. La croissance rapide du marché de l'eau embouteillée avec plus d'une quarantaine de marques présentes sur le marché algérien, soulève des préoccupations quant à la conformité aux normes de qualité et à la sécurité des consommateurs.

En Algérie, l'eau embouteillée est devenue une alternative privilégiée face à la qualité variable de l'eau du robinet, souvent en raison de la pénurie ou de la suspicion sur la qualité de l'eau de distribution. Cependant, cette dépendance accrue à l'eau embouteillée nécessite une surveillance rigoureuse pour garantir sa qualité microbiologique et physico-chimique, afin de prévenir tout risque sanitaire.

Depuis une vingtaine d'année, le marché des eaux embouteillées connait une forte croissance; ce développement s'est concrétisé par l'implantation de dizaine d'unité d'exploitation et de production à travers l'ensemble du territoire national; il a été aussi accompagné par une augmentation exceptionnelle de la consommation dont la part par habitant a remarquablement évolué (*In* Hazzab, 2011).

Le contrôle de la qualité de l'eau est cependant devenu impératif. Il joue un rôle important dans la santé publique car celle-ci est susceptible d'engendrer des altérations catastrophiques sur le sol, sur l'organisme humain et même de toucher à la santé de toute une population (Roux, 1987).

Ce travail a pour but :

- premièrement, d'analyser et présenter la réglementation en vigueur concernant l'exploitation et la protection de l'eau embouteillée en Algérie,

- deuxièmement, caractériser physico-chimiquement ces eaux en se basant sur leurs compositions indiquées sur les étiquettes.

- troisièmement, analyser au laboratoire ces mêmes échantillons et procéder à une comparaison des résultats avec celles sur les étiquettes

- Enfin, discuter et interpréter les résultats obtenus

.

CHAPITRE I

GENERALITES

I.1. Généralités sur l'eau embouteillée

I.1.1. Introduction

L'histoire de l'eau est en quelque sorte l'histoire de la vie, elle est un constituant essentiel de toute créature vivante sur terre et un besoin vital pour l'homme qui s'en sert également comme source d'énergie, moteur d'industrie et pilier d'irrigation.

L'eau est un corps incolore, claire, inodore, de saveur agréable, et liquide aux températures ordinaires, résultante de la combinaison d'une molécule d'oxygène et deux molécules d'hydrogène et qui peut dissimuler un certain nombre de corps (*In* Kettab, 1992).

L'eau est en effet la substance minérale la plus répandue à la surface du globe (Desgrement, 2005).

Elle représente un stock imposant d'environ $1{,}45 \times 10^9$ km³; ce stock se répartit en océans 97,4%, en glaces 2%, en réserves fossiles de profondeur 0,6%, en eaux de surfaces dont les mers intérieurs, les lacs et rivières 0,016% et l'atmosphère 0,001%, le rôle énergétique et climatique de ces eaux de surface est considérable et pourtant il demeure pour la biosphère continentale un élément souvent rare et en tous cas mal réparti dans l'espace et dans le temps (Rodier et al., 2009) (Figure 01).

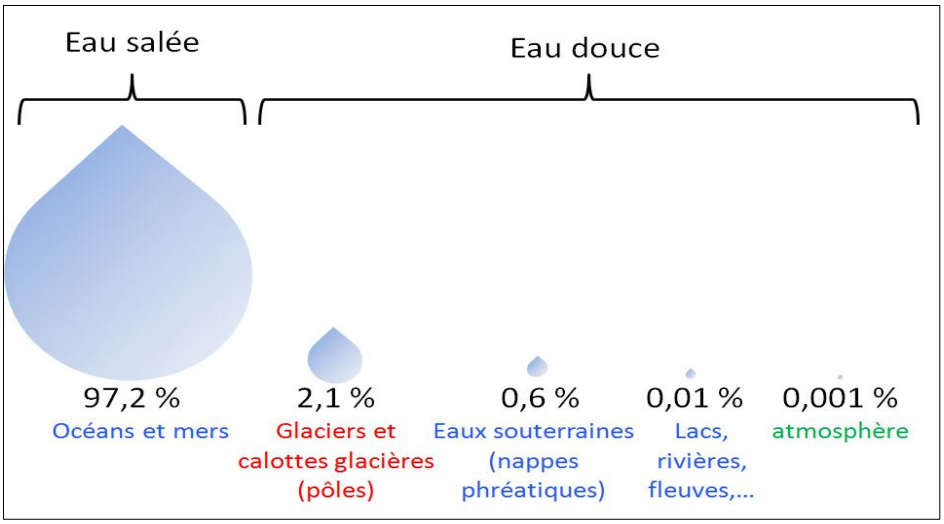


Figure 01 : Répartition de l'eau sur terre (*In* lab.phys.free.fr, 2009)

L'accès à une eau de boisson saine est une condition indispensable à la santé, un droit humain élémentaire et une composante clé des politiques efficaces de protection sanitaire (*In* Bouhali et *al*., 2020).

L'eau en bouteille est l'une des boissons les plus populaires au monde. Les raisons de cette popularité sont la commodité, la grande disponibilité et leur pureté perçue. L'eau en bouteille produite à partir de différentes sources contient différents types et quantités de minéraux dissous et de gaz.

L'eau embouteillée est généralement définie comme de l'eau potable (par exemple, eau de puits, eau distillée, eau osmose, eau minérale ou eau de source) conditionnée dans des

bouteilles en plastique ou en verre. Elle peut être gazeuse ou non, avec des formats d'emballage allant de petites bouteilles individuelles à de grandes bonbonnes pour distributeurs d'eau. Ce segment représente une part significative et croissante du marché mondial des boissons, stimulée par la commodité, les avantages perçus pour la santé et les préoccupations concernant la qualité de l'eau du robinet.

I.1.2. Notion d'eau embouteillée dans le monde

I.1.2.1. Eaux embouteillées aux U.S.A

Aux États-Unis, la Food and Drug Administration (FDA) est l'autorité fédérale principale chargée d'assurer la sécurité et la qualité de l'eau embouteillée. Ses réglementations sont principalement énoncées dans le Code of Federal Regulations (CFR).

L'eau embouteillée est généralement définie comme de l'eau destinée à la consommation humaine, scellée dans des bouteilles ou d'autres récipients, sans ingrédients ajoutés, à l'exception d'agents antimicrobiens sûrs et appropriés, et le fluorure peut être ajouté en option dans certaines limites spécifiées. La FDA a établi des définitions complètes pour diverses catégories d'eaux embouteillées :

I.1.2.1.1. Eau Purifiée : Cette catégorie désigne l'eau produite par des processus tels que la distillation, la déionisation, l'osmose inverse ou d'autres méthodes appropriées. Elle doit répondre à la définition d'eau purifiée telle qu'énoncée dans la Pharmacopée des États-Unis. Elle peut également être étiquetée comme eau déminéralisée ou porter le nom du processus de purification spécifique utilisé (par exemple, eau déionisée, eau distillée, eau d'osmose inverse). Cette catégorie met l'accent sur la pureté atteinte grâce au traitement plutôt que sur l'état naturel de la source.

I.1.2.1.2. Eau Minérale : Définie comme de l'eau contenant au moins 250 parties par million (ppm) de solides totaux dissous (TDS). Elle doit provenir d'une source d'eau souterraine géologiquement et physiquement protégée, captée par un ou plusieurs forages ou sources. Une caractéristique essentielle est son niveau constant et ses proportions relatives de minéraux et d'oligo-éléments à sa source. Il est crucial qu'aucun minéral ne puisse être ajouté à cette eau. Un étiquetage spécifique est requis en fonction des niveaux de TDS : faible teneur en minéraux pour moins de 500 ppm de TDS, et haute teneur en minéraux pour plus de 1 500 ppm de TDS.

I.1.2.1.3. Eau de Source : Cette eau est dérivée d'une formation souterraine d'où l'eau s'écoule naturellement vers la surface de la Terre. La collecte doit avoir lieu soit directement à la source naturelle, soit par un forage qui capte la formation souterraine alimentant la source.

I.1.2.1.4. Eau Artésienne ou Eau de Puits Artésien : Il s'agit d'eau provenant d'un puits qui capte un aquifère confiné, où le niveau d'eau se situe à une certaine hauteur au-dessus du sommet de l'aquifère, s'écoulant souvent naturellement à la surface en raison de la pression.

I.1.2.1.5. Eau de Puits : Il s'agit d'eau embouteillée obtenue à partir d'un trou foré, creusé ou autrement construit dans le sol, qui capte l'eau d'un aquifère.

I.1.2.1.6. Eau Embouteillée Pétillante : Cette catégorie désigne l'eau qui, après traitement et remplacement éventuel du dioxyde de carbone, contient la même quantité de dioxyde de carbone qu'elle avait à l'émergence de la source.

I.1.2.1.7. Eau Stérile ou Stérilisée : Il s'agit d'eau qui répond aux exigences de stérilisation spécifiques, par exemple, celles spécifiées dans les "tests de stérilité" de la Pharmacopée des États-Unis.

I.1.2.2. Eaux embouteillées dans l'Union Européenne

L'Europe dispose de l'un des cadres juridiques les plus efficaces et les plus stricts au monde pour les eaux d'origine naturelle, conçu pour garantir que ces eaux parviennent aux consommateurs dans leur état d'origine. Ce cadre met fortement l'accent sur la pureté naturelle de l'eau lorsqu'elle traverse les structures géologiques de ses sources souterraines protégées. La législation de l'UE distingue clairement trois catégories d'eaux :

I.1.2.2.1. Eau Minérale Naturelle : Cette eau provient d'une source souterraine géologiquement et physiquement protégée. Elle se caractérise par sa pureté naturelle et une composition minérale unique et stable. Il est crucial que l'eau minérale naturelle ne nécessite pas de traitements chimiques ou de désinfection pour être propre à la consommation. Chaque eau minérale naturelle en Europe doit recevoir une reconnaissance officielle de l'autorité compétente de l'État membre et être publiée au Journal Officiel de l'Union Européenne (plus de 2000 eaux minérales naturelles ont été reconnues).

I.1.2.2.2. Eau de Source : Similaire à l'eau minérale naturelle, l'eau de source provient également d'une formation souterraine d'où l'eau s'écoule naturellement vers la surface de la Terre. Elle est naturellement pure et, comme l'eau minérale naturelle, ne nécessite pas de traitements chimiques ou de désinfection pour être propre à la consommation.

I.1.2.2.3. Autres Eaux Potables Embouteillées : Cette catégorie englobe les eaux qui ne répondent pas aux critères stricts des eaux minérales naturelles ou des eaux de source. Il s'agit souvent d'eau potable traitée, plus communément appelée eau du robinet, qui a été embouteillée.

Les directives européennes pertinentes, telles que la Directive 2009/54/CE, établissent des règles spécifiques pour les eaux minérales naturelles et les eaux de source, les distinguant clairement de l'eau potable générale.

I.1.2.3. Eaux embouteillées en Algérie

L'Algérie possède un héritage significatif en matière d'eaux minérales, qui ont été nationalisées en 1966 sous l'égide de la Société Nationale des Eaux Minérales (SNEM). Après la dissolution de la SNEM dans les années 1990, plus d'une centaine d'entreprises privées ont émergé, spécialisées dans la production et la commercialisation des eaux minérales. En Algérie, les eaux souterraines sont considérées comme du domaine public, et leur exploitation est soumise à l'accord de l'autorité compétente de l'État. Les définitions et critères sont les suivants :

I.1.2.3.1. Eaux Minérales Naturelles (EMN) : Elles sont exploitées exclusivement à partir de gisements souterrains microbiologiquement sains et protégés contre les risques de pollution. L'eau minérale naturelle est captée soit par une source, soit par un forage. Elle est définie par la réglementation comme étant pure, géologiquement protégée, et possédant une composition minérale parfaitement stable. Il est crucial qu'elle ne subisse aucun traitement chimique ni désinfection avant son embouteillage ou son utilisation thermale.

I.1.2.3.2. Eaux de Source : Elles sont également d'origine exclusivement souterraine, propres à la consommation humaine, microbiologiquement saine et protégées contre les risques de contamination. Une distinction clé par rapport à l'eau minérale naturelle en Algérie est que l'appellation "eau de source" est accordée si sa composition minérale est variable dans le temps.

Cette distinction unique en Algérie, basée sur la stabilité de la composition minérale dans le temps, introduit une dimension temporelle critique et scientifiquement fondée dans la définition de l'eau minérale naturelle, la différenciant de l'eau de source. Cela implique qu'une évaluation hydrogéologique plus rigoureuse et à long terme est requise pour la reconnaissance de l'eau minérale, garantissant que ses propriétés intrinsèques (souvent liées à des bienfaits pour la santé en raison de sa teneur minérale spécifique) sont constamment respectées. L'eau de source, bien que d'origine naturelle et microbiologiquement sûre, est reconnue pour avoir des profils minéraux potentiellement fluctuants. Cette approche reflète un engagement scientifique et réglementaire plus profond envers la constance du profil de l'eau minérale en tant que produit distinct.

I.1.3. Protection et Exploitation des Sources

Les États-Unis exigent que l'eau provienne de lieux approuvés et que les installations d'embouteillage respectent les Bonnes Pratiques de Fabrication (BPF).

L'Union Européenne met l'accent sur les sources souterraines géologiquement et physiquement protégées pour les eaux minérales naturelles et les eaux de source, avec une surveillance rigoureuse dès la source pour garantir la pureté et l'intégrité.

L'Algérie démontre le contrôle étatique le plus explicite et détaillé sur l'exploitation des sources d'eau. Les eaux souterraines sont considérées comme du domaine public, nécessitant l'accord de l'autorité étatique et des concessions formelles pour l'exploitation commerciale. Des "périmètres de protection quantitative" stricts sont établis, interdisant les activités qui pourraient nuire à la qualité de l'eau autour des sources. Le cadre réglementaire algérien reflète une forte philosophie nationale de gestion des ressources, avec une surveillance étatique étendue sur l'exploitation et la protection des sources d'eau.

I.1.4. Potabilité des eaux souterraines en Algérie

Les eaux souterraines ont pendant longtemps, été synonymes « d'eaux propres » répondant naturellement aux normes de potabilité, ces eaux sont en effet moins sensibles aux pollutions accidentelles. Étant donné que les eaux souterraines sont généralement pures sur le plan

bactériologique (UNICEF, 1999), elles constituent une meilleure solution que les eaux de surface en termes de génie sanitaire (*In* Fiambsch, 1998).

En Algérie, les eaux souterraines constituent une ressource vitale, étant une importante source d'approvisionnement en eau potable. Cependant, la qualité de ces eaux est confrontée à plusieurs défis, qu'ils soient d'origine naturelle ou anthropique.

La minéralisation des eaux souterraines en Algérie est souvent élevée, principalement contrôlée par la dissolution des minéraux et les échanges de base. Des études ont montré une minéralisation importante, avec des faciès chimiques dominants de type chloruré sulfaté calcique et magnésienne. Ce type d'eau résulte souvent d'un mélange entre des eaux provenant d'environnements calcaire-dolomitique et des eaux d'infiltration issues des pluies ou du retour des eaux d'irrigation. Des concentrations élevées en ions tels que Ca^{2+}, Cl^{-}, SO_4^{2-}, Na^{+} et Mg^{2+}, sont fréquemment observées, ce qui se traduit par des conductivités électriques très élevées. Cette salinité peut être d'origine géologique (primaire) ou s'accroître continuellement en raison d'une mauvaise gestion de la ressource en eau et des sols (salinisation secondaire). C'est pourquoi la saveur de l'eau potable varie d'une région à l'autre. Ces arômes reflètent la composition chimique des roches ou des sédiments par lesquels les eaux souterraines s'écoulent, la nature des processus microbiens qui se produisent dans ces roches ou ces sédiments et le cadre hydrogéologique des systèmes d'eau souterraine eux-mêmes.

I.2. Hydrogéologie du nord algérien

I.2.1. Contexte géographique et climatique

L'Algérie, avec une superficie d'environ 2,4 millions de km², est bordée au nord par la mer Méditerranée et se caractérise par une grande diversité de reliefs, subdivisée en 58 wilayas. Le nord du pays est dominé par le Tell, une zone côtière et montagneuse, suivie des Hauts Plateaux et des chaînes atlasiques, avant de laisser place au vaste Sahara au sud **(**Figure 02).

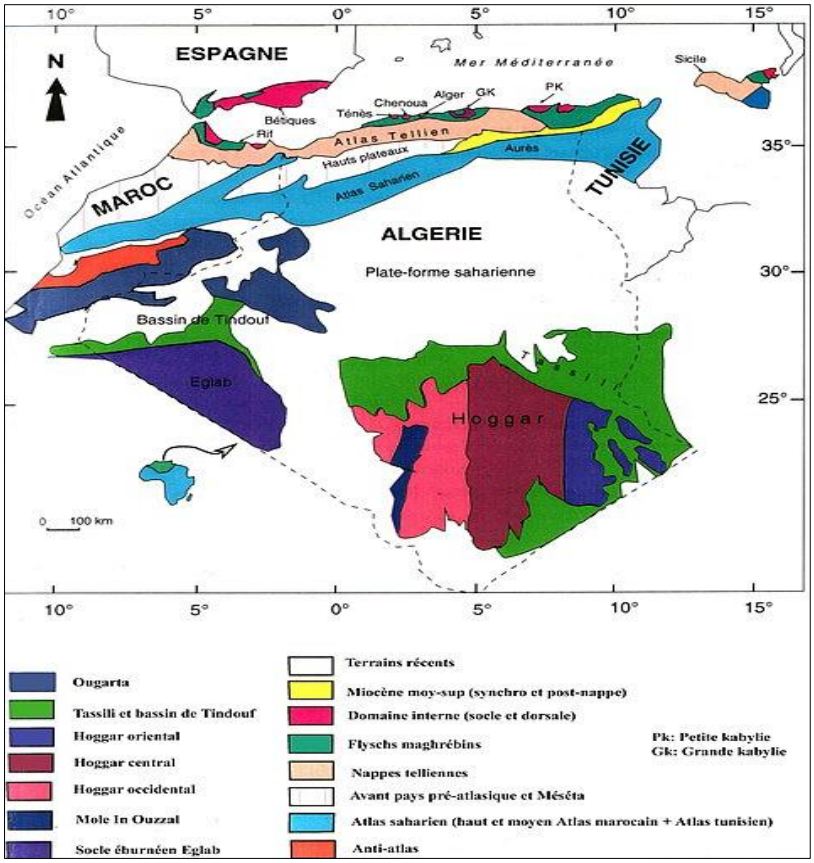


Figure 02 : Grands ensembles de l'Algérie (Belhai, 1996)

Le climat du nord de l'Algérie est principalement méditerranéen, caractérisé par des étés chauds et secs et des hivers doux et pluvieux, avec des épisodes neigeux fréquents en altitude.

Les températures moyennes estivales et hivernales varient entre 11°C et 25°C sur les côtes, atteignant 28°C-30°C en juillet et août. Dans les montagnes de Kabylie, les hivers peuvent être rigoureux, avec des températures avoisinant 3°C, voire -7°C, et une neige abondante. Les Hauts Plateaux et les vallées intérieures connaissent des étés particulièrement chauds, avec des températures pouvant atteindre 46°C à Tizi Ouzou, tandis que le Sahara au sud présente des variations diurnes extrêmes, allant de 15-28°C en hiver à plus de 45-50°C en été.

La pluviométrie en Algérie est très variable, tant mensuellement qu'annuellement. La région du Tell, au nord, est la plus humide, avec des précipitations annuelles variant entre 400 et 1000 mm. La Kabylie bénéficie d'une pluviométrie relativement abondante, facilitant le développement agricole, avec des moyennes dépassant 1000 mm dans certaines zones comme Larbaâ Nath Irathen, cependant, une forte variabilité latitudinale est observée, avec des précipitations moyennes annuelles diminuant drastiquement du littoral (1500 mm à Jijel) vers les régions sahariennes (50 mm dans le M'Zab).

L'Algérie se situe dans l'une des régions les plus arides du globe et fait face à un stress hydrique croissant. Les ressources en eau sont limitées, vulnérables et inégalement réparties. Le pays subit depuis plus de deux décennies les effets néfastes de sécheresses prolongées, notamment observées dans les années 1980 et 1990. Cette instabilité pluviométrique,

combinée à l'augmentation des températures qui accroît la capacité d'évaporation, crée un cycle où la ressource déjà limitée est rendue encore plus imprévisible.

Le dérèglement de la répartition annuelle des pluies, se traduisant par une alternance d'inondations et de sécheresses, aggrave la situation. Cette dynamique climatique associée à une croissance démographique rapide, entraîne une augmentation constante des besoins en eau, exacerbant la compétition pour l'utilisation de la ressource entre les secteurs agricole, industriel et domestique.

Face à cette situation critique, la dépendance à la pluviométrie est devenue un enjeu majeur, le pays a donc entrepris des efforts considérables, notamment au cours de la dernière décennie, pour diversifier ses sources d'approvisionnement en eau.

Des solutions innovantes et résilientes, telles que le dessalement d'eau de mer et la réutilisation des eaux traitées, sont déployées pour couvrir une part croissante des besoins en eau potable et réduire la vulnérabilité aux aléas climatiques.

I.2.2. Cadre géologique et structural

La structure géologique de l'Algérie est un déterminant majeur de la distribution et des caractéristiques de ses ressources en eau. Le pays est divisé en deux unités tectoniques principales, séparées par l'Accident Sud-Atlasique (ASA), également connu sous le nom de Flexure Saharienne, qui s'étend d'Agadir au Maroc jusqu'à Gabès en Tunisie, traversant l'Algérie près de Biskra et Laghouat.

I.2.2.1. Le nord de l'Algérie

Cette région porte l'empreinte de la tectonique alpine et fait partie de la chaîne des Maghrébides, formée par l'évolution géodynamique de la Téthys. Elle présente une mosaïque géologique complexe, incluant l'Atlas Tellien (une zone complexe de nappes mises en place au Miocène inférieur), l'Atlas Saharien (caractérisé par des formations détritiques et siliceuses du Crétacé), des plates-formes comme la Meseta Oranaise, et des bassins néogènes tardifs tels que le Chélif, le Hodna, Constantine et la Soummam, des formations de flysch du Crétacé et du Paléogène sont également présentes.

La géologie du nord de l'Algérie exerce un contrôle fondamental sur l'hydrogéologie de la région. Les forces tectoniques, résultant notamment de la collision entre les chaînes atlasique et tellienne, ont créé des systèmes de fracturation complexes qui augmentent la perméabilité des roches et influencent directement les chemins d'écoulement des eaux souterraines.

La nature lithologique des formations rocheuses (calcaires, dolomies, grès, marnes, évaporites) détermine le type d'aquifère (karstifié, poreux, captif) **(**Figure 03). De manière générale, la composition chimique de l'eau par dissolution minérale, par exemple, les formations carbonatées karstifiées favorisent un écoulement rapide et l'acquisition d'une minéralisation spécifique, de même, le contact de l'eau avec des formations salines, comme les diapirs triasiques ou le Chott El Hodna, conduit à une augmentation significative de la salinité des eaux**.**

Une compréhension approfondie de ces contrôles géologiques est indispensable pour une exploration efficace des eaux souterraines, une extraction durable et la mise en œuvre de stratégies ciblées de prévention de la pollution.

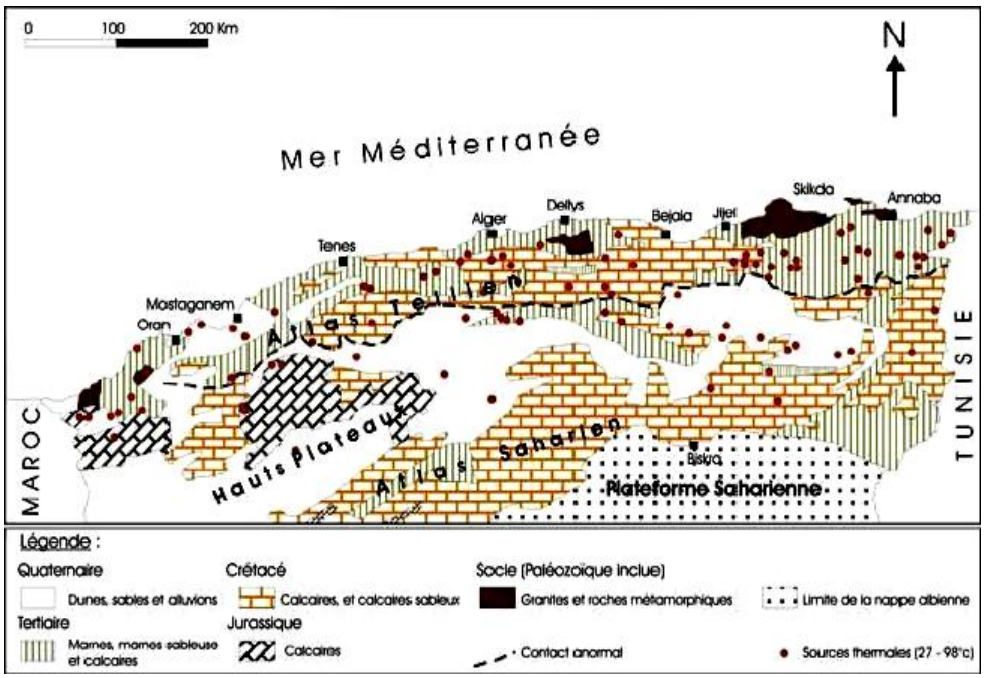


Figure 03 : Géologie du nord algérien (*In* Fekraoui & Kedaid, 2005)

I.2.3. Principaux aquifères du nord de l'Algérie

Le potentiel exploitable total en eaux souterraines est estimé à environ 2,7 milliards de m³ dans la région de l'Atlas du nord et à 5 milliards de m³ dans la région du Sahara Sud.

Les aquifères importants dans le domaine de l'Atlas du nord sont souvent fragmentés.

I.2.3.1. Aquifères karstiques

Ces aquifères sont constitués de vastes formations calcaires, souvent très productives, avec des débits observés dépassant 100 l/s dans des régions telles que les Monts de Tlemcen, Constantine, Hodna, Chott Chergui, Mascara et Djurdjura. L'eau y est stockée et circule principalement à travers des fractures et des conduits karstiques (Figure 04).

Les monts de Tlemcen reconnus comme un "château d'eau" dans l'ouest de l'Algérie, cette région est remarquable pour ses grands aquifères karstiques qui offrent une productivité élevée malgré une capacité de stockage relativement limitée.

I.2.3.2. Aquifères alluviaux

On les trouve dans de grandes plaines d'effondrement comblées par des dépôts alluviaux, comme la Mitidja, Chlef, Soummam et Annaba (Figure 04).

Ces systèmes sont fréquemment multicouches et complexes, présentant une anisotropie verticale et horizontale significative.

La plaine de la Mitidja, par exemple, représente un réservoir d'eau souterraine vital, essentiel au développement agricole, urbain et industriel d'Alger. Son système aquifère est constitué d'alluvions quaternaires et de formations gréseuses ou grèso-calcaires du Pliocène, des études ont documenté une diminution notable des niveaux piézométriques.

La nappe est également très sensible à l'intrusion marine due aux pompages excessifs et à l'inversion du sens d'écoulement qui en résulte.

I.2.3.3. Aquifères sédimentaires (grès et calcaires mésozoïques-cénozoïques)

Il s'agit de roches sédimentaires marines semi-consolidées, dotées d'une porosité relativement élevée, où les eaux souterraines s'écoulent à la fois à travers la matrice inter-granulaire et les fractures. Des exemples incluent les calcaires marneux du Crétacé supérieur (Sénonien) et les marnes turoniennes (Figure 04).

Comme les monts de Saïda et la partie steppique sud de la wilaya qui sont caractérisés par une rareté des ressources en eau, la région abrite un aquifère profond (nappe de Saïda) d'une capacité substantielle de 38,5 à 50 hectomètres cubes par an, s'étendant sur 2246 km². Cet aquifère est généralement libre mais devient captif dans les compartiments effondrés de la vallée de Saïda, de plus, une nappe phréatique superficielle dans la vallée de l'Oued Saïda fournit 5 hectomètres cubes par an, des sources thermales, comme Ain Skhouna, sont présentes, mais leurs débits ont diminué en raison de la surexploitation.

I.2.3.4. Aquifères ignés

Présents dans des zones spécifiques comme Djurdjura, dans ces formations, l'eau souterraine circule à travers les fractures et les horizons altérés, se déversant souvent naturellement par des sources, bien que leur productivité soit généralement faible, ils bénéficient d'une recharge importante dans le domaine nord (Figure 04).

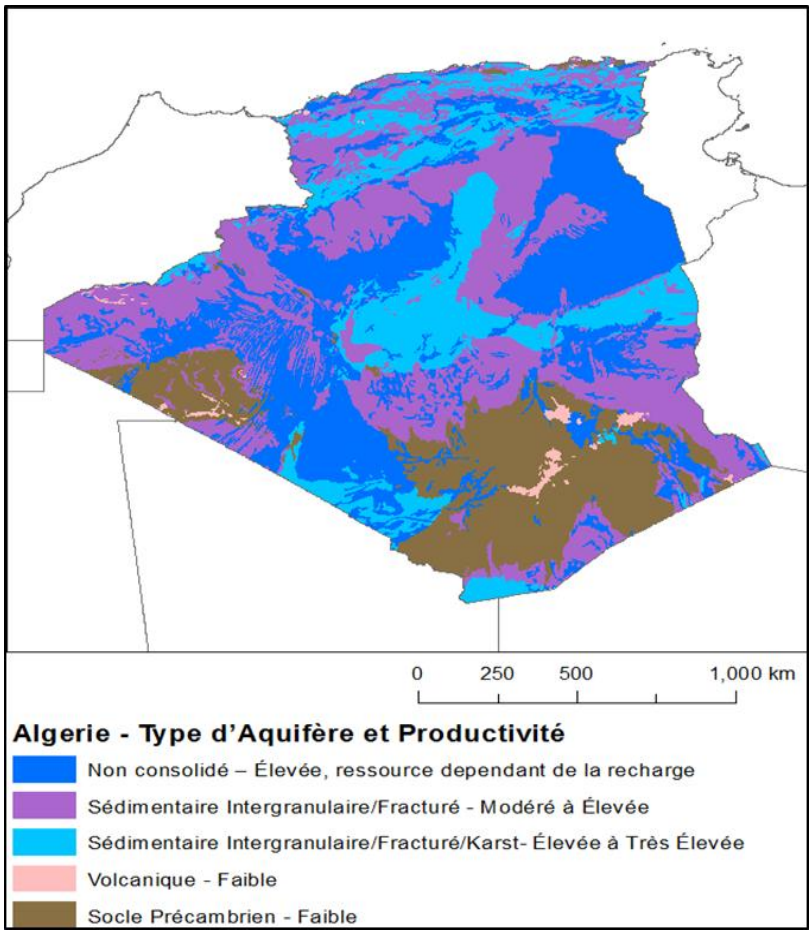


Figure 04 : Aquifères de l'Algérie (BGS, 2019)

I.2.4. Les ressources hydriques en Algérie

Les capacités nationales de stockage ont été estimées à 9 milliards de m³ en 2018, alors qu'elles ne dépassaient pas les 4 milliards m³ en 1999, un effort important mais qui reste tributaire des précipitations et de la stratégie de gestion durable de cette ressource.

Les ressources en eau de l'Algérie sont limitées même si elles sont évaluées entre 12 et 19 milliards de m³, dont 12,4 milliards de m³ d'eau de surface concentrés sur la partie septentrionale du pays, 1,9 milliards de m³ d'eau souterraine et 4,9 milliards de m³ exploitables respectivement au nord et dans le sud, selon le PNAE-DD (2002) (*In* Valiron, 2017).

Le Sahara, bien que pauvre en eau de surface, reste pourvu de ressources hydriques à travers de vastes nappes profondes sans renouvellement.

Les ressources en eau de l'Algérie devraient, selon le ministère des ressources en eau, atteindre leurs limites à l'horizon 2020-2025. A cet échéancier, la population algérienne qui sera de 50 millions au moins, à laquelle il faudra ajouter la crise du changement climatique, sera confrontée à la grave dégradation des ressources hydriques et naturelles, les hauts plateaux et toutes les régions steppiques qui restent préservées de l'urbanisation, constituent

de véritables potentiels agricoles devant assurer une probable sécurité alimentaire de l'Algérie (PNAE-DD, 2012).

Toutefois, un certain de nombre de contraintes a été relevé :

- Connaissances imparfaites de certaines nappes souterraines (nappes des Hauts Plateaux) ;
- Données affichées par les différents organismes concernés quelquefois contradictoires, notamment sur les volumes prélevés ;
- Mauvaise coordination institutionnelle entre les organismes supposés détenir la connaissance sur les ressources et les structures chargées de l'exploitation et des autorisations de forages ;
- Conflits d'intérêt entre les objectifs de préservation et les besoins de rentabilité hydro agricole ;
- Les principaux aquifères du nord du pays en état de surexploitation ;
- De nombreuses nappes touchées par la pollution:
    - les nitrates d'origine agricole;
    - les rejets urbains et industriels;
    - l'intrusion marine pour les nappes côtières.

I.3. Historique de l'eau embouteillée en Algérie

En Algérie, les eaux minérales ont été depuis longtemps objet d'intérêt et de profits. En effet, dans une étude qu'il a publiée il y'a plus d'un siècle, Olliffe (1856), met en valeur les vertus et les qualités des eaux thermo-minérales explorées durant le début de la période de colonisation de l'Algérie. L'auteur révèle que ces eaux ont été mises en valeur à travers une présentation à l'exposition universelle de 1855, c'est ainsi que 48 espèces d'eaux froides et chaudes naturelles ferrugineuses, acidulées, salines et sulfureuses ont été présentées.

Plus tard, des études de caractérisation physico-chimique menées par Hanriot (1911), ensuite complété par Guigue (1947) ont relevés l'importance qui a toujours été accordée aux eaux minérales en Algérie, intéressant les militaires, médecins, pharmaciens ainsi que les chimistes français.

Durant la période post-indépendance de l'Algérie, l'intérêt pour l'eau minérale naturelle s'est manifesté à travers l'évolution du secteur industriel et en particulier celui du conditionnement de l'eau embouteillée. Cette évolution est passée par trois périodes, la première période est celle de l'industrialisation, suivie par la restructuration et enfin de la phase de libéralisation et d'adaptation à l'économie de marché. Durant la première période, la présence de l'état était forte dans le dispositif d'accompagnement de l'investissement, dans la mise en place de l'appareil industriel et aussi dans la gestion et la production. Cette phase a été caractérisée par la mise en place des premières structures de production des eaux minérales embouteillées. C'est ainsi qu'en 1966, la création de la société nationale des eaux minérales a vu le jour,

cette institution s'est vue confier, conformément à une ordonnance (Ordonnance n˚66-220, 1966) (*In* Hazzab, 2011).

Les mesures mises en œuvre par les pouvoirs publics dans le cadre des réformes économiques initiées à partir des années quatre-vingts ont permis, conformément au décret relatif à la restructuration des entreprises (Décret no 80-242 du 4 septembre 1980), l'éclatement des grands complexes industriels et des sociétés mères nationales en petites unités et sociétés régionales, Ainsi, la restructuration du secteur de l'eau conditionnée a engendré notamment la naissance en 1983 de trois sociétés régionales issues de la société mère. Ces sociétés régionales sont la société de la région de l'Algérois, celle de la région de Batna et celle de la région de Saïda (*In* Hazzab, 2011).

Cette restructuration a été accompagnée par le renforcement des capacités de production des eaux conditionnées. Ainsi, d'autres unités de production des eaux minérales ont été mises en exploitation, il s'agit notamment de l'unité d'El Golia dans la région de Ghardaïa (1978), de l'unité de Mostaganem (1984), de celle de Hammamet dans la région de Tébessa (1986) et de celle de Djemorah dans la région de Biskra (1986) (*In* Hazzab, 2011).

Depuis une vingtaine d'année, le marché des eaux embouteillées connaît une forte croissance. Ce développement s'est concrétisé par l'implantation de dizaine d'unité d'exploitation et de production à travers l'ensemble du territoire national. Il a été aussi accompagné par une augmentation exceptionnelle de la consommation dont la part par habitant a remarquablement évolué (Hazzab, 2011; *In* Sekiou & Kellil, 2014).

Actuellement, il existe de nombreuses marques d'eaux embouteillées en Algérie, dont un certain nombre d'eaux de sources et d'eaux minérales (Figure 5).

- Parmi les eaux de sources les plus connues : Ovitale, Nestlé (ex. Sidi el Kbir), Arwa, Ouwis, Mileza, Hassia, Qantara, Mont Djurdjura, Besbassa, El Ghadir, Tazliza, Guerioune, Qniaa, Soummam, Salsabil, Sidi Rached, Taya, Messad, Ariaf, Hirouche.

- Parmi les eaux minérales les plus connues : Lala Khedidja, Saida, Ifri, Messerghine, Mouzaia, Youkous, Lavita, Batna, Djemila, Fendjel, Sidi Okba, Sidi Driss, Chifaa, Hammamet, Mansourah, Daouia, Milok, Toudja, Ben Haroun, Guedila, El Goléa (Figure 05), mais seules cinq marques (Ifri, Saida, Lalla Khedidja, Guedilla, et Nestlé) se partagent largement (70 %) les parts du marché Algérien**.**

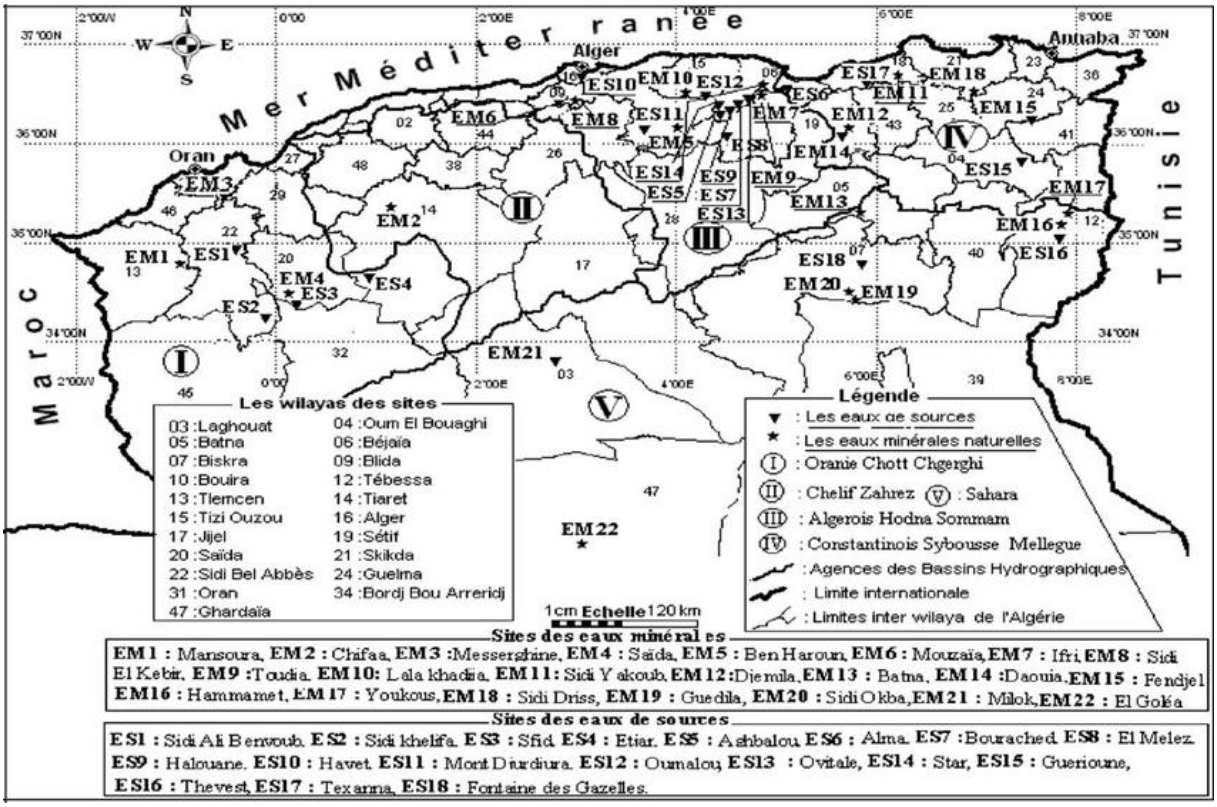


Figure 05 : Eaux embouteillées du nord algérien (*In* Hazzab, 2011)

I.4. Conclusion

Ce chapitre a méticuleusement détaillé les différences fondamentales dans la manière dont l'eau embouteillée est définie et réglementée dans l'Union Européenne, aux États-Unis et en Algérie. Bien que les trois juridictions partagent l'objectif primordial d'assurer la sécurité de l'eau potable, leurs approches divergent significativement en termes de catégorisation des produits, de traitements autorisés et de la philosophie réglementaire concernant le "naturel" et l'intégrité de l'eau.

En Algérie, le nord du pays est caractérisé par un climat méditerranéen et fait face à un stress hydrique croissant en raison de ressources limitées et de sécheresses prolongées. La géologie complexe de la région influence la distribution et la qualité des eaux souterraines. Les principaux aquifères comprennent les aquifères karstiques, alluviaux, sédimentaires et ignés. Malgré une augmentation des capacités nationales de stockage, les ressources en eau de l'Algérie sont limitées et subissent une surexploitation et une pollution croissante, notamment par les nitrates, les rejets urbains/industriels et l'intrusion marine. Pour faire face à ces défis, le pays se tourne vers le dessalement de l'eau de mer et la réutilisation des eaux traitées, mais également le recours de plus en plus croissant aux eaux embouteillées.

L'industrie de l'eau embouteillée en Algérie a une longue histoire, avec un intérêt précoce pour les eaux thermo-minérales. Après l'indépendance, le secteur a connu une industrialisation et une restructuration, menant à une forte croissance du marché et une augmentation de la consommation. De nombreuses marques d'eaux embouteillées existent actuellement en Algérie, mais seules, quelques-unes, dominent le marché.

CHAPITRE II

SYNTHESE DES PARAMETRES CARACTERISTIQUES & ASPECTS REGLEMENTAIRES

II.1. État des lieux en Algérie

Plusieurs études récentes ont évalué la qualité physico-chimique et microbiologique des eaux embouteillées commercialisées en Algérie, mettant en lumière la diversité des marques, leur conformité aux normes, ainsi que les enjeux sanitaires liés à leur consommation.

Une étude menée par Achour Talet (2019) a analysé 35 marques d'eaux embouteillées en Algérie, en comparant les paramètres physico-chimiques mesurés aux valeurs indiquées sur les étiquettes et aux normes algériennes de potabilité. Cette étude souligne que, bien que l'eau embouteillée soit perçue comme une boisson naturelle et sûre, elle est aujourd'hui menacée par diverses sources de contamination pouvant affecter ses caractéristiques. Elle questionne également la mise à jour des informations sur les étiquettes par les producteurs face à ces variations.

Une autre étude réalisée par Tazir et Boubidi (2021) a porté sur cinq marques d'eau embouteillée les plus commercialisées dans la ville de Constantine, évaluant à la fois leurs caractéristiques physico-chimiques et microbiologiques. Les résultats ont montré que ces eaux sont généralement de bonne qualité, avec des faciès hydrochimiques variés (hyper-sulfaté calcique, chloruré-sodique, sulfaté). La conformité aux normes algériennes et à celles de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) a été globalement respectée, mais l'étude insiste sur la nécessité d'un contrôle continu.

Une étude plus large faite par Hazzab (2019) a analysé 55 types d'eaux embouteillées à l'échelle nationale, utilisant plusieurs méthodes empiriques, chimiques et statistiques (diagramme de Piper, analyse en composantes principales). Elle a révélé que la majorité des eaux embouteillées sont très dures, avec un faciès bicarbonaté calcique et magnésien, et que les eaux minérales sont plus riches en minéraux que les eaux de source. La répartition géographique montre une concentration d'eaux minérales riches en calcium et magnésium au nord de l'Algérie, tandis que les eaux de source riches en ces éléments se concentrent au nord-centre. Cette étude met aussi en lumière des teneurs relativement élevées en nitrates dans certaines régions.

Une étude spécifique par Chaouch et Arbi (2021) dans la région d'Ouargla a évalué la qualité des eaux embouteillées destinées à la consommation locale. Les analyses ont porté sur des paramètres tels que le pH, les résidus secs, et les éléments essentiels (calcium, magnésium, potassium, sodium). Les résultats ont montré que les eaux étudiées respectent les normes algériennes et internationales, et sont propres à la consommation humaine. L'étude a également pris en compte la diversité des marques commercialisées et leur impact potentiel sur la santé publique.

Certaines études, comme celles de Bouhali (2020) et de Cherad (2021) ont inclus des analyses bactériologiques montrant que, dans des conditions de transport et stockage inadéquates (exposition au soleil, mauvaises manipulations), la qualité microbiologique peut être compromise, ce qui pose un risque pour la santé publique.

D’autres travaux comme celles de Belaidi et Boudoukha (2018) et de Arbi et Aldjaoui (2019) ont comparé la qualité physico-chimique et microbiologique de différentes marques d’eaux minérales embouteillées, confirmant généralement une bonne qualité sanitaire mais soulignant la nécessité d’un suivi régulier pour détecter d’éventuelles contaminations ou écarts par rapport aux normes.

Ces études démontrent une attention croissante portée à la qualité des eaux embouteillées en Algérie, avec un consensus sur la nécessité d’une réglementation stricte et d’un suivi continu pour garantir la sécurité sanitaire des consommateurs.

II.2. Paramètres caractéristiques de l’eau

II.2.1. Principaux paramètres physiques de l'eau

II.2.1.1. Température

Mesure le degré d'agitation thermique des molécules d'eau, elle est généralement exprimée en degrés Celsius (°C) ou Kelvin (K).

La température de l'eau contrôle la vitesse de toutes les réactions chimiques, elle influence les odeurs, les réactions chimiques, la solubilité et les niveaux d'oxygène dissous.

II.2.1.2. pH (Potentiel Hydrogène)

Indique si l'eau est acide, neutre ou basique, en mesurant la concentration en ions hydrogène (H^+).

Le pH est très important pour déterminer la nature corrosive de l'eau, un pH faible indique une eau acide, tandis qu'un pH élevé indique une eau alcaline.

Le pH affecte la toxicité de nombreuses substances dans l'eau, l'eau potable doit généralement avoir un pH compris entre 6,5 et 8,5.

II.2.1.3. Conductivité électrique

Mesure la capacité de l'eau à conduire un courant électrique, elle est exprimée en Siemens par mètre (S/m) ou plus couramment en micro-Siemens par centimètre (µS/cm) ou milli-Siemens par mètre (mS/m).

L'eau parfaitement pure est un très mauvais conducteur d'électricité, Cependant, la présence d'ions dissous (provenant de sels, acides, bases) augmente considérablement sa conductivité (Tableau 01). C'est pourquoi la conductivité est souvent utilisée comme un indicateur rapide de la quantité totale de solides dissous (TDS) dans l'eau et de sa minéralisation ou pollution ionique.

Tableau 01 : Conductivité moyenne de quelques eaux à 20°C (Fosset, 2000)

Eau	Conductivité mS/cm
Eau bouillie à haute pression	< 10^{-4}
Eau déminéralisée	0,001 à 0,080
Eau potable	0,1 à 1
Eau usée	0,85 à 9
Eau de surface	0,1 à 10
Eau de process industriel	8 à 130
Eau de mer	56
Eau saumure	100

II.2.1.4. Turbidité

Mesure le degré de "trouble" ou d'opacité de l'eau causé par des particules en suspension (argiles, limons, sables fins, matières organiques, plancton, micro-organismes), elle est mesurée en Unités de Turbidité Néphélométrique (NTU) ou Formazine Nephelometric Units (FNU).

Une turbidité élevée peut réduire la pénétration de la lumière, affectant la photosynthèse, et peut abriter des agents pathogènes.

II.2.1.5. Densité

C'est la masse de l'eau par unité de volume, exprimée en kilogrammes par mètre cube (kg/m³) ou en grammes par centimètre cube (g/cm³).

L'eau à une propriété anormale, sa densité maximale est atteinte à 4°C (environ 1000 kg/m³ à pression atmosphérique standard) et non au point de congélation (Tableau 02) ; la glace (0°C) est moins dense que l'eau liquide, ce qui explique pourquoi elle flotte.

La densité varie avec la température, la pression et la salinité (concentration en sels dissous).

Tableau 02 : Densité de l'eau à des températures différentes (Fengjun, 2024)

Temperature °C	Calculation density kg/m³	Experimental density kg/m³	Temperature °C	Calculation density kg/m³	Experimental density kg/m³
4	1000.0	1000.0	55	986.26	985.70
7	999.91	999.90	60	983.81	983.20
10	999.68	999.70	65	981.17	980.60
20	998.22	998.20	70	978.38	977.80
25	997.12	997.10	75	975.41	974.90
30	995.80	995.70	80	972.36	971.80
35	994.60	994.10	85	968.99	968.70
40	992.56	992.20	90	965.55	965.30
45	990.65	990.20	95	961.94	961.90
50	988.55	988.10	100	958.19	958.40

II.2.1.6. Tension superficielle

Due aux forces de cohésion entre les molécules d'eau à l'interface entre l'eau et l'air (ou une autre phase), elle est exprimée en Newtons par mètre (N/m), cela explique des phénomènes comme la formation de gouttelettes et la montée capillaire.

II.2.1.7. Solubilité des gaz

La capacité de l'eau à dissoudre des gaz comme l'oxygène, le dioxyde de carbone et l'azote dépend de la température, de la pression et de la salinité, la solubilité diminue avec l'augmentation de la température.

II.2.1.8. Solides totaux dissous (TDS)

Les solides totaux dissous représentent la quantité totale de substances dissoutes, y compris les minéraux, les sels, la matière organique et d'autres matières inorganiques, présentes dans un volume d'eau donné.

Une classification de l'eau basée sur les niveaux de TDS a été fournie, incluant l'eau douce (< 1 500 mg/L), l'eau saumâtre (1 500 – 5 000 mg/L) et l'eau de mer (> 5 000 mg/L).

Les niveaux de TDS fournissent une mesure complète de la quantité totale de substances dissoutes dans l'eau, ce qui peut avoir un impact significatif sur son goût, son aptitude à divers usages (par exemple, eau potable, irrigation, applications industrielles) et sa qualité globale. Des TDS élevés peuvent indiquer la présence de substances indésirables ou nocives.

II.2.2. Principaux paramètres chimiques de l'eau

II.2.2.1. Alcalinité (Titre Alcalimétrique Complet - TAC)

Mesure la capacité de l'eau à neutraliser les acides (pouvoir tampon), elle est principalement due à la présence d'ions bicarbonate HCO_3^-, carbonate CO_3^{2-} et hydroxyde OH^-, exprimée souvent en mg/L de $CaCO_3$ ou en degrés français (°f).

Essentielle pour la stabilité du pH, une alcalinité suffisante protège les milieux aquatiques des variations brusques de pH et aide à contrôler la corrosion dans les systèmes de distribution d'eau.

II.2.2.2. Dureté (Titre Hydrotimétrique - TH)

Représente principalement la concentration des ions calcium Ca^{2+} et magnésium Mg^{2+}, exprimée en mg/L de $CaCO_3$ ou en degrés français (°f).

Une eau "dure" provoque la formation de tartre (dépôts de $CaCO_3$) dans les canalisations et les appareils ménagers, et réduit l'efficacité des savons, une eau trop "douce" (très faible dureté) peut être agressive et corrosive (Figure 06).

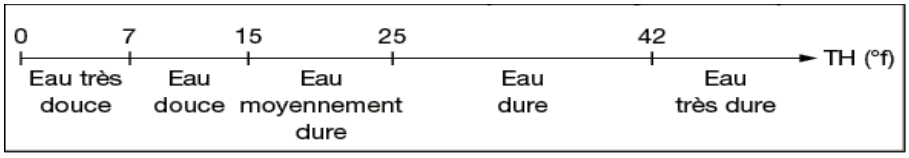


Figure 06 : Classification de l'eau en fonction du TH (directive 98/83 CE)

II.2.2.3. Ions majeurs dissous

Ce sont les ions présents en plus grande concentration et qui déterminent la minéralisation globale de l'eau. On trouve à la fois des cations (ions chargés positivement) et des anions (ions chargés négativement), qui sont présents en raison de la dissociation des substances dissoutes. Les cations les plus courants sont le sodium (Na^+), le potassium (K^+), le calcium ($Ca2^+$), et le magnésium ($Mg2^+$), tandis que les anions les plus courants sont le chlorure (Cl^-), le bicarbonate (HCO_3^-), et le sulfate (SO_4^{2-}).

II.2.2.4. Oxygène dissous (O_2)

Concentration d'oxygène gazeux dissous dans l'eau. Essentiel à la respiration des organismes aquatiques aérobies (poissons, invertébrés).

Indicateur majeur de la santé d'un écosystème aquatique, une faible concentration (hypoxie) est souvent signe de pollution par des matières organiques ou des nutriments.

II.2.2.5. Matières organiques (Indicateurs Globaux)

Mesurent la charge globale en composés organiques d'origines diverses (naturelle, agricole, urbaine, industrielle).

- **Demande Biochimique en Oxygène (DBO, souvent DBO5) :** Quantité d'oxygène consommée par les micro-organismes pour décomposer la matière organique biodégradable sur une période donnée (souvent 5 jours à 20°C). Indicateur de pollution biodégradable.
- **Demande Chimique en Oxygène (DCO) :** Quantité d'oxygène (fourni par un oxydant chimique fort) nécessaire pour oxyder la quasi-totalité des matières organiques et certaines substances inorganiques réductrices, mesure plus large que la DBO.
- **Carbone Organique Total (COT) :** Mesure directe de la quantité de carbone dans les composés organiques dissous et en suspension, utilisé notamment pour le suivi de la qualité de l'eau potable (précurseurs de sous-produits de désinfection).

II.2.2.6. Nutriments (Azote et Phosphore)

Composés essentiels à la vie végétale, mais leur excès provoque l'eutrophisation des plans d'eau (prolifération excessive d'algues).

- **Formes d'azote :** Nitrates (NO_3^-), Nitrites (NO_2^-), Ammonium (NH_4^+)/Ammoniac (NH_3); l'azote total (somme de toutes les formes) est aussi mesuré, les nitrates et nitrites sont réglementés dans l'eau potable pour des raisons sanitaires (risque de méthémoglobinémie chez les nourrissons).
- **Formes de phosphore :** Principalement les Ortho-phosphates (PO_4^{3-}), le phosphore total est l'indicateur clé de l'eutrophisation dans la plupart des eaux douces.

II.3. Qualité de l'eau potable

II.3.1. Normes nationales Algériennes pour la qualité de l'eau potable

II.3.1.1. Cadre légal et réglementaire régissant l'eau potable en Algérie

Le secteur de l'eau potable en Algérie est régi par un ensemble de lois et de décrets exécutifs visant à assurer la qualité de l'eau destinée à la consommation humaine.

La Loi n° 05-12 du 28 Joumada Ethania 1426 correspondant au 4 août 2005, relative à l'eau, constitue le texte législatif fondamental qui définit les principes généraux de la gestion et de la protection des ressources en eau, en complément de cette loi plusieurs décrets exécutifs précisent les modalités d'application et fixent les normes de qualité, parmi ceux-ci :

- Le Décret Exécutif n° 09-414 du 28 Dhou El Hidja 1430 correspondant au 15 décembre 2009 qui fixe la nature, la périodicité et les méthodes d'analyse de l'eau de consommation humaine et précise les responsabilités en matière de vérification de la conformité aux paramètres de qualité de l'eau, qui incombent à l'organisme exploitant le service public d'alimentation en eau potable, au titulaire de l'autorisation d'utilisation de l'eau, ainsi qu'à d'autres institutions de contrôle habilitées.
- Le Décret Exécutif n° 11-219 du 10 Rajab 1432 correspondant au 12 juin 2011 qui établit les objectifs de qualité pour les eaux superficielles et souterraines destinées à l'alimentation en eau des populations.

L'Institut Algérien de Normalisation (IANOR) joue également un rôle crucial dans l'élaboration et la publication des normes techniques, la norme Algérienne NA 6360-1992 est une référence essentielle, spécifiant les caractéristiques organoleptiques, bactériologiques, physico-chimiques et toxicologiques de l'eau destinée à la consommation; cette norme, inspirée des directives de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) et des normes prescrites dans les directives de la Communauté Économique Européenne (CEE) représente un pilier du cadre réglementaire algérien.

II.3.1.2. Paramètres physico-chimiques, normes et valeurs limites

Les normes algériennes définissent un ensemble de paramètres physico-chimiques essentiels pour évaluer la qualité de l'eau potable. Parmi ceux-ci figurent le pH, qui doit se situer entre 6,5 et 8,5, la turbidité, dont la valeur maximale admissible est de 5 NTU, la conductivité, qui

ne doit pas dépasser 2800 µS/cm à 20°C, le total des solides dissous (TDS) est également réglementé, avec une limite maximale de 1500 mg/l, la dureté de l'eau exprimée en mg/l de $CaCO_3$ est fixée à 200 mg/l. Les normes algériennes précisent également les concentrations maximales admissibles pour les chlorures (500 mg/l pour les eaux souterraines et 600 mg/l pour les eaux superficielles), les sulfates (400 mg/l), les nitrates (50 mg/l), et les nitrites (0,1 mg/l).

En ce qui concerne les métaux lourds, les normes Algériennes établissent des concentrations maximales admissibles strictes, par exemple, le plomb ne doit pas dépasser 10 µg/l, l'arsenic est limité à 10 µg/l, et le cadmium à 3 µg/l, d'autres métaux comme le chrome total (50 µg/l), le cuivre (2 mg/l), le cyanure (70 µg/l), le mercure (6 µg/l), le nickel (70 µg/l), le sélénium (10 µg/l) et le zinc (5 mg/l) sont également soumis à des limites réglementaires.

Le Décret Exécutif n° 11-219 ajoute d'autres paramètres physico-chimiques liés à la structure naturelle de l'eau, tels que la température (25°C), l'ammonium (0,5 mg/l pour les eaux souterraines), le baryum (0,7 mg/l pour les eaux souterraines), le bore (1 mg/l), le fer dissous (0,3 mg/l pour les eaux souterraines), le fluor (1,5 mg/l pour les eaux souterraines) et le manganèse (0,05 mg/l pour les eaux souterraines).

II.3.1.3. Paramètres microbiologiques, normes et valeurs limites

Les normes Algériennes accordent une importance primordiale aux paramètres microbiologiques pour garantir la sécurité de l'eau potable. La présence de certains micro-organismes indicateurs peut révéler une contamination fécale et un risque de maladies hydriques.

La réglementation Algérienne stipule l'absence totale d'*Escherichia coli* (E. coli) dans 100 ml d'eau potable, de même, les entérocoques doivent être absents dans 100 ml, les bactéries sulfito-réductrices, y compris les spores, ne doivent pas être détectées dans 20 ml, la présence de salmonelles est également interdite dans l'eau destinée à la consommation humaine.

Le Décret Exécutif n° 09-414 fixe la périodicité des analyses microbiologiques, qui doivent être effectuées régulièrement sur les échantillons d'eau brute et traitée, ces analyses visent à détecter la présence et à quantifier les micro-organismes indicateurs afin de vérifier la conformité aux normes établies et d'anticiper tout risque de contamination.

II.3.1.4. Paramètres radiologiques, normes et valeurs limites (le cas échéant)

Les normes Algériennes provisoires mentionnent des paramètres radiologiques, notamment la radioactivité alpha globale, dont la limite souhaitable est de 0,1 Bq/l et la limite maximale admissible de 3 PCI/l (Picocuries par litre) et pour la radioactivité bêta globale, la limite souhaitable est de 1 Bq/l et la limite maximale admissible de 30 PCI/l.

Ces valeurs indiquent une prise en compte des risques potentiels liés à la présence de substances radioactives dans l'eau potable, bien que le cadre réglementaire détaillé et l'application de ces normes nécessiteraient une étude plus approfondie.

Tableau 03 : Normes nationales algériennes pour la qualité de l'eau potable

Paramètre	Unité	Valeur limite (CMA)	Valeur souhaitable (NG)
pH	unité pH	6.5 - 8.5	6.5 - 8.5
Turbidité	NTU	5	
Conductivité (à 20°C)	µS/cm	2800	
Résidu Sec (TDS)	mg/l	1500	
Dureté	mg/l	200	
TAC	mg/l	80 - 120	
Chlorures eaux souterraines	mg/l	500	
Chlorures eaux superficielles	mg/l	600	
Sulfates	mg/l	400	
Nitrates	mg/l	50	
Nitrites	mg/l	0.1	
Plomb	µg/l	10	
Arsenic	µg/l	10	
Cadmium	µg/l	3	
Chrome total	µg/l	50	
E. coli	Nombre/100ml	0	0
Entérocoques	Nombre/100ml	0	0
Radioactivité Alpha Globale	Bq/l		0.1
Radioactivité Alpha Globale	PCI/l	3	
Radioactivité Bêta Globale	Bq/l		1
Radioactivité Bêta Globale	PCI/l	30	

II.3.2. Directives de l'OMS pour la qualité de l'eau potable

II.3.2.1. Aperçu du rôle et approche de l'OMS dans la qualité d'eau potable

L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) a pour mission primordiale de promouvoir la santé publique à travers le monde, et cela inclut l'élaboration de normes et de directives internationales dans le domaine de la qualité de l'eau.

L'OMS fournit une évaluation scientifique des risques sanitaires associés aux substances biologiques et chimiques présentes dans l'eau potable. Ces directives servent de base aux pays pour établir leurs propres réglementations et normes nationales.

II.3.2.2. Principes clés et cadre des directives de l'OMS

L'approche de l'OMS en matière de qualité de l'eau potable repose sur un cadre conceptuel intégrant des objectifs basés sur la santé, des plans de sécurité sanitaire de l'eau (PSSE) couvrant l'ensemble du processus, du captage au consommateur, et une surveillance indépendante.

Les PSSE constituent une stratégie proactive de gestion des risques visant à prévenir la contamination de l'eau. Les directives de l'OMS s'appliquent à divers systèmes d'approvisionnement en eau, y compris les petits systèmes et les systèmes communautaires, reconnaissant les défis spécifiques auxquels ces derniers sont confrontés.

II.3.2.3. Paramètres physico-chimiques, directives et valeurs recommandées

L'OMS recommande une liste étendue de paramètres physico-chimiques pour surveiller la qualité de l'eau potable. Ces paramètres incluent le pH (valeur indicative de 6,5 à 8), la turbidité (valeur indicative $\leq$ 5 NTU), la conductivité, le total des solides dissous (TDS), la dureté, les chlorures (pas de valeur indicative basée sur la santé, mais seuil de goût à environ 250 mg/l), les sulfates (500 mg/l), les nitrates (50 mg/l), les nitrites (3 mg/l pour une exposition à court terme), ainsi qu'une gamme de métaux lourds tels que l'arsenic (10 µg/l), le plomb (10 µg/l), le cadmium (3 µg/l), et le chrome (50 µg/l pour le chrome total).

L'OMS établit des valeurs indicatives pour de nombreux produits chimiques, y compris les métaux lourds comme l'arsenic, le plomb, le cadmium et le chrome, et elle distingue les valeurs indicatives basées sur la santé et celles liées à l'acceptabilité de l'eau (goût, odeur, apparence), par exemple, des valeurs indicatives sont également fixées pour les produits chimiques qui affectent l'acceptabilité de l'eau, tels que le cuivre et le fer.

II.3.2.4. Paramètres microbiologiques, directives et valeurs recommandées

L'OMS recommande que l'eau potable soit exempte de micro-organismes pathogènes. *Escherichia coli* (E. coli) est l'indicateur principal de la contamination fécale, et sa présence

dans l'eau traitée doit être nulle; d'autres indicateurs microbiologiques importants incluent les coliformes totaux, les entérocoques, *Cryptospridium* et *Giardia*.

La recommandation générale est une tolérance zéro pour les organismes indicateurs dans l'eau traitée, soulignant l'importance de prévenir la contamination fécale, qui peut signaler la présence d'une variété d'agents pathogènes nocifs.

II.3.2.5. Paramètres radiologiques, directives et valeurs recommandées

L'OMS fournit des recommandations pour les paramètres radiologiques afin d'évaluer la présence de substances radioactives dans l'eau potable, ces recommandations incluent des niveaux de dépistage pour l'activité alpha brute et l'activité bêta brute, des niveaux de référence sont également fournis pour des radionucléides spécifiques couramment trouvés dans l'eau potable, tels que l'uranium (niveau de référence de 30 µg/L), le radium et le radon. Ces directives visent à protéger la santé publique contre les risques potentiels d'une exposition à long terme à des niveaux élevés de radioactivité dans l'eau potable.

Tableau 04 : Directives de l'OMS pour la qualité de l'eau potable

Paramètre	Unité	Valeur indicative basée sur la santé	Valeur indicative d'acceptabilité
pH	unité pH	6.5 - 8	
Turbidité	NTU	≤ 5	
Chlorures	mg/l		Seuil de goût à ~250
Sulfates	mg/l	500	
Nitrates	mg/l	50	
Nitrites	mg/l	3 (court terme)	
Plomb	µg/l	10	
Arsenic	µg/l	10	
Cadmium	µg/l	3	
Chrome Total	µg/l	50	
E. coli	Nombre/100ml	0	
Radioactivité Alpha Brute	Bq/l	Niveau de dépistage	
Radioactivité Bêta Brute	Bq/l	Niveau de dépistage	
Uranium	µg/l	30	

II.4. Conclusion

La qualité de l'eau en Algérie, qu'elle soit embouteillée ou destinée à la consommation publique, fait l'objet d'une attention croissante et est encadrée par une législation nationale inspirée des directives de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS). Des études récentes ont évalué la qualité physico-chimique et microbiologique des eaux embouteillées commercialisées, révélant une conformité générale aux normes, bien que des défis subsistent, notamment la mise à jour des informations sur les étiquettes et des risques de contamination microbiologique liés à des conditions de transport et de stockage inadéquates.

Les principaux paramètres physiques de l'eau tels que la température, le pH, la conductivité électrique, la turbidité, la densité, la tension superficielle, la solubilité des gaz et les solides totaux dissous (TDS) sont des indicateurs clés de sa qualité. De même, les paramètres chimiques comme l'alcalinité, la dureté, la présence d'ions majeurs dissous, l'oxygène dissous, les matières organiques (DBO, DCO, COT) et les nutriments (azote et phosphore) sont essentiels pour évaluer la potabilité.

La qualité de l'eau potable en Algérie est régie par des normes nationales strictes, définies par la Loi sur l'eau et des décrets exécutifs, ainsi que par l'Institut Algérien de Normalisation (IANOR). Ces normes établissent des valeurs limites pour les paramètres physico-chimiques (pH, turbidité, conductivité, TDS, dureté, chlorures, sulfates, nitrates, nitrites, métaux lourds), microbiologiques (absence d'E. coli, entérocoques, salmonelles), et radiologiques (radioactivité alpha et bêta globale). Parallèlement, les directives de l'OMS fournissent un cadre international, insistant sur une approche basée sur la santé et les plans de sécurité sanitaire de l’eau, avec des valeurs indicatives pour des paramètres similaires. Ces études et réglementations soulignent un consensus sur la nécessité d'une réglementation stricte et d'un suivi continu pour garantir la sécurité sanitaire des consommateurs en Algérie.

CHAPITRE III

METHODOLOGIE & ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES (SUR LES ETIQUETTES)

III.1. Méthodes d’analyse de quelques paramètres

III.1.1. La mesure du pH

La mesure du pH dans les laboratoires algériens repose principalement sur la méthode électro-métrique, une technique qui consiste à déterminer la différence de potentiel entre une électrode de verre sensible aux ions hydrogène et une électrode de référence, toutes deux immergées dans l'échantillon d'eau.

Cette méthode est spécifiée dans la Norme Algérienne NA 751, intitulée « Qualité de l'eau -- Détermination du pH », qui s'applique aux eaux potables et aux eaux minérales. Il est important de noter que la norme NA 751, dans sa version de 2013, est une adoption identique (IDT) de la norme internationale ISO 10523:2008.

La norme ISO 10523:2008 encadre la détermination du pH dans une variété de types d'eau, incluant les eaux de pluie, les eaux potables et minérales, les eaux de baignade, les eaux de surface et souterraines, ainsi que les eaux usées municipales et industrielles, et les boues liquides, dans une plage de pH allant de 2 à 12.

Pour garantir la précision des mesures, l'utilisation de pH-mètres correctement calibrés avec des solutions tampons de pH de référence est essentielle.

Les directives de l'organisation HELCOM recommandent l'utilisation de tampons NBS pour l'étalonnage quotidien des pH-mètres. De plus, la température de l'échantillon a une influence significative sur les valeurs de pH, rendant souvent nécessaire l'application de corrections de température pour obtenir des résultats fiables.

III.1.2. L’analyse de la conductivité électrique

En Algérie, la détermination de la conductivité électrique est encadrée par la norme NA 749, la méthode standard consiste à utiliser un conductimètre équipé d'électrodes qui mesurent la résistance de l'échantillon d'eau au passage du courant électrique.

La conductivité électrique est fortement dépendante de la température; par conséquent, les résultats sont généralement rapportés à une température de référence, souvent 25°C.

III.1.3. Technique d'évaluation de la turbidité

La Norme Algérienne NA 746 spécifie les méthodes pour la détermination de la turbidité dans l'eau, la technique la plus couramment utilisée est la méthode néphélométrique, qui mesure la lumière diffusée par les particules en suspension dans l'échantillon d'eau à l'aide d'un turbidimètre ou d'un néphélomètre.

Une turbidité élevée peut indiquer la présence de micro-organismes potentiellement dangereux et peut interférer avec l'efficacité des processus de désinfection de l'eau.

III.1.4. Analyse du titre alcalimétrique complet et de la dureté totale

Titre Alcalimétrique Complet (TAC) : La Norme Algérienne NA 756 encadre la détermination de l'alcalinité dans l'eau, la méthode analytique usuelle est le titrage avec un acide fort, tel que l'acide sulfurique ou l'acide chlorhydrique, jusqu'à un pH spécifique, souvent détecté par un changement de couleur d'indicateurs comme la phénolphtaléine et l'hélianthine.

Dureté Totale (TH) : La Norme Algérienne NA 752 spécifie la détermination de la somme du calcium et du magnésium dans l'eau par titrage complexo-métrique à l'EDTA. La méthode implique l'utilisation de l'EDTA (acide éthylènediaminetétraacétique) qui forme des complexes stables avec les ions calcium et magnésium, et un indicateur, tel que le noir d'ériochrome T, est utilisé pour visualiser le point d'équivalence.

III.1.5. Méthodes analytiques pour les ions majeurs

Calcium (Ca^{2+}) et Magnésium (Mg^{2+}) : La détermination combinée du calcium et du magnésium est réalisée par titrage à l'EDTA, conformément aux normes NA 752 et NA 1655. Le calcium peut être déterminé séparément par titrage sélectif avec l'EGTA, et la concentration en magnésium peut ensuite être calculée par différence.

Pour des mesures plus précises et sensibles des ions individuels, des techniques instrumentales telles que la Spectrométrie d'Absorption Atomique (SAA), encadrées par les normes NA 1653 et NA 1655, sont également utilisées.

Sodium (Na^{+}) et Potassium (K^{+}) : La Photométrie de Flamme (Spectrométrie d'Émission Atomique) est une méthode couramment employée pour la détermination des concentrations de sodium et de potassium, conformément aux normes NA 1652 et NA 1653.

La SAA (NA 1653) peut également être utilisée pour ces analyses, offrant une haute sensibilité et sélectivité.

Bicarbonates (HCO_3^-) : La concentration en bicarbonates est étroitement liée au titre alcalimétrique complet (TAC).

Elle est souvent estimée à partir des mesures d'alcalinité, en supposant que le bicarbonate est l'espèce alcaline dominante dans la plupart des eaux naturelles dans la plage de pH typique.

Une mesure directe peut impliquer un titrage avec un acide fort pour déterminer l'équilibre entre les carbonates et les bicarbonates.

Chlorures (Cl^-) : La méthode de titrage au nitrate d'argent ($AgNO_3$), connue sous le nom de méthode de Mohr, est utilisée pour déterminer la concentration en chlorures.

Les ions chlorure réagissent avec les ions argent pour former un précipité de chlorure d'argent (AgCl), et le chromate de potassium est utilisé comme indicateur pour détecter le point d'équivalence.

Des électrodes sélectives d'ions (ESI) peuvent également être utilisées pour la mesure directe des ions chlorure dans certains laboratoires.

Sulfates (SO_4^{2-}) : La méthode turbidimétrique est couramment utilisée pour déterminer la concentration en sulfates, les ions sulfate sont précipités sous forme de sulfate de baryum ($BaSO_4$) par l'ajout de chlorure de baryum ($BaCl_2$), et la turbidité de la suspension résultante est mesurée à l'aide d'un spectrophotomètre ou d'un turbidimètre.

La méthode gravimétrique, où le précipité de sulfate de baryum est filtré, séché et pesé, peut être utilisée pour une détermination plus précise, en particulier à des concentrations plus élevées.

III.1.6. Techniques de détermination des nitrates (NO_3^-)

La détermination des nitrates dans les laboratoires algériens s'effectue à l'aide de plusieurs techniques standardisées.

La méthode colorimétrique utilisant l'acide sulfosalicylique (ISO 7890-3, NA 1656) repose sur la réaction des nitrates avec l'acide sulfosalicylique en présence d'acide sulfurique, formant un complexe jaune de l'acide salicylique nitré, dont l'absorbance est mesurée par spectrophotométrie.

La méthode de spectrométrie d'absorption moléculaire (ISO 6777, NA 1657) implique la réduction des nitrates en nitrites, suivie d'une réaction de diazotation des nitrites avec le sulfanilamide et d'un couplage avec la N-(1-naphtyl) éthylènediamine pour former un colorant azoïque coloré, mesuré par spectrophotométrie.

L'ionographie liquide (ISO 10304-1) est une technique plus avancée qui permet la détermination simultanée de divers anions, y compris les nitrates, avec une haute sensibilité et sélectivité.

III.2. Sélection des sites

III.2.1. Aperçu général

L'Algérie dispose d'une grande variété d'eaux embouteillées, se concentrant au nord du pays et particulièrement dans le bassin algérois Hodna Soummam. La diversité des conditions climatiques, régimes hydrologiques et environnements géologiques du nord fait que ces eaux présentent cette grande variété.

L'eau embouteillée est une eau exclusivement d'origine souterraine, captée soit à une source soit par forage, définie en tant que telle par la réglementation, elle ne fait l'objet d'aucun traitement chimique ni désinfection.

Les eaux embouteillées de type minérales naturelles peuvent posséder des propriétés thérapeutiques favorables à la santé humaine.

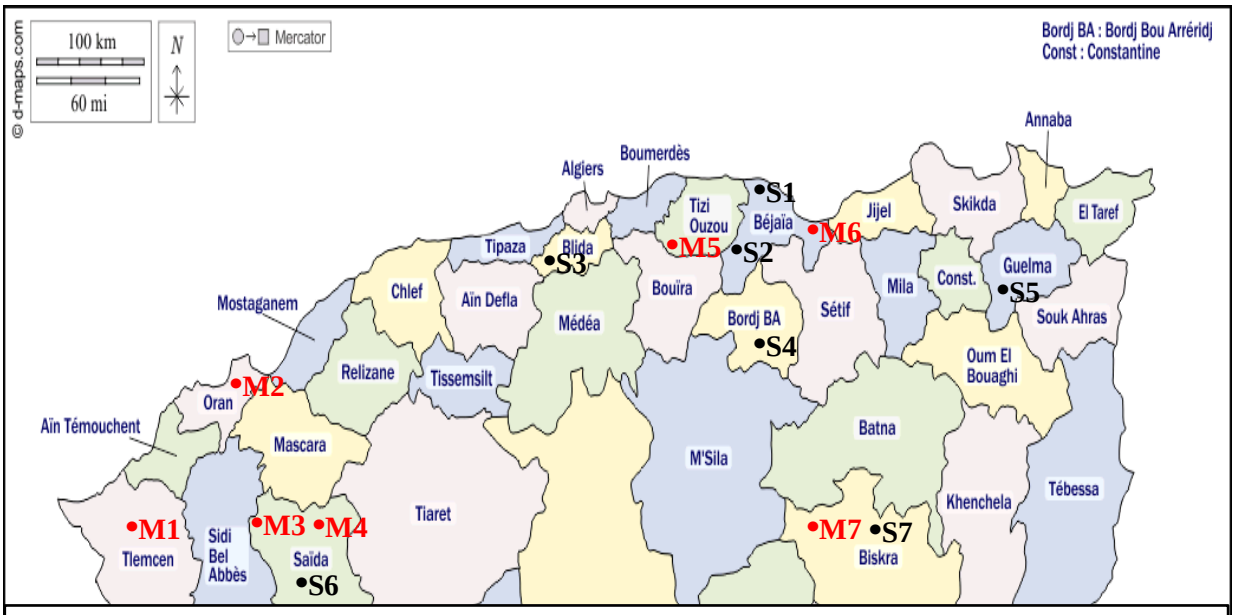
L'objectif envisagé au début de cette étude est l'analyse qualitative de quelques eaux embouteillées (eaux minérales naturelles et eaux de source) en Algérie. Une comparaison des résultats des analyses physico-chimiques réalisées au laboratoire avec celles affichées sur les étiquettes sera faite.

Dans cette étude, nous avons considéré 14 marques d'eaux embouteillées, dont 7 eaux de sources et 7 eaux minérales, commercialisées en Algérie. Le tableau 05 montre leur répartition par bassin hydrographique, ainsi que leur localisation géographique sur la carte de l'Algérie (Figure 07).

Le choix des marques des eaux a été fait selon plusieurs critères, entre autres, la disponibilité sur le marché et surtout leur répartition géographique.

Tableau 05 : Répartition par bassin hydrographique des marques d'eaux étudiées

Nature de l'eau	Nom	Région d'exploitation	Bassin hydrographique
Eau de source	Ovitale	Bejaïa	Algérois-Hodna-Soummam
	Qniaa		
	Nestlé	Blida	
	Medjana	Bordj Bou Arreridj	
	Besbassa	Guelma	Constantinois-Seybouse-Mellegue
	Crista	Saida	Oranie Chott Chergui
	Qantara	Biskra	Sahara
Eau minérale	Mansourah	Tlemcen	Oranie Chott Chergui
	Messerghine	Oran	
	Saida	Saida	
	Sfid		
	Lala khedidja	Tizi Ouzou	Algérois-Hodna-Soummam
	Ifri	Bejaïa	
	Manbaa	Biskra	Sahara



Eaux de sources

S1 : Ovitale **S2 :** Qniaa **S3 :** Nestlé **S4 :** Medjana **S5 :** Besbassa **S6 :** Crista **S7 :** Qantara

Eaux minérales

M1 : Mansourah **M2 :** Messerghine **M3 :** Saida **M4 :** Sfid **M5 :** Lala khedidja **M6 :** Ifri **M7 :** Manbaa

Figure 07 : Répartition géographique des marques d'eaux étudiées

III.2.2. Présentation des marques d'eau étudiées

III.2.2.1. Eaux de source

- **Ovitale :**

Ovitale est originaire de la wilaya de Béjaïa en Algérie, le siège social de l'entreprise est situé à Akbou.

Elle est identifiée comme une marque d'eau de source, probablement située dans la région montagneuse de Kabylie et fait partie du système hydrogéologique de l'Atlas.

Les eaux du système de l'Atlas sont principalement de faciès bicarbonaté calcique provenant d'aquifères calcaires.

- **Qniaa :**

L'eau Qniaa provient de la wilaya de Béjaïa, plus précisément de la région d'Akbou, l'entreprise "QNIAA Horizon" y est basée.

Qniaa est classée comme eau de source provenant des montagnes du Djurdjura, qui font partie de la chaîne de l'Atlas. L'eau de cette source émerge naturellement après avoir traversé les roches de cette région montagneuse.

Cette eau a un pH proche de la neutralité et contient divers minéraux, elle est classée comme ayant une minéralisation moyenne et est considérée comme riche en calcium.

- **Nestlé :**

L'eau Nestlé Pure Life est embouteillée dans la wilaya de Blida, originaire précisément de la région de Sidi El Kébir, de la source Taberkachent, liée au système hydrogéologique de l'Atlas. Elle est classée comme eau faiblement minéralisée et subit un processus de purification et des minéraux sont ajoutés pour le goût (ubuy.dz).

- **Medjana :**

L'eau Medjana est embouteillée dans la wilaya de Bordj Bou Arreridj. Elle est classée comme eau de source et est probablement associée au système hydrogéologique de l'Atlas. Une étude la classe dans le groupe à minéralisation moyenne.

- **Besbassa :**

L'eau Besbassa provient des montagnes de Dahwara dans la wilaya de Guelma, en Algérie. Son parcours à travers ces montagnes contribue à sa pureté naturelle et à sa teneur en minéraux. Elle est embouteillée directement à la source et fait partie du système hydrogéologique Constantine Sebaou Mitidja.

Besbassa a un pH légèrement alcalin et une teneur en minéraux relativement faible, les composants notables sont le bicarbonate et le calcium.

- **Crista :**

L'eau Crista est une source de la wilaya de Saïda, située à Ouled Brahim. Cette source bénéficie d'un environnement naturel préservé.

- **Qantara :**

L'eau Qantara est une source de la wilaya de Biskra, près de la commune d'El Kantara, de la source d'Ain Skhoun, située au pied de Djebel Metlili.

La géologie de la région est caractérisée par des remplissages mio-pliocènes et quaternaires. La source Ain Skhoun est une source importante dans la région.

L'eau Qantara est légèrement alcaline avec une teneur en minéraux modérée, les ions dominants sont le bicarbonate, le calcium et le sulfate.

III.2.2.2. Eaux minérales

- **Mansourah :**

L'eau Mansourah est classée comme eau minérale naturelle de la wilaya de Tlemcen, ville de Mansourah. Cette dernière repose sur un système aquifère karstique dans des formations calcaires du Tertiaire et Quaternaire, avec une recharge liée aux précipitations et aux eaux de surface infiltrées. La dissolution des calcaires crée des cavités et une porosité secondaire favorisant la circulation et le stockage de l'eau souterraine. Ce contexte géologique explique la qualité minérale particulière de cette eau.

L'eau Mansourah a un pH neutre et est caractérisée par une haute teneur en magnésium et une richesse en bicarbonates, elle est classée dans le groupe à minéralisation moyenne.

- **Messerghine :**

L'eau minérale naturelle Messerghine provient de la wilaya d'Oran plus précisément de la chaîne de montagnes du Murdjadjo. Cet environnement est normalement éloigné des activités agricoles et industrielles, ce qui suggère un haut degré de pureté naturelle.

L'eau Messerghine est classée comme ayant une minéralisation moyenne et est connue pour sa très haute teneur en magnésium.

- **Saida :**

L'eau minérale naturelle Saida est embouteillée dans la wilaya de Saïda et provient de sources d'eau minérale souterraines et probablement associées aux aquifères karstiques des Monts de Saïda.

L'eau Saida est riche en magnésium, en calcium et en bicarbonates, elle est classée dans le groupe à minéralisation moyenne et est notée pour sa haute teneur en magnésium.

- **Sfid :**

L'eau Sfid également de la wilaya de Saïda en Algérie. Elle est classée comme eau minérale naturelle qui provient probablement des mêmes sources d'eau minérale souterraines que l'eau minérale naturelle Saida.

L'eau Sfid a une minéralisation moyenne. Une étude a indiqué une teneur en nitrates potentiellement plus élevée que celle d'autres marques algériennes.

- **Lala khedidja :**

L'eau minérale naturelle Lala Khedidja provient de la wilaya de Tizi Ouzou des hauteurs enneigées du Djurdjura, où elle s'infiltre lentement à travers les roches, s'enrichissant naturellement en minéraux.

L'eau Lala Khedidja est classée comme eau faiblement minéralisée et a une faible teneur en magnésium; des études indiquent une faible teneur totale en solides dissous (TDS).

- **Ifri :**

L'eau Ifri provient de la wilaya de Béjaïa, dans les montagnes de Kabylie surplombant la vallée de la Soummam. La variante pétillante provient spécifiquement de la source Ouzellaguen dans cette région.

L'eau Ifri a une minéralisation moyenne et est riche en calcium, les variantes plate et pétillante contiennent divers minéraux, la version pétillante ayant un pH plus bas en raison de l'ajout de CO2.

- **Manbaa ;**

Manbaa El Ghezelane est une eau minérale naturelle issue de la wilaya de Biskra. Elle est classée comme relativement bien concentrée en sels minéraux, naturellement riche en calcium et bicarbonates, avec un pH proche de la neutralité, ce qui la rend adaptée à la consommation courante.

III.2.3. Discussion comparative

Un grand nombre d'eaux embouteillées est localisé dans la wilaya de Béjaïa, qui abrite Ovitale, Qniaa et Ifri. Cela est probablement favorisé par les conditions hydrogéologiques de cette région, principalement liées aux Monts de l'Atlas, particulièrement favorables aux gisements d'eau de source et d'eau minérale de bonne qualité.

La wilaya de Saïda abrite également plusieurs marques (Crista, Saida, Sfid), indiquant une abondance potentielle de sources d'eau appropriées dans cette région.

Dans la wilaya de Biskra, on compte Qantara et Manbaa El Ghezelane. Bien que le climat de la région soit aride (porte du Sahara), la ressource en eau souterraine peut y être de bonne qualité.

La diversité hydrogéologique utilisée par les marques étudiées des sources naturelles et des aquifères souterrains a un impact potentiel sur la qualité de l'eau. Cette dernière est également influencée par leur environnement et leur degré de protection contre toute forme de contamination.

L'eau de source, émergeant naturellement à la surface, tend à refléter la composition minérale des couches géologiques qu'elle traverse. L'eau des aquifères souterrains, accessible par des puits, peut avoir un profil minéral différent en fonction de la profondeur et des types de roches avec lesquelles elle interagit sur de plus longues périodes.

Nestlé Pure Life se distingue en tant que marque qui purifie son eau puis ajoute des minéraux, ce qui donne un profil chimique contrôlé et constant.

La diversité des faciès chimiques entre les marques reflète les paysages géologiques variés et les caractéristiques des aquifères à travers l'Algérie.

Les marques mettant l'accent sur des niveaux élevés de minéraux spécifiques ciblent probablement les consommateurs ayant des besoins ou des préférences gustatives particulières.

La présence d'options faiblement minéralisées et purifiées s'adresse à ceux qui recherchent un type d'eau potable différent.

Des marques comme Qniaa, Saida et Ifri sont considérées comme étant riches en calcium, ce qui implique que leurs sources ont interagi avec des roches comme le calcaire, Mansourah et Messerghine se distinguent par leur très haute teneur en magnésium, en revanche Lala Khedidja et Nestlé Pure Life sont classées comme faiblement minéralisées, Qantara présente une minéralisation modérée avec des niveaux significatifs de bicarbonate, de calcium et de sulfate, Manbaa étant très fortement minéralisée, Besbassa a une faible minéralisation globale.

Des incohérences et des lacunes dans les informations disponibles pour certaines marques ont été observées, notamment pour Medjana et Crista,

III.3. Paramètres physico-chimiques étudiées :

Officiellement, les composants physico-chimiques des eaux embouteillées se trouvent sur l'étiquette de la bouteille commercialisée, conformément à la loi en vigueur, après avoir été testées et les résultats présentés par les laboratoires officiellement autorisées. Ces laboratoires sont ceux de l'Institut Pasteur d'Algérie (IPA), l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH) et du centre national de toxicologie (CNT), ce sont les seuls considérés comme laboratoire de référence selon la loi.

La réglementation algérienne fixe des prescriptions en vigueur des étiquettes opposées sur les bouteilles qui doivent comporter les mentions suivantes :

- La dénomination de la vente (eau minérale naturelle, eau de source, eau minérale gazéifiée….) etc.

- Les proportions en calcium, magnésium, sodium, potassium, nitrate, sulfate, bicarbonate, chlorure, pH, résidu sec à 180°C.
- La mention "contient de fluorures" lorsque la teneur en fluor dépasse 1mg/L.
- Les indications thérapeutiques (pour les eaux minérales).

Les tableaux 06 et 07 contiennent les caractéristiques physico-chimiques des eaux étudiées, relevées à partir des étiquetages les plus récentes (2025) de chaque bouteille, comportant les concentrations des anions et des cations dissous, le fluor, la valeur du pH et la concentration totale des résidus secs (RS) à 180°C en mg/.

Tableau 06 : Résultats des analyses chimiques des étiquettes des eaux de sources

Eaux de source		Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^{+}	K^{+}	Cl^{-}	HCO_3^{-}	SO_4^{2-}	NO_3^{-}	NO_2^{-}	F	pH	RS
Qniaa	mg/l	111,66	26,97	48,22	2,48	92,12	259,02	66,66	12,39	0,01	/	7,24	602
	méq/l	5,56	2,21	2,09	0,063	2,59	4,24	1,38	0,19	0,0002			
Besbassa	mg/l	54,16	2,64	5	2	10	164,7	4	9	0	/	7,29	206
	méq/l	2,7	0,21	0,21	0,051	0,28	2,7	0,083	0,14	0			
Qantara	mg/l	90	37	36	3	59	247	162	9,6	0	/	7,32	636
	méq/l	4,48	3,04	1,56	0,076	1,66	4,04	3,37	0,15	0			
Nestlé	mg/l	55	17	12	0,5	15	210	33	4,6	0	/	7,8	372
	méq/l	2,74	1,39	0,52	0,012	0,42	3,44	0,68	0,074	0			
Medjana	mg/l	136	42	62	2	47	458	211	1,8	0,01	0,33	7,12	953
	méq/l	6,78	3,45	2,69	0,051	1,32	7,5	4,39	0,02	0,0002	/		
Ovitale	mg/l	80	14	30	1	50	214	75	5,1	0	/	6,92	360
	méq/l	3,99	1,15	1,3	0,025	1,4	3,5	1,56	0,08	0			
Crista	mg/l	70	35	19	1,5	32	342	19	27	0	/	7,3	439
	méq/l	3,49	2,88	0,82	0,038	0,9	5,6	0,39	0,43	0			

Tableau 07 : Résultats des analyses chimiques des étiquettes des eaux minérales

Eaux minérales		Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^{+}	K^{+}	Cl^{-}	HCO_3^{-}	SO_4^{2-}	NO_3^{-}	NO_2^{-}	F	pH	RS
Saïda	mg/l	68	50	58	2	81	376	65	15	0	/	7,5	478
	méq/l	3,39	4,11	2,52	0,051	2,28	6,16	1,35	0,24	0			
Sfid	mg/l	74	35	28	2	68	268	91	28	0	/	7,12	650
	méq/l	3,69	2,88	1,21	0,051	1,91	4,39	1,89	0,45	0			
Messerghine	mg/l	49	34,5	69,27	11,5	104,62	341,62	10	1,5	0	/	7,6	400
	méq/l	2,44	2,83	3,01	0,29	2,94	5,6	0,2	0,024	0			
Mansourah	mg/l	85	37	30	1	48	362	53	12	0	/	7	660
	méq/l	4,23	3,04	1,3	0,025	1,35	5,93	1,1	0,19	0			
Lala khedidja	mg/l	49	5	3,1	0,4	7	168	3	5,94	0,03	0,11	7,42	178
	méq/l	2,44	0,41	0,13	0,01	0,19	2,75	0,062	0,095	0,0006	/		
Manbaa	mg/l	93	31	68	4	84	326	153	8,9	0,02	1,5	7,1	725
	méq/l	4,63	2,55	2,95	0,1	2,36	5,34	3,18	0,14	0,0004	/		
Ifri	mg/l	99	29	35	2,1	98	265	68	15	0,02	/	7,2	550
	méq/l	4,93	2,38	1,52	0,053	2,76	4,34	1,41	0,24	0,0004			

III.3.1. Le Résidu Sec

Le résidu sec représente le taux des éléments minéraux recueillis après l'évaporation d'un litre d'eau à une température de 180°C.

La réglementation algérienne recommande une limite de minéralisation qui peut varier entre 1500 et 2000 mg/l.

Les eaux prises en compte dans le cadre de ce travail montrent une minéralisation qui varie de 206 mg/l (Besbassa) à 953 mg/l (Medjana), dans le cas des eaux de sources et de 178 mg/l (Lala khedidja) à 725 mg/l (Manbaa) dans le cas des eaux minérales (Figure 08).

Ce sont des eaux faibles à moyennement minéralisées et de par le résidu sec recommandées pour l'usage quotidien de la famille.

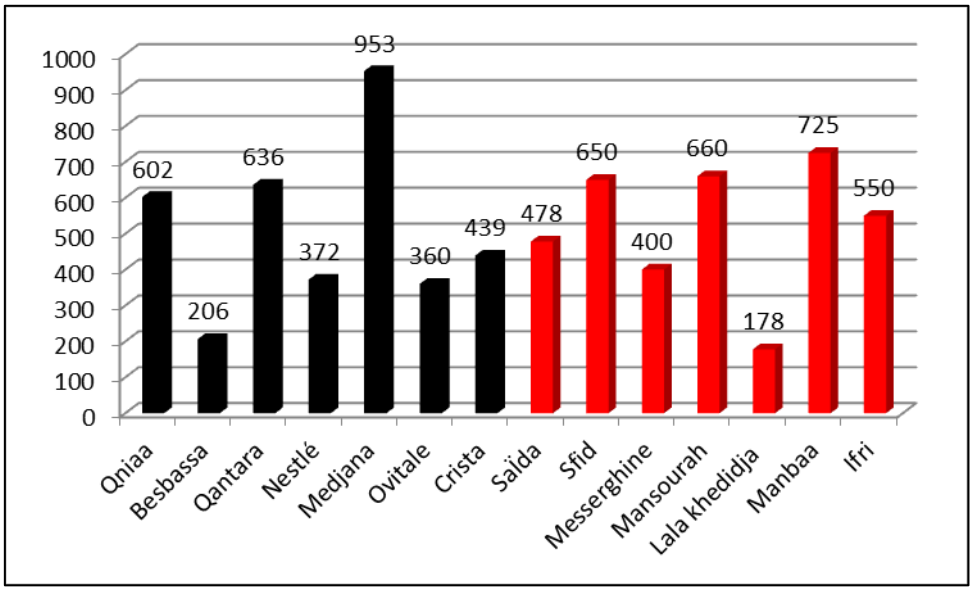


Figure 08 : Résidus secs en mg/l des eaux étudiées

III.3.2. Les ions majeurs

III.3.2.1. Les bicarbonates

Les bicarbonates dans les eaux facilitent la digestion et calment les brûlures d'estomac grâce aux propriétés antiacides du bicarbonate de sodium; de ce fait, les eaux bicarbonatées sont bonnes pour les sportifs pour lutter contre l'acidité produite par le muscle lors de l'effort.

La norme algérienne de potabilité (IANOR 1992) fixe une limite de 500 mg/l pour les bicarbonates.

Dans le cas des eaux étudiées, les teneurs en bicarbonates ne dépassent pas la norme et varient de 164.7 mg/l (Besbassa) à 458 mg/l (Medjana) pour les eaux de sources et de 168 mg/l (Lala khedidja) à 376 mg/l (Saïda) dans les eaux minérales (Figure 09).

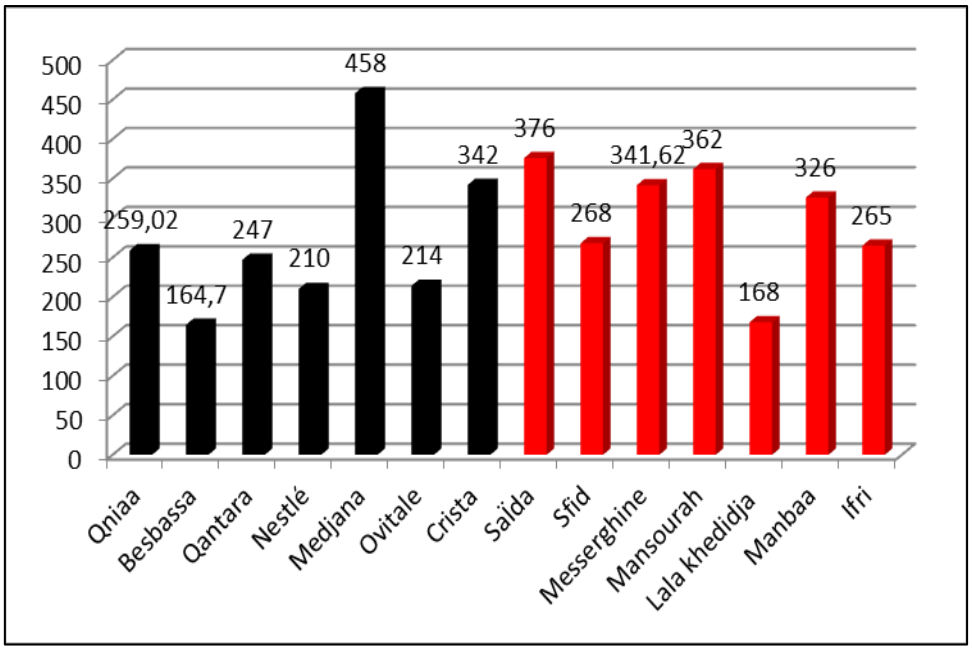


Figure 09 : Concentrations des bicarbonates en mg/l des eaux étudiées

III.3.2.2. Les sulfates

La législation algérienne préconise une teneur en sulfates entre 200 et 400 mg/l, lorsque les teneurs sont élevées (plus de 400 mg/l), l'eau est laxative et peut provoquer des diarrhées, à partir de ces teneurs, elle aura un goût «médical» (tendance amère), elle n'est pas recommandée durant la croissance car les sulfates peuvent interférer avec l'adsorption de calcium et l'inhiber.

Les valeurs des sulfates des eaux étudiées sont dans les normes et varient entre 3 et 211 mg/l, Lala Khedidja possède la concentration la plus faible (Figure 10).

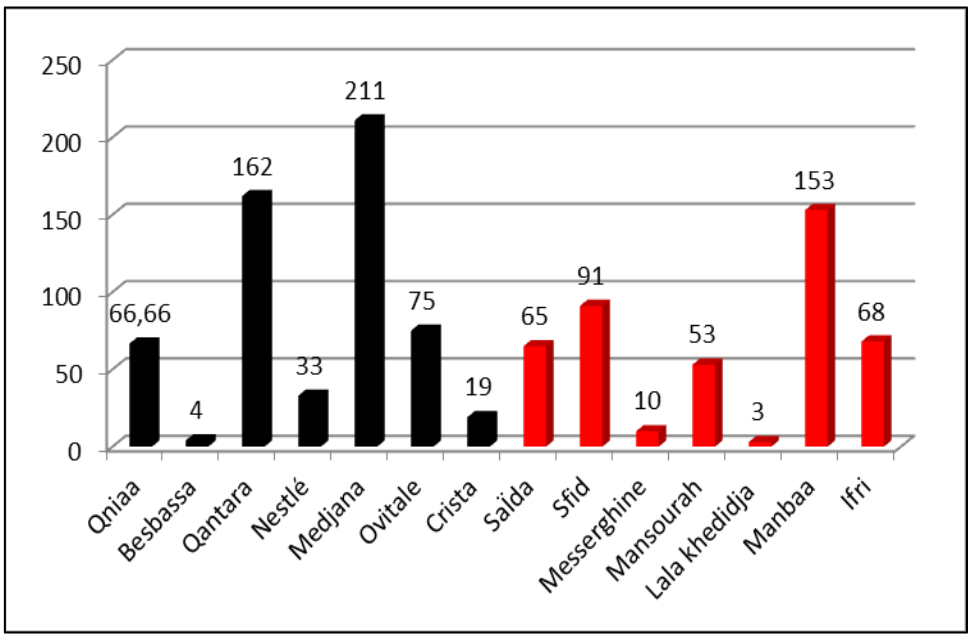


Figure 10 : Concentrations des sulfates en mg/l des eaux étudiées

III.3.2.3. Les chlorures

Les eaux chlorurées ont un effet stimulant sur la croissance et sont indiquées dans le traitement des troubles du développement.

La concentration admise des chlorures dans la règlementation algérienne est fixée entre 200 et 500 mg/l, alors que les réglementations européennes fixent le seuil à 250 mg/l, c'est d'ailleurs à partir de ce niveau de concentration que l'on commence à ressentir le goût de chlore (Javel).

Deux marques, Lala Khedidja et Besbassa présentent des teneurs très faibles en chlorures (teneurs inférieures à 15 mg/l). Pour les autres eaux, les concentrations varient de 15 mg/l à 104.62 mg/l au maximum (Figure 11).

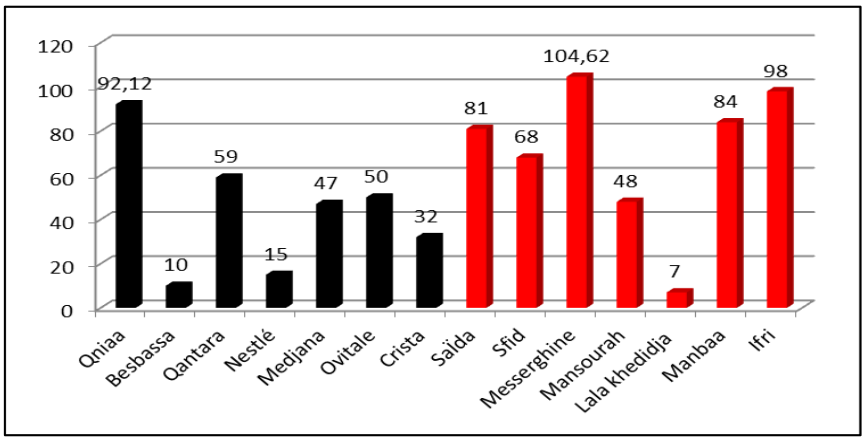


Figure 11 : Concentrations des chlorures en mg/l des eaux étudiées

III.3.2.4. Le sodium

Les eaux pauvres en sodium sont conseillées en cas d'hypertension ou de rétention d'eau.

Selon les normes algériennes de potabilité, la limite pour le sodium est de 200 mg/l, les eaux dont la teneur en sodium est inférieure à 200 mg/l sont considérées comme "sans sodium".

Dans les eaux étudiées, les teneurs en sodium ne dépassent pas 70 mg/l (Figure 12), peuvent être considérées comme "sans sodium" selon les normes.

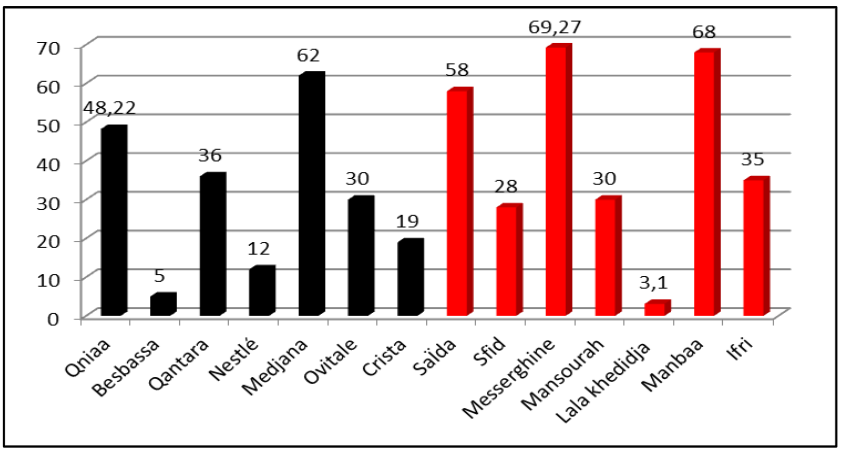


Figure 12 : Concentrations du sodium en mg/l des eaux étudiées

III.3.2.5. Le calcium

Le calcium est un minéral essentiel pour la solidité des os et des dents. L'eau potable peut être une source de calcium, contribuant à l'apport alimentaire total. Certaines recherches suggèrent que le calcium dans l'eau peut avoir des effets bénéfiques sur la santé cardiovasculaire.

Les normes algériennes de potabilité fixent pour le calcium une limite de 200 mg/l. L'ensemble des eaux étudiées ne dépassent pas cette limite et varient de 49 mg/l (Messerghine et Lala khedidja) à 136 mg/l (Medjana) (Figure 13).

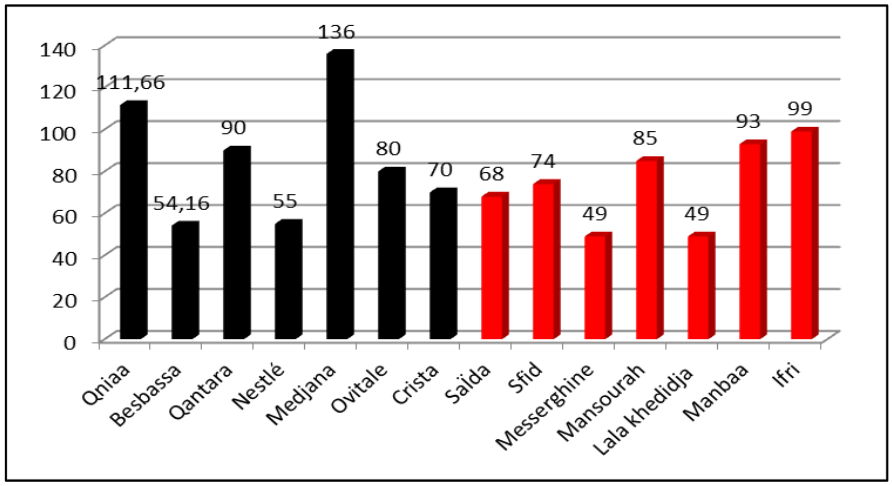


Figure 13 : Concentrations de Calcium en mg/l des eaux étudiées

III.3.2.6. Le potassium

Le potassium est un minéral essentiel et un électrolyte qui joue un rôle important dans de nombreuses fonctions corporelles, notamment la régulation de l'équilibre hydrique, les signaux nerveux et les contractions musculaires, y compris le rythme cardiaque.

Les normes algériennes de potabilité de l'eau fixent une limite de 12 mg/l, la totalité des eaux étudiées présentent des teneurs faibles en potassium (teneurs inférieures à 5 mg/l), sauf l'eau Messerghine qui est très proche de la limite avec une concentration de 11.5 mg/l (Figure 14).

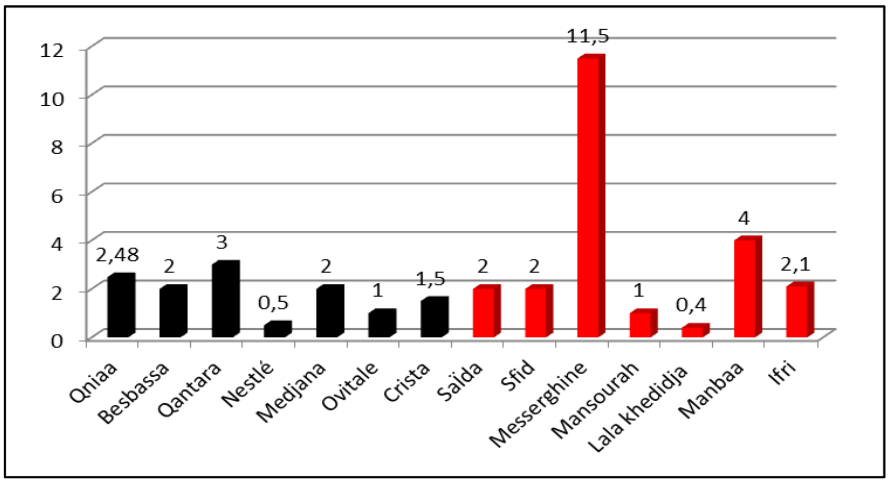


Figure 14 : Concentrations du potassium en mg/l des eaux étudiées

III.3.2.7. Le magnésium

Le magnésium est un élément essentiel impliqué dans plus de 300 réactions enzymatiques dans le corps, régulant la tension artérielle, la glycémie, la fonction nerveuse, les contractions musculaires et la solidité des os.

Les normes algériennes de potabilité fixent pour le magnésium une limite de 150 mg/l. Les eaux étudiées semblent avoir des teneurs faibles à moyennes en magnésium (Figure 15).

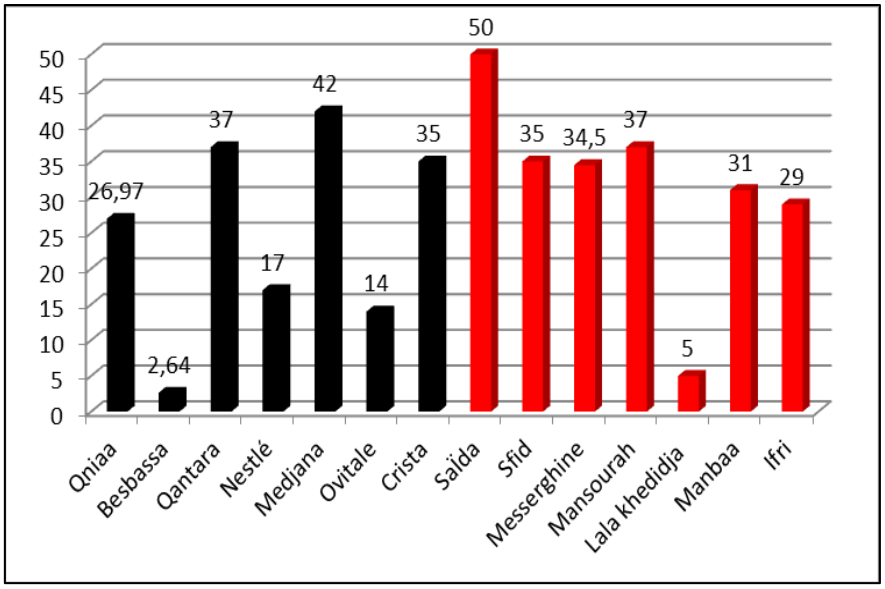


Figure 15 : Concentrations du magnésium en mg/l des eaux étudiées

III.3.3. Le pH

Pour l'eau potable, un pH compris entre 6,5 et 8,5 est généralement considéré comme sûr et optimal pour la consommation humaine. Les eaux prises en considération respectent la plage des valeurs du pH limitées par la législation algérienne (Figure 16).

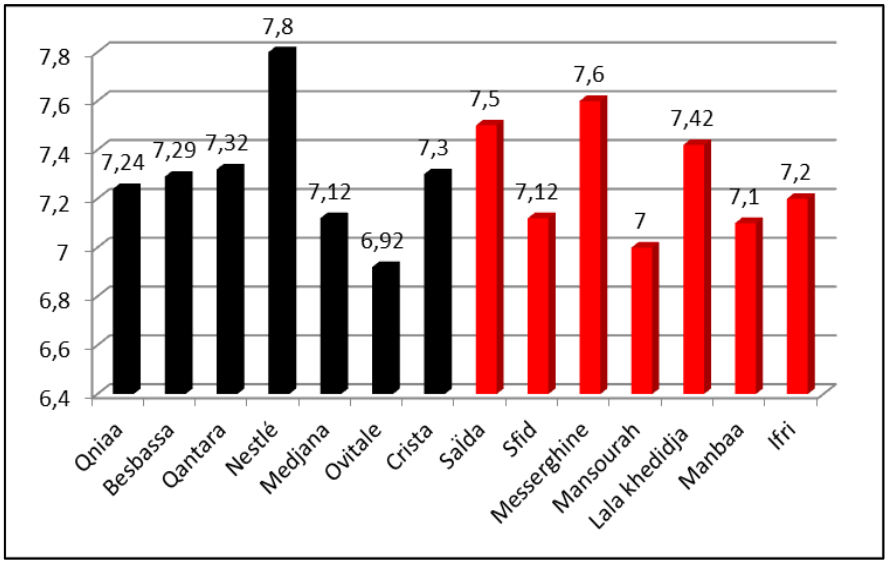


Figure 16 : pH des eaux étudiées

III.3.4. Les éléments azotés

III.3.4.1. Les nitrates

Des niveaux élevés de nitrates dans l'eau potable peuvent provoquer la méthémoglobinémie, également connue sous le nom de "syndrome du bébé bleu", chez les nourrissons de moins de six mois, cette condition affecte la capacité du sang à transporter l'oxygène et peut être grave, voire mortelle.

Les normes Algériennes de potabilité de l'eau fixent une limite maximale admissible pour les nitrates, généralement de 50 mg/l qui est respectée par la somme des marques d'eaux étudiées, voir que certains eaux ont des faibles teneurs en nitrates comme Medjana et Messerghine (Figure 17).

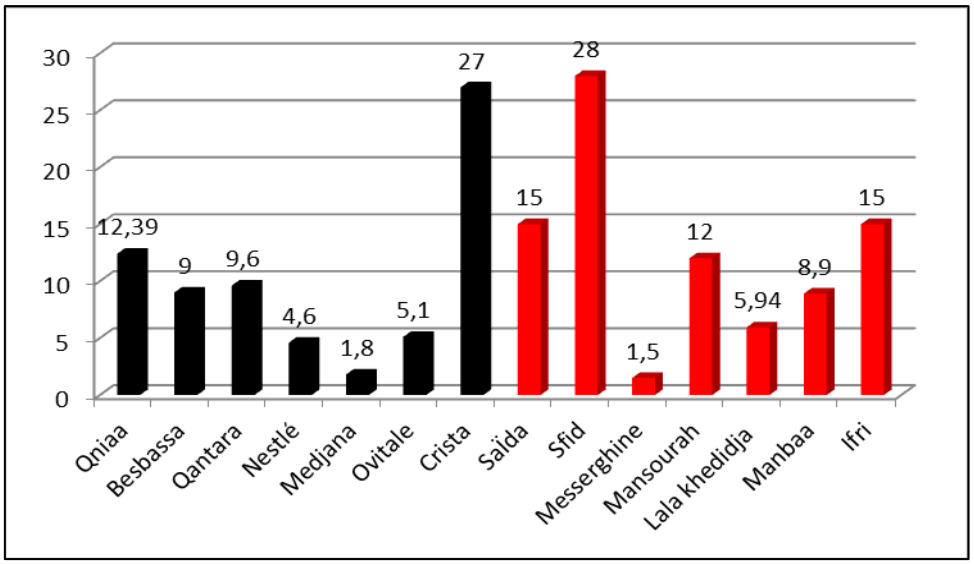


Figure 17 : Concentrations des nitrates en mg/l des eaux étudiées

III.3.4.2. Les nitrites

Les nitrites, qui peuvent se former à partir des nitrates dans le corps, peuvent également causer la méthémoglobinémie chez les nourrissons de moins de six mois, et peuvent également réagir avec d'autres composés pour former des N-nitroso composés (NOC), dont beaucoup sont considérés comme cancérigènes.

La limite maximale admissible pour les nitrites dans l'eau potable en Algérie est généralement de 0,1 mg/l ou 0,2 mg/l.

La plupart des eaux étudiées ne contient pas de nitrites (0 mg/l), et même pour celles qui en contiennent, la teneur est très faible et n'attienne pas la moitié de la limite maximale admissible (Figure 18).

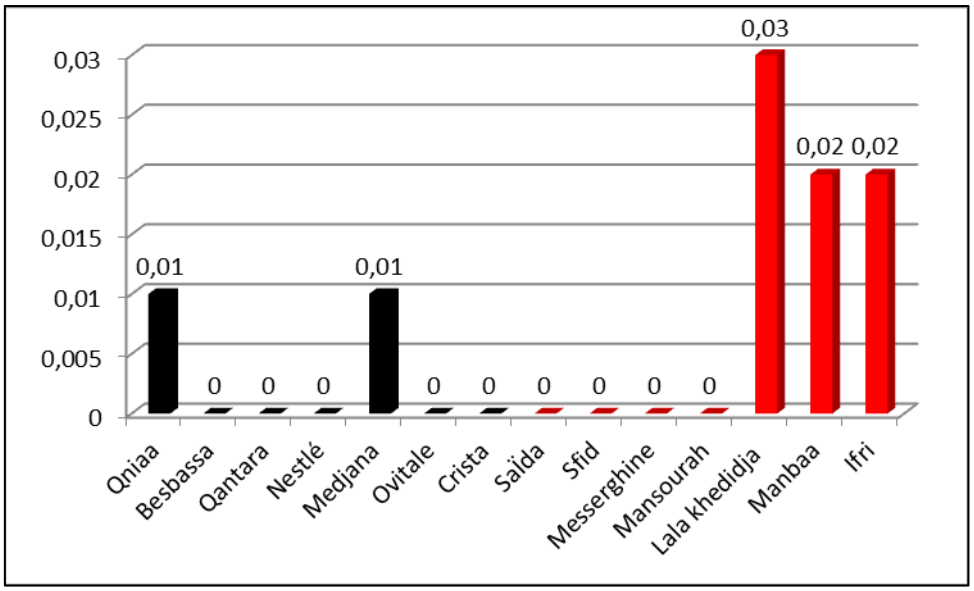


Figure 18 : Concentrations des nitrites en mg/l des eaux étudiées

III.4. Conclusion

L'Algérie bénéficie d'une grande variété d'eaux embouteillées, majoritairement localisées au nord du pays, en particulier dans le bassin algérois-Hodna-Soummam, grâce à des conditions climatiques, hydrologiques et géologiques favorables. Ces eaux, qu'elles soient de source ou minérales naturelles, proviennent exclusivement d'origines souterraines et ne subissent ni traitement chimique ni désinfection.

L'étude des résultats des analyses mentionnées sur les étiquettes des 14 marques d'eaux embouteillées algériennes montre que la plupart d'entre elles sont faiblement à moyennement minéralisées et conviennent à la consommation quotidienne. Les concentrations des ions majeurs (bicarbonates, sulfates, chlorures, sodium, calcium, potassium, magnésium) sont généralement conformes aux normes algériennes de potabilité. Le pH de toutes les eaux analysées se situe également dans la plage recommandée. De plus, les teneurs en nitrates et nitrites sont bien en dessous des limites admissibles, garantissant la sécurité sanitaire.

La diversité hydrogéologique des sources et aquifères souterrains impacte la qualité de l'eau, comme en témoignent les profils minéraux variés des marques. Certaines eaux se distinguent par leur richesse en calcium (Qniaa, Saida, Ifri) ou en magnésium (Mansourah, Messerghine), tandis que d'autres sont faiblement minéralisées (Lala Khedidja, Nestlé Pure Life).

Les laboratoires algériens utilisent des méthodes analytiques standardisées, conformes aux normes nationales et internationales, pour évaluer les paramètres physico-chimiques des eaux.

CHAPITRE IV
RESULTATS ET DISCUSSION

IV.1. Interprétation graphique des résultats sur les étiquettes

IV.1.1. Balance ionique

La méthode de la balance ionique permet de contrôler la qualité des analyses effectuées sur les éléments majeurs, cette démarche de validation est un préalable indispensable à la présentation des résultats d'analyse et à leur interprétation.

Le calcul des balances ioniques se fonde sur la relation suivante :

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

L'erreur maximale admise étant fixée à 5 % depuis longtemps; ce pourcentage moyen est basé sur la fiabilité des appareils de dosage, les erreurs d'estimation de l'expérimentateur...; les méthodes de dosage, l'appareillage s'améliorant de plus en plus, ce qui donne des résultats de plus en plus précis.

Tout écart doit ainsi être interprété comme un biais induit lors de l'analyse, en règle générale, les résultats des analyses sont considérés de la manière suivante :

- -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.

Tableau 08 : Balances ioniques (analyse étiquettes)

Nature de l'eau	Nom	Balance ionique%	Interprétation
Eau de source	Qniaa	8,31	Fiabilité des résultats d'analyses médiocre
	Besbassa	0,5	Fiabilité des résultats d'analyses excellente
	Qantara	0,34	Fiabilité des résultats d'analyses excellente
	Nestlé	0,51	Fiabilité des résultats d'analyses excellente
	Medjana	0,98	Fiabilité des résultats d'analyses excellente
	Ovitale	0,57	Fiabilité des résultats d'analyses excellente
	Crista	0,63	Fiabilité des résultats d'analyses excellente
Eau minérale	Saida	0,2	Fiabilité des résultats d'analyses excellente
	Sfid	4,91	Fiabilité des résultats d'analyses acceptable
	Messerghine	1,11	Fiabilité des résultats d'analyses acceptable
	Mansourah	0,14	Fiabilité des résultats d'analyses excellente
	Lala khedidja	1,76	Fiabilité des résultats d'analyses acceptable
	Manbaa	3,71	Fiabilité des résultats d'analyses acceptable
	Ifri	0,75	Fiabilité des résultats d'analyses excellente

La grande majorité des eaux de source (6 sur 7) présentent une balance ionique très faible (inférieure à 1%), ce qui indique une "Fiabilité des résultats d'analyses excellente", seule l'eau de source Qniaa se distingue avec une balance ionique significativement plus élevée (8,31%), résultant en une fiabilité jugée "médiocre".

Parmi les eaux minérales, 3 sur 7 (Saida, Mansourah, Ifri) ont une balance ionique très basse, indiquant une "Fiabilité des résultats d'analyses excellente", les 4 autres (Sfid, Messergine, Lala Khedidja, Manbaa) ont des pourcentages légèrement plus élevés, ce qui les classe dans la catégorie de "Fiabilité des résultats d'analyses acceptable" (Tableau 08).

IV.1.2. Représentations graphiques des analyses

Plusieurs méthodes de classification des eaux naturelles ont été proposées par divers auteurs. Dans le cadre de cette étude, les classifications de Schoeller-Berkaloff, Piper, et Stabler ont été prises en considération.

IV.1.2.1. Diagramme de Schoeller-Berkaloff

Schoeller a proposé un graphe semi-logarithmique dans lequel les principaux anions et cations sont tracés sur l'axe horizontal avec six divisions égales et l'échelle verticale est l'échelle logarithmique d'une concentration en milli-équivalent, les points sont alors reliés par une polyligne et la pente de la ligne entre deux ions d'un échantillon peut être comparée à d'autres échantillons pour visualiser la corrélation entre deux ions, le graphe a l'avantage d'afficher les concentrations réelles des paramètres, il illustre la distribution relative des principaux ions dans les échantillons d'eaux, les échantillons se comportent différemment du modèle général en raison de processus géochimiques (Schoeller et al., 1965).

En moyenne, l'abondance des anions et des cations en méq/l varie dans une eau douce comme suit :

$$Ca^{2+} > Mg^{2+} > Na^{+} > K^{+}$$

$$HCO_3^{-} > Cl^{-} > SO_4^{2-} > NO_3^{-}$$

La dispersion des ions dans les échantillons d'eau est liée à l'interaction eau-roche qui se produit lorsque l'eau traverse le sol et réagit à divers degrés avec les minéraux et autres constituants environnants (*In* Amadi et al., 2012).

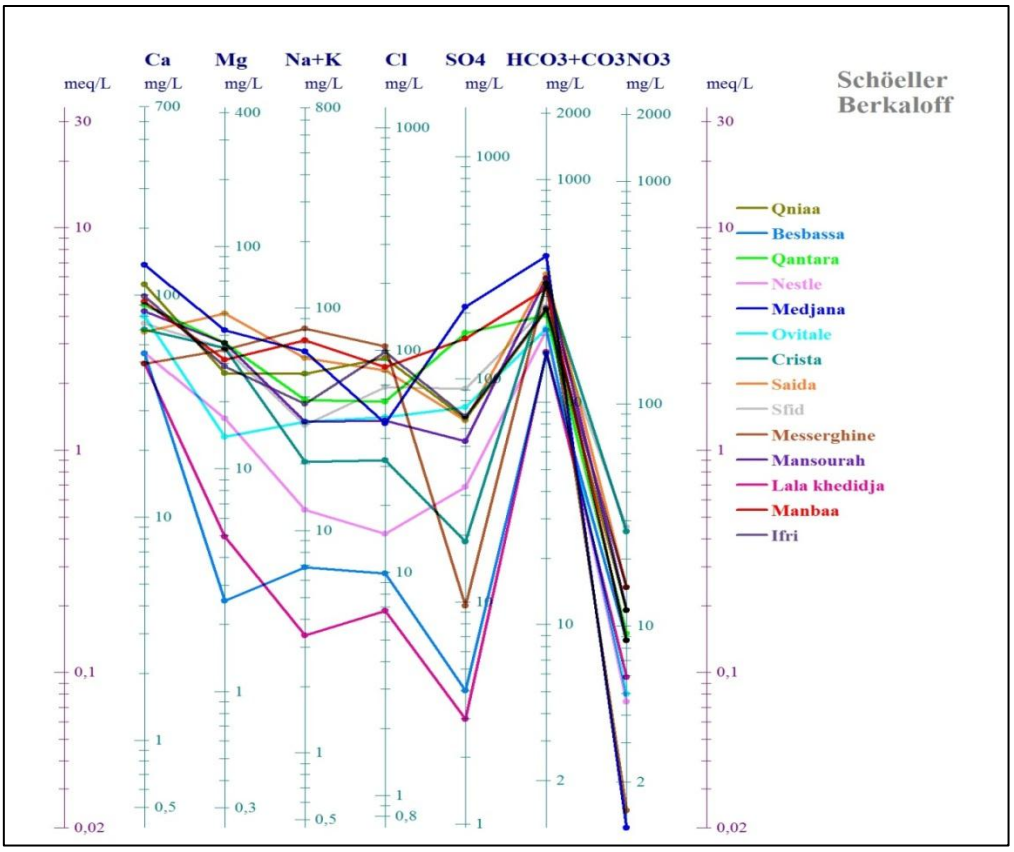


Figure 19 : Diagramme de Schoeller-Berkaloff (analyse étiquettes)

La majorité des eaux ont des profils relativement similaires, caractérisés par des concentrations modérées à faibles de la plupart des ions, avec souvent une dominance de l'anion HCO_3+CO_3 (bicarbonates) et du cation Ca (calcium), typiques des eaux interagissant avec des roches carbonatées (calcaire, dolomie)

Par contre, l'eau Saïda présente une dominance du Magnesium (Mg), et pour l'eau Messerghine le sodium et potassium (Na+K) (Figure 19).

IV.1.2.2. Diagramme de Piper

Le diagramme de Piper exprimé en % de méq/L est la forme graphique la plus largement utilisée pour définir les faciès hydrochimiques des eaux, il est l'une des représentations les plus classiques pour comparer les compositions chimiques des eaux naturelles.

Il découle de la projection des résultats des analyses chimiques sur trois diagrammes, un ternaire cationique, un ternaire anionique et un quaternaire anionique et cationique.

La position relative d'un résultat analytique sur chacun de ces triangles permet de préciser en premier lieu la dominance cationique et anionique, le losange (quaternaire) permet de reporter l'interaction entre les deux lignes issues des points identifiés sur chaque triangle, ce point d'intersection représente l'analyse globale de l'échantillon, cette position permet de préciser le faciès de l'eau naturelle concernée.

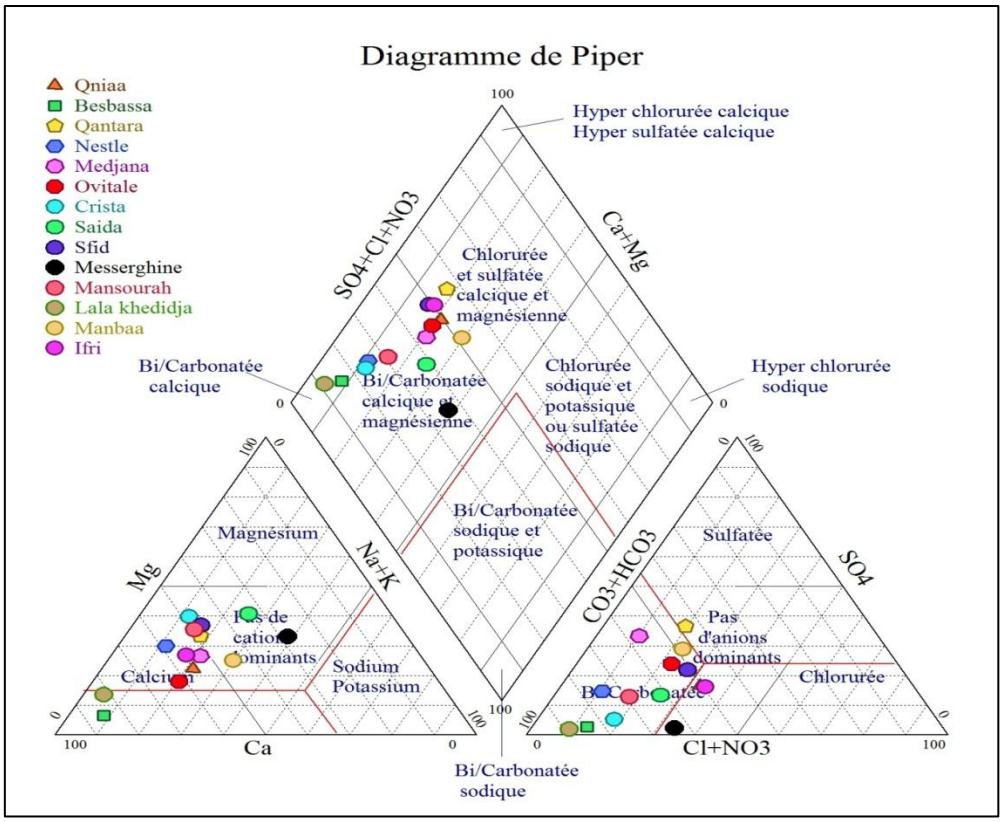


Figure 20 : Diagramme de Piper (analyses étiquettes)

La majorité des échantillons se localise dans le domaine des eaux bicarbonatées calciques et magnésiennes. Cela indique que ces eaux proviennent de formations riches en carbonates. Certains échantillons (Qantara, Manbaa, Ifri, Sfid) sont près du domaine Chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne (Figure 20).

IV.1.2.3. Diagramme de Stabler

Cette classification des eaux consiste à comparer les quantités en réaction des cations et des anions exprimées en pourcentage (%) par rapport à la concentration totale des eaux en utilisant d'une part la formule caractéristique de Stabler et de classer séparément les anions et les cations par ordre croissant pour déterminer les faciès chimiques et d'autre part la représentation graphique de ces éléments sur le logiciel diagramme (Simler, 2009 *In* Touhari, 2015).

La formule caractéristique de Stabler est donnée par l'équation :

$$r\% = (\frac{r}{c}) \times 100$$

r : quantité en réaction de l'ion considéré en méq/l

c : concentration totale en méq/l

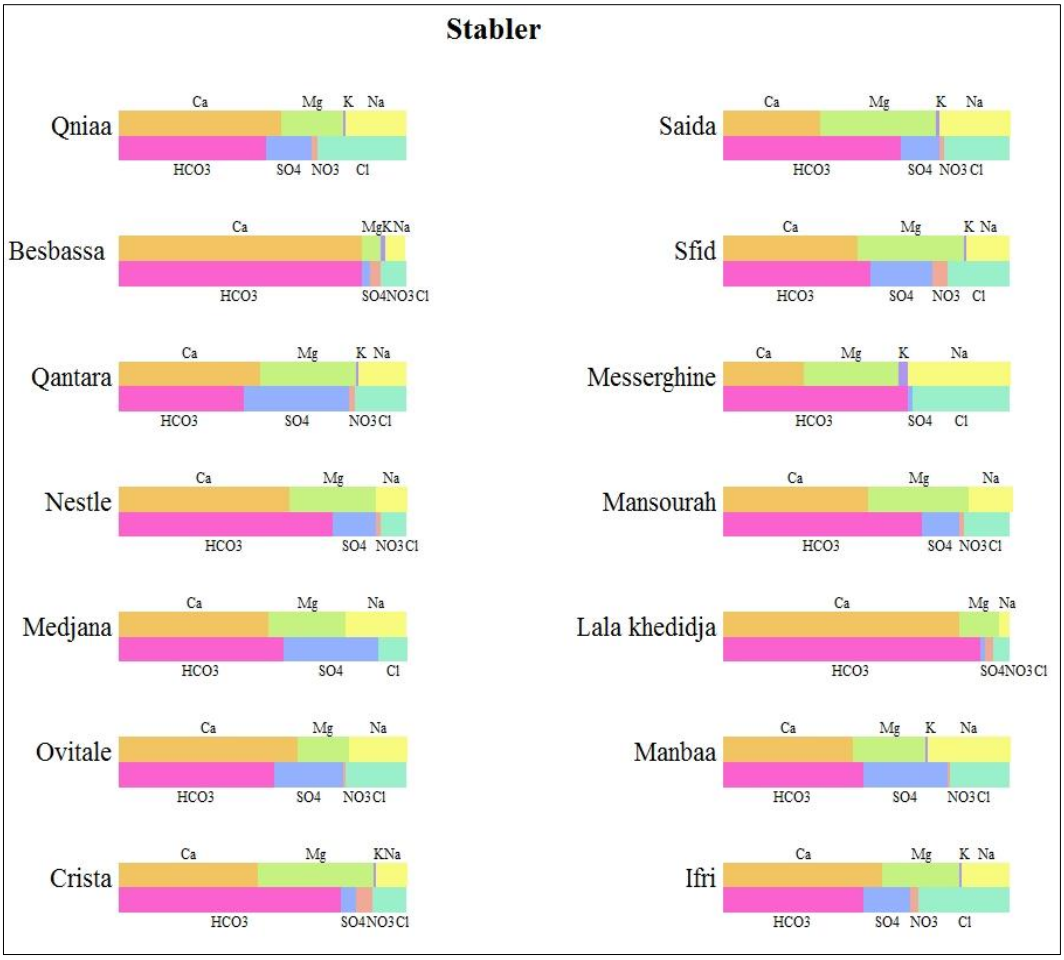


Figure 21 : Diagramme de Stabler (analyse étiquettes)

Il ressort de cette analyse que la majorité des eaux présentent un faciès dominant Bicarbonaté Calcique (HCO_3-Ca). C'est le faciès le plus courant pour les eaux douces de surface et souterraines qui sont en contact avec des formations géologiques riches en roches carbonatées (calcaires, dolomies), très répandues en Algérie.

Cependant, on remarque une différence de facies pour Messerghine (Bicarbonatée Sodique), et pour Saida (Bicarbonatée Magnésienne) (Figure 21).

Tableau 09 : Faciès chimiques

Nature de l'eau	Nom	Formule caractéristique	Faciès chimique
Eaux de source	Qniaa	$r\,HCO_3^- > r\,Cl^- > r\,SO_4^{2-} > r\,NO_3^- > r\,NO_2^-$ $r\,Ca^{2+} > r\,Mg^{2+} > r\,Na^+ > r\,K^+$	Bicarbonatée calcique
	Besbassa	$r\,HCO_3^- > r\,Cl^- > r\,NO_3^- > r\,SO_4^{2-} > r\,NO_2^-$ $r\,Ca^{2+} > r\,Mg^{2+} > r\,Na^+ > r\,K^+$	
	Qantara	$r\,HCO_3^- > r\,SO_4^{2-} > r\,Cl^- > r\,NO_3^- > r\,NO_2^-$ $r\,Ca^{2+} > r\,Mg^{2+} > r\,Na^+ > r\,K^+$	
	Nestlé	$r\,HCO_3^- > r\,SO_4^{2-} > r\,Cl^- > r\,NO_3^- > r\,NO_2^-$ $r\,Ca^{2+} > r\,Mg^{2+} > r\,Na^+ > r\,K^+$	
	Medjana	$r\,HCO_3^- > r\,SO_4^{2-} > r\,Cl^- > r\,NO_3^- > r\,NO_2^-$ $r\,Ca^{2+} > r\,Mg^{2+} > r\,Na^+ > r\,K^+$	
	Ovitale	$r\,HCO_3^- > r\,SO_4^{2-} > r\,Cl^- > r\,NO_3^- > r\,NO_2^-$ $r\,Ca^{2+} > r\,Na^+ > r\,Mg^{2+} > r\,K^+$	
	Crista	$r\,HCO_3^- > r\,Cl^- > r\,NO_3^- > r\,SO_4^{2-} > r\,NO_2^-$ $r\,Ca^{2+} > r\,Mg^{2+} > r\,Na^+ > r\,K^+$	
Eaux minérales	Manbaa	$r\,HCO_3^- > r\,SO_4^{2-} > r\,Cl^- > r\,NO_3^- > r\,NO_2^-$ $r\,Ca^{2+} > r\,Na^+ > r\,Mg^{2+} > r\,K^+$	
	Ifri	$r\,HCO_3^- > r\,Cl^- > r\,SO_4^{2-} > r\,NO_3^- > r\,NO_2^-$ $r\,Ca^{2+} > r\,Mg^{2+} > r\,Na^+ > r\,K^+$	
	Sfid	$r\,HCO_3^- > r\,Cl^- > r\,SO_4^{2-} > r\,NO_3^- > r\,NO_2^-$ $r\,Ca^{2+} > r\,Mg^{2+} > r\,Na^+ > r\,K^+$	
	Mansourah	$r\,HCO_3^- > r\,Cl^- > r\,SO_4^{2-} > r\,NO_3^- > r\,NO_2^-$ $r\,Ca^{2+} > r\,Mg^{2+} > r\,Na^+ > r\,K^+$	
	Lala khedidja	$r\,HCO_3^- > r\,Cl^- > r\,NO_3^- > r\,SO_4^{2-} > r\,NO_2^-$ $r\,Ca^{2+} > r\,Mg^{2+} > r\,Na^+ > r\,K^+$	
	Saida	$r\,HCO_3^- > r\,Cl^- > r\,SO_4^{2-} > r\,NO_3^- > r\,NO_2^-$ $r\,Mg^{2+} > r\,Ca^{2+} > r\,Na^+ > r\,K^+$	Bicarbonatée magnésienne
	Messerghine	$r\,HCO_3^- > r\,Cl^- > r\,SO_4^{2-} > r\,NO_3^- > r\,NO_2^-$ $r\,Na^+ > r\,Mg^{2+} > r\,Ca^{2+} > r\,K^+$	Bicarbonatée sodique

IV.2. Interprétation des résultats des analyses réalisées au laboratoire

IV.2.1. Présentation des résultats

Parallèlement aux résultats présentés sur les étiquettes, nous avons procéder à l'analyse physico-chimique des 14 échantillons d'eaux embouteillées considérées au niveau du laboratoire de la SEOR. Les résultats sont confinés dans les tableaux 10, 11, et 12.

Nous avons remarqué des variations importantes au niveau des valeurs des différents paramètres analysés par rapport aux concentrations mentionnées sur les étiquettes. Les teneurs les plus élevées peuvent être dangereuses pour la santé du consommateur.

Tableau 10 : Résultats des analyses chimiques des eaux de source au laboratoire

Eaux de source			Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^{+}	K^{+}	Cl^{-}	HCO_3^{-}	SO_4^{2-}	NO_3^{-}	NO_2^{-}	F	pH	RS
Qniaa	Etiquette	mg/l	111,66	26,97	48,22	2,48	92,12	259,02	66,66	12,39	0,01	/	7,24	602
		méq/l	5,56	2,21	2,09	0,063	2,59	4,24	1,38	0,19	0,0002			
	Analyse	mg/l	58,134	49,8	20,12	8,4	88,504	353,8	70,89	16,338	/		7,56	/
		méq/l	2,89	4,09	0,87	0,21	2,49	5,8	1,47	0,26				
Besbassa	Etiquette	mg/l	54,16	2,64	5	2	10	164,7	4	9	0		7,29	206
		méq/l	2,7	0,21	0,21	0,051	0,28	2,7	0,083	0,14	0			
	Analyse	mg/l	33,975	18,6	12,3	5,4	67,703	123,22	35,056	8,51	/		7,5	/
		méq/l	1,69	1,53	0,53	0,13	1,9	2,02	0,73	0,13				
Qantara	Etiquette	mg/l	90	37	36	3	59	247	162	9,6	0		7,32	636
		méq/l	4,48	3,04	1,56	0,076	1,66	4,04	3,37	0,15	0			
	Analyse	mg/l	41,927	31,5	18,4	6,7	91,644	335,5	70,01	6,836	/		7,65	/
		méq/l	2,09	2,59	0,8	0,17	2,58	5,5	1,45	0,11				
Nestlé	Etiquette	mg/l	55	17	12	0,5	15	210	33	4,6	0		7,8	372
		méq/l	2,74	1,39	0,52	0,012	0,42	3,44	0,68	0,074	0			
	Analyse	mg/l	35,341	22,8	10,5	2,2	70,537	219,6	68,105	4,194	/		7,95	/
		méq/l	1,76	1,87	0,45	0,05	1,98	3,6	1,41	0,06				
Medjana	Etiquette	mg/l	136	42	62	2	47	458	211	1,8	0,01	0,33	7,12	953
		méq/l	6,78	3,45	2,69	0,051	1,32	7,5	4,39	0,02	0,0002			
	Analyse	mg/l	72,047	61,9	28,5	11,4	76,381	363,56	72,434	0	/		7,31	/
		méq/l	3,59	5,09	1,23	0,29	2,15	5,96	1,5	0				
Ovitale	Etiquette	mg/l	80	14	30	1	50	214	75	5,1	0	/	6,92	360
		méq/l	3,99	1,15	1,3	0,025	1,4	3,5	1,56	0,08	0			
	Analyse	mg/l	43,373	37,4	17,2	6,7	72,107	280,6	67,105	5,428	/		7,49	/
		méq/l	2,16	3,07	0,74	0,17	2,03	4,6	1,39	0,08				
Crista	Etiquette	mg/l	70	35	19	1,5	32	342	19	27	0		7,3	439
		méq/l	3,49	2,88	0,82	0,038	0,9	5,6	0,39	0,43	0			
	Analyse	mg/l	39,357	32,1	18,1	7,1	75,13	291,58	66,355	14,806	/		7,59	/
		méq/l	1,96	2,64	0,78	0,18	2,11	4,78	1,38	0,23				

Tableau 11 : Résultats des analyses chimiques des eaux minérales au laboratoire

Eaux minérales			Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^{+}	K^{+}	Cl^{-}	HCO_3^{-}	SO_4^{2-}	NO_3^{-}	NO_2^{-}	F	pH	RS
Saida	Etiquette	mg/l	68	50	58	2	81	376	65	15	0		7,5	478
		méq/l	3,39	4,11	2,52	0,051	2,28	6,16	1,35	0,24	0			
	Analyse	mg/l	75,742	58,7	21,6	10,1	116,711	366	92,36	29,958	/		7,44	/
		méq/l	3,77	4,83	0,93	0,25	3,28	6	1,92	0,48				
Sfid	Etiquette	mg/l	74	35	28	2	68	268	91	28	0		7,12	650
		méq/l	3,69	2,88	1,21	0,051	1,91	4,39	1,89	0,45	0			
	Analyse	mg/l	57,911	43	30,2	17,2	120,579	353,8	70,12	50,732	/		7,51	/
		méq/l	2,88	3,53	1,31	0,43	3,39	5,8	1,46	0,81				
Messerghine	Etiquette	mg/l	49	34,5	69,27	11,5	104,62	341,62	10	1,5	0	/	7,6	400
		méq/l	2,44	2,83	3,01	0,29	2,94	5,6	0,2	0,024	0			
	Analyse	mg/l	42,73	46,6	32,4	19,8	109,795	351,36	66,825	9,753	/		7,51	/
		méq/l	2,13	3,83	1,4	0,5	3,09	5,76	1,39	0,15				
Mansourah	Etiquette	mg/l	85	37	30	1	48	362	53	12	0		7	660
		méq/l	4,23	3,04	1,3	0,025	1,35	5,93	1,1	0,19	0			
	Analyse	mg/l	42,73	46,6	15,4	5,1	116,615	311,1	66,18	55,208	/		7,46	/
		méq/l	2,13	3,83	0,66	0,13	3,28	5,1	1,37	0,89				
Lala khedidja	Etiquette	mg/l	49	5	3,1	0,4	7	168	3	5,94	0,03	0,11	7,42	178
		méq/l	2,44	0,41	0,13	0,01	0,19	2,75	0,062	0,095	0,0006			
	Analyse	mg/l	28,915	46,6	4,1	0,5	36,942	203,75	32,125	3,035	/	/	7,86	/
		méq/l	1,44	3,83	0,17	0,012	1,04	3,34	0,66	0,04				
Manbaa	Etiquette	mg/l	93	31	68	4	84	326	153	8,9	0,02	1,5	7,1	725
		méq/l	4,63	2,55	2,95	0,1	2,36	5,34	3,18	0,14	0,0004			
	Analyse	mg/l	59,514	11,9	31,2	11	141,611	457,5	76,075	7,629	/		7,58	/
		méq/l	2,96	0,97	1,35	0,28	3,98	7,5	1,58	0,12				
Ifri	Etiquette	mg/l	99	29	35	2,1	98	265	68	15	0,02	/	7,2	550
		méq/l	4,93	2,38	1,52	0,053	2,76	4,34	1,41	0,24	0,0004			
	Analyse	mg/l	39,357	53,7	28,1	7,4	138,428	469,7	70,06	16,64	/		7,22	/
		méq/l	1,96	4,41	1,22	0,18	3,89	7,7	1,45	0,26				

Tableau 12 : Paramètres physico-chimiques mesurées

Nature de l'eau	Nom	Conductivité (µs/cm)	Turbidité (NTU)	TAC mg/l	TH mg/l
Eaux de source	Qniaa	873	0,26	290	347
	Besbassa	361	0,114	101	161
	Qantara	793	0,118	275	294
	Nestlé	584	0,195	180	182
	Medjana	1494	0,356	298	434
	Ovitale	649	0,088	230	262
	Crista	683	0,99	239	230
Eaux minérales	Saida	1008	0,154	300	431
	Sfid	814	0,135	290	321
	Messerghine	769	0,26	288	298
	Mansourah	770	0,1	255	298
	Lala Khedidja	289	0,13	167	121
	Manbaa	927	0,2	375	369
	Ifri	690	0,71	385	210

Malgré les variations importantes des valeurs des différents paramètres analysés, la grande majorité reste conforme aux normes de potabilité des eaux embouteillées algériennes et celles de l'OMS.

Par contre, les eaux Sfid et Messerghine dépassent la limite fixée par les normes en ce qui concerne la concentration du potassium (K^+).

On remarque aussi une importante augmentation de la concentration en nitrates dans les eaux de Sfid et Mansourah, qui dépassent légèrement la limite des normes, et peuvent être réduits en nitrites.

Les marques étudiées sont toutes considérées comme des eaux pauvres en sodium selon les normes algériennes (< 200 mg/l).

Le Titre Alcalimétrique Complet (TAC) élevé (Tableau 12) signifie que les eaux ont une forte concentration de sels d'alcalinité, principalement des carbonates et des bicarbonates. En d'autres termes, les eaux ont une grande capacité à neutraliser les acides.

Tableau 13 : Classification de TH (Sawyer et Mccarty, 1967)

Concentration	Type
< 75 mg/l	Eau douce
75 - 150 mg/l	Eau moyennement dure
150 - 300 mg/l	Eau dure
> 300 mg/l	Eau très dure

Tableau 14 : Classification des eaux étudiées selon le TH

Nature de l'eau	Nom	Classification de TH
Eaux de sources	Qniaa	Eau très dure
	Besbassa	Eau dure
	Qantara	Eau dure
	Nestlé	Eau dure
	Medjana	Eau très dure
	Ovitale	Eau dure
	Crista	Eau dure
Eaux minérales	Saida	Eau très dure
	Sfid	Eau très dure
	Messerghine	Eau dure
	Mansourah	Eau dure
	Lala Khedidja	Eau moyennement dure
	Manbaa	Eau très dure
	Ifri	Eau dure

La dureté totale (TH) de la majorité des eaux se divise en deux groupes eaux dures et eaux très dures. Cela signifie qu'elles contiennent des concentrations élevées de calcium et de magnésium, seule l'eau Lala Khedidja est classée comme une eau moyennement dure.

IV.2.2. Balance ionique

La grande majorité des eaux présentent une balance ionique mauvaise (dépasse 10%), ce qui indique une "Mauvaise fiabilité des résultats d'analyses". Seules les eaux Medjana et Lala Khedidja se distinguent avec une balance ionique acceptable. L'eau de Saida présente elle une balance ionique médiocre (Tableau 15). Ce changement des résultats de calcul des balances ioniques serait principalement dû aux variations des concentrations ioniques des résultats, comparés à ceux des étiquettes.

D'après ces balances, seules les faciès chimiques des trois eaux Medjana, Lala Khedidja et Saida peuvent être vérifiées.

Tableau 15 : Balances ioniques (analyse laboratoire)

Nature de l'eau	Nom	Balance ionique %	Interprétation
Eaux de source	Qniaa	10,84	Mauvaise fiabilité des résultats d'analyse
	Besbassa	10,39	Mauvaise fiabilité des résultats d'analyse
	Qantara	26,09	Mauvaise fiabilité des résultats d'analyse
	Nestlé	26,11	Mauvaise fiabilité des résultats d'analyse
	Medjana	2,97	Fiabilité des résultats d'analyses acceptable
	Ovitale	13,76	Mauvaise fiabilité des résultats d'analyse
	Crista	20,91	Mauvaise fiabilité des résultats d'analyse
Eaux minérales	Saida	8,85	Fiabilité des résultats d'analyses médiocre
	Sfid	16,87	Mauvaise fiabilité des résultats d'analyse
	Messerghine	13,86	Mauvaise fiabilité des résultats d'analyse
	Mansourah	22,36	Mauvaise fiabilité des résultats d'analyse
	Lala khedidja	3,53	Fiabilité des résultats d'analyses acceptable
	Manbaa	40,66	Mauvaise fiabilité des résultats d'analyse
	Ifri	26,55	Mauvaise fiabilité des résultats d'analyse

IV.2.3. Représentations graphiques

IV.2.3.1. Diagramme de Schoeller-Berkaloff

Les eaux ont des profils similaires, caractérisés souvent par une dominance de l'anion HCO3+CO3 (bicarbonates) et du cation Mg (magnésium), montrant une différence du faciès cationique pour Medjana et Lala Khedidja, comparé avec celui calculé d'après les concentrations mentionnées sur les étiquettes (Figure 22).



Figure 22 : Diagramme de Schoeller-Berkaloff (analyse laboratoire)

Le diagramme de Schoeller-Berkaloff met en évidence la similarité des profils hydrochimiques, et la faible minéralisation de Lala khedidja. Tous les échantillons sont de type bicarbonaté magnésien, suggérant une bonne qualité générale des eaux analysées.

IV.2.3.2. Diagramme de Piper

Les trois échantillons d'eau (Medjana, Saida, Lala Khedidja) présentent un faciès hydrochimique similaire, ils sont dominés par l'ion magnésium (cation) et par les bicarbonates (anions), ce qui les classe dans la famille des « eaux bicarbonatées calciques et magnésiennes ». Ce type de faciès est caractéristique des aquifères naturels peu impactés par la pollution ou la salinisation (Figure 23).

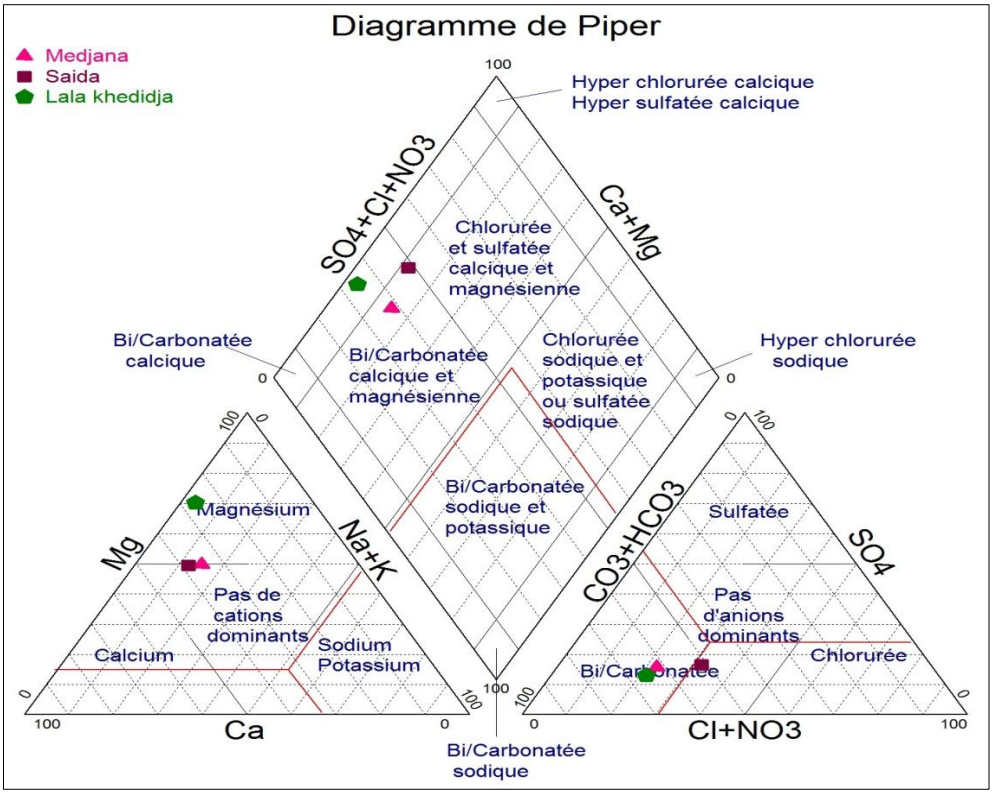


Figure 23 : Diagramme de Piper (analyse laboratoire)

IV.2.3.3. Diagramme de Stabler

Le diagramme de Stabler confirme le facies chimique des trois eaux qui est de type bicarbonaté magnésien. Ce faciès diffère par le cation prédominant, par rapport à celui déterminé à partir des étiquettes pour Medjana et Lala Khedidja ; l'eau de Saida garde le même facies que sur l'étiquette (Figure 24).

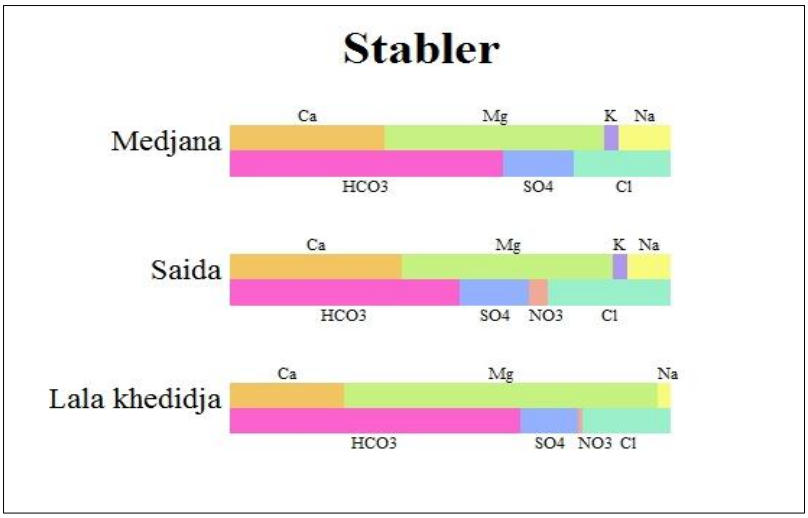


Figure 24 : Diagramme de Stabler (analyse laboratoire)

IV.3. Comparaison et Discussions

La comparaison des balances ioniques montre une dégradation de la fiabilité analytique pour la grande majorité des échantillons. Onze des quatorze eaux analysées en laboratoire affichent une "Mauvaise fiabilité des résultats d'analyse" (balance ionique dépassant 10%), alors que leurs étiquettes indiquaient majoritairement une fiabilité "excellente" ou "acceptable". Cette observation suggère un problème fondamental avec soient les procédures analytiques du laboratoire, soient au niveau de la conservation des échantillons, soient des échanges et réactions chimiques avec le contenant (bouteilles en plastique).

Vu que les méthodes de dosage et l'appareillage s'améliorent, ce qui devrait en théorie conduire à des résultats plus précis. Or, les résultats de laboratoire montrent une différence notable par rapport à ceux présentés sur les étiquettes. Cette contradiction peut être due à plusieurs facteurs : soit les données des étiquettes, bien que présentées comme fiables, pourraient être basées sur des analyses plus anciennes ou moins rigoureuses ; soit le laboratoire spécifique ayant effectué ces analyses n'utilise pas des équipements de pointe ou ne suit pas des protocoles d'analyse optimaux ; soit des problèmes de manipulation des échantillons, de conservation, de transport ou de contamination ont pu introduire des biais significatifs. Cette disparité met en lumière un écart potentiel dans l'assurance qualité entre la certification initiale des eaux embouteillées (qui conduit aux données des étiquettes) et les vérifications indépendantes ultérieures. Cela souligne l'impératif de protocoles analytiques standardisés et robustes, ainsi que de comparaisons inter-laboratoires pour garantir une qualité de données constante.

Alternativement, il pourrait s'agir d'une variation réelle de la composition de l'eau, due à des facteurs tels que des variations saisonnières, des changements dans les conditions de l'aquifère, ou des différences entre les lots d'échantillonnage ou les points de prélèvement. Il est également envisageable que les données des étiquettes ne reflètent pas toujours la composition la plus actuelle ou la plus précise de l'eau. Ce changement de faciès cationique a des implications sur la perception des caractéristiques de l'eau, notamment en termes de bénéfices pour la santé.

En conséquence de ces balances ioniques défavorables, seuls les faciès chimiques des eaux Medjana, Lala Khedidja et Saida peuvent être vérifiés de manière fiable à partir des résultats d’analyse au laboratoire. Cette limitation est critique, car la faible fiabilité des analyses pour la majorité des échantillons rend leurs classifications hydrochimiques douteuses. Ce changement de balances est attribué directement aux changements des concentrations ioniques des résultats comparés à ceux des étiquettes, ce qui confirme le déséquilibre prononcé entre les valeurs des cations et anions mesurées au laboratoire par rapport à celles mentionnées sur les étiquettes.

D'après les données des étiquettes, la majorité des eaux présentent des profils relativement similaires, caractérisés par des concentrations modérées à faibles de la plupart des ions. Une dominance de l'anion HCO_3^- (bicarbonates) et du cation Ca^{2+} (calcium) est fréquemment relevée. Ce profil est typique des eaux ayant interagi avec des roches carbonatées, comme le

calcaire et la dolomie. Des exceptions notables incluent l'eau Saïda, qui présente une dominance du Mg^{2+} (magnésium), et l'eau Messerghine, dominée par le Na^{+} (sodium).

Les analyses de laboratoire montrent également des profils chimiques similaires des différentes eaux, avec une prédominance des bicarbonates et du magnésium. Le diagramme de Schoeller-Berkaloff basé sur les analyses de laboratoire confirme ce faciès. Par ailleurs, l'eau Lala Khedidja se distingue par une faible minéralisation.

Les analyses révèlent également des concentrations plus élevées en Potassium dans les eaux **Sfid** (17,2 mg/l) et **Messerghine** (19,8 mg/l), dépassant la limite fixée par les normes concernant la concentration du potassium. Le potassium est un électrolyte essentiel qui joue un rôle crucial dans les signaux nerveux et les contractions musculaires, y compris le rythme cardiaque. Une élévation excessive de sa concentration peut être dangereuse pour la santé, en particulier pour les individus souffrant de problèmes rénaux ou cardiaques préexistants. Pour ces populations vulnérables, une consommation d'eau avec des niveaux élevés de potassium pourrait aggraver leur état de santé.

Une augmentation importante des nitrates est aussi observée dans les eaux **Sfid** (50,732 mg/l) et **Mansourah** (55,208 mg/l). Ces concentrations dépassent légèrement la limite des normes. Les nitrates peuvent être transformés en nitrites dans le corps, ce qui pose des problèmes de santé significatifs, notamment pour les nourrissons et les femmes enceintes. Chez les nourrissons, des niveaux élevés de nitrites peuvent provoquer la méthémoglobinémie, une condition qui réduit la capacité du sang à transporter l'oxygène. Cette précision sur les populations spécifiques à risque est essentielle pour des avis de santé publique ciblés.

En revanche, il est à noter que toutes les marques étudiées sont considérées comme des eaux pauvres en sodium, conformément aux normes algériennes (moins de 200 mg/l). Cette caractéristique est généralement perçue comme un avantage pour la santé des consommateurs, en particulier ceux qui surveillent leur apport en sodium.

La conductivité, qui mesure la capacité de l'eau à conduire l'électricité, est directement liée à la concentration totale des solides dissous. Les eaux de source présentent une conductivité variant de 361 µs/cm (Besbassa) à 1494 µs/cm (Medjana). Pour les eaux minérales, elle s'étend de 289 µs/cm (Lala Khedidja) à 1008 µs/cm (Saida). Des valeurs élevées, comme celles de Medjana et Saida, indiquent une minéralisation plus importante.

La turbidité, qui mesure la clarté de l'eau, est généralement faible pour toutes les eaux étudiées, variant de 0,088 NTU (Ovitale) à 0,99 NTU (Crista) pour les eaux de source, et de 0,1 NTU (Mansourah) à 0,71 NTU (Ifri) pour les eaux minérales. faible turbidité est un indicateur positif de la qualité visuelle de l'eau, suggérant une faible présence de matières en suspension.

Le TAC représente la concentration des sels d'alcalinité, principalement les carbonates et les bicarbonates. Les valeurs de TAC varient de 101 mg/l (Besbassa) à 298 mg/l (Medjana) pour les eaux de source, et de 167 mg/l (Lala Khedidja) à 385 mg/l (Ifri) pour les eaux minérales. Un TAC élevé indique une forte capacité de l'eau à neutraliser les acides.

La dureté totale est principalement due aux concentrations de calcium et de magnésium. Les valeurs de TH varient de 161 mg/l (Besbassa) à 434 mg/l (Medjana) pour les eaux de source, et de 121 mg/l (Lala Khedidja) à 431 mg/l (Saida) pour les eaux minérales. Sur le plan de la santé, les eaux dures sont généralement sans danger et peuvent même être bénéfiques en tant que source d'apport en minéraux essentiels. Cependant, pour les individus ayant des problèmes rénaux spécifiques, une consommation excessive de minéraux peut être déconseillée, nécessitant un avis médical.

IV.4. Conclusion

La comparaison des analyses de laboratoire avec les données des étiquettes révèle des disparités significatives dans la fiabilité et la composition des eaux en bouteille étudiées.

En ce qui concerne la fiabilité analytique, la majorité des eaux (onze sur quatorze) analysées en laboratoire présentent une "Mauvaise fiabilité des résultats d'analyse" avec une balance ionique dépassant 10%, contrastant fortement avec la "Fiabilité excellente" ou "acceptable" indiquée sur leurs étiquettes. Cette contradiction suggère des problèmes potentiels au niveau des procédures analytiques du laboratoire, des équipements, des protocoles, ou encore des manipulations et conservations des échantillons. En conséquence, seuls les faciès chimiques des eaux Medjana, Lala Khedidja et Saida peuvent être vérifiés de manière fiable à partir des résultats de laboratoire en raison de balances ioniques acceptables ou médiocres.

Concernant les faciès chimiques, les données des étiquettes indiquent généralement une dominance de l'anion HCO_3^- (bicarbonates) et du cation Ca^{2+} (calcium), typique des eaux interagissant avec des roches carbonatées. Des exceptions notables incluent l'eau Saïda (dominance de Mg^{2+}) et Messerghine (dominance de Na^+). Les analyses de laboratoire confirment la dominance des bicarbonates parmi les anions, mais révèlent un changement significatif dans le cation dominant, passant majoritairement au Mg^{2+} pour la plupart des eaux, suggérant un faciès bicarbonaté magnésien. Ce glissement pourrait être dû à des erreurs analytiques, des variations réelles de la composition de l'eau, ou des données d'étiquettes moins à jour.

Sur le plan de la santé, plusieurs points importants ont été soulevés par les analyses en laboratoire :

Les eaux Sfid et Messerghine présentent des concentrations en potassium (K^+) supérieures aux normes, ce qui peut être dangereux pour la santé, en particulier pour les personnes souffrant de problèmes rénaux ou cardiaques.

Une augmentation significative des nitrates est observée dans les eaux Sfid et Mansourah, dépassant les limites établies. Les nitrates peuvent être transformés en nitrites dans le corps, posant des risques pour la santé, notamment la méthémoglobinémie chez les nourrissons et des problèmes pour les femmes enceintes.

En revanche, toutes les marques étudiées sont considérées comme pauvres en sodium (< 200 mg/l) selon les normes algériennes, ce qui est généralement un avantage pour la santé des consommateurs.

La majorité des eaux sont classées comme "dures" ou "très dures" en raison de leurs concentrations élevées en calcium et magnésium, à l'exception de Lala Khedidja qui est "moyennement dure". Bien que les eaux dures soient généralement sans danger et potentiellement bénéfiques, une consommation excessive de minéraux peut être déconseillée pour certains individus ayant des problèmes rénaux.

La conductivité, la turbidité et le Titre Alcalimétrique Complet (TAC) ont également été évalués. Les eaux présentent des conductivités variées, indiquant des niveaux de minéralisation différents. La faible turbidité générale indique une bonne qualité visuelle. Un TAC élevé pour la plupart des eaux signifie une forte capacité à neutraliser les acides.

En somme, bien que la grande majorité des eaux reste conforme aux normes de potabilité algériennes et de l’OMS, les incohérences entre les données des étiquettes et les analyses de laboratoire, notamment en termes de fiabilité et de dominance cationique, soulignent l'importance de protocoles analytiques standardisés et robustes, ainsi que de comparaisons inter-laboratoires pour garantir la qualité des données. De plus, les teneurs élevées en potassium et nitrates dans certaines marques nécessitent une attention particulière pour les populations vulnérables.

CONCLUSION

&

RECOMMANDATIONS

Conclusion générale

La présente étude a pour objectif la caractérisation hydrochimique et qualitative des eaux embouteillées, un aspect important pour la santé publique et la gestion des ressources hydriques. À travers une approche méthodologique rigoureuse, incluant la détermination des paramètres physico-chimiques tels que le pH, la conductivité électrique, la turbidité, la dureté totale ainsi que le dosage des anions et cations majeurs (nitrates, nitrites, chlorures, sulfates, etc.), nous avons pu dresser un portrait détaillé de la qualité de ces eaux.

Les résultats obtenus ont permis de mettre en évidence la conformité générale des paramètres analysés aux normes de potabilité en vigueur en Algérie, notamment la norme NA 6360 (IANOR, 1992) et le Décret exécutif n° 11-125 (République Algérienne Démocratique et Populaire, 2011). Nous avons observé que la majorité des échantillons respectent les valeurs limites établies pour la consommation humaine. Cependant, des variations significatives ont été notées pour certains paramètres hydrochimiques (par exemple, la dureté ou la concentration en certains ions spécifiques) entre les différentes marques d'eaux embouteillées examinées. Ces observations sont d'autant plus pertinentes qu'elles contribuent à une meilleure compréhension de la composition et des potentielles origines des eaux embouteillées.

La caractérisation hydrochimique a révélé des faciès hydrochimiques des eaux étudiées, témoignant de différentes origines géologiques de ces eaux. L'analyse a non seulement permis de confirmer la conformité ou les écarts par rapport aux normes, mais aussi d'offrir une perspective sur l'origine et les propriétés intrinsèques de ces eaux.

En somme, cette recherche confirme l'importance d'une surveillance continue de la qualité des eaux embouteillées. Les données recueillies constituent une base précieuse pour les consommateurs, leur permettant de faire des choix éclairés ; pour les producteurs, afin d'assurer la qualité et la sécurité de leurs produits ; et pour les autorités de régulation, pour garantir le respect des normes sanitaires. Elles soulignent l'importance d'une vigilance constante pour assurer la santé publique.

Quelques recommandations

Évaluer l'impact des matériaux d'emballage et du stockage sur la qualité de l'eau :

Une étude pourrait être menée pour analyser l'évolution des paramètres hydrochimiques et la potentielle migration de substances chimiques des matériaux d'emballage (plastiques notamment) vers l'eau, en fonction des conditions et de la durée de stockage.

Mener des études épidémiologiques et de perception des consommateurs :

Compléter les analyses techniques par des enquêtes auprès des consommateurs pour comprendre leurs perceptions de la qualité de l'eau embouteillée, leurs motivations de consommation, et l'impact potentiel sur leur santé perçue.

Renforcer les cadres réglementaires et les programmes de surveillance :

Il est recommandé aux autorités compétentes de continuer à réviser et à renforcer les normes de qualité de l'eau (en tenant compte des nouvelles données scientifiques et des lignes directrices internationales) et d'intensifier les programmes de surveillance et de contrôle des eaux embouteillées sur le marché.

Sensibiliser les consommateurs :

Développer des campagnes d'information et de sensibilisation pour les consommateurs sur les étiquettes des eaux embouteillées, les paramètres de qualité, les normes de potabilité et les meilleures pratiques de conservation de l'eau une fois ouverte.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Achour Talet, N. (2019). Évaluation de la qualité physico-chimique des eaux embouteillées commercialisées en Algérie, Mémoire Docteur en Pharmacie, Univ Abou Bekr Belkaïd.

Agence Japonaise de Coopération Internationale. Tableau 5-1 Normes algériennes provisoires de la qualité d'eau potable (préparées pour la promulgation).

Algérienne des Eaux – ADE. Qualité de l'Eau.

Arbi, M., & Aldjoubi, A. (2019). Évaluation des caractéristiques physico-chimiques et microbiologiques de quelques marques d'eaux embouteillées à Constantine.

Atkins, P., & de Paula, J. (2010). Physical Chemistry, Oxford University Press.

Bantin, A. B. B., Wang, H., & Jun, X. (2020, 11 octobre). Analysis and Control of the Physicochemical Quality of Groundwater in the Chari Baguirmi Region in Chad. Water, 12(10), 2826.

Benziada, M. (2003). Hydrogéologie de la plaine de la Mitidja Orientale (Algérie). Bulletin des sciences géographiques de l'INCT, 7(1), 43-52.

Belli, N., Mesbah, L., Chebab, S., Tekouk, M., & Leghouchi, E. (2010). Stress oxydant induit par la co-exposition au plomb et au cadmium : deux contaminants des eaux souterraines de Oued Nil (Jijel - Algérie). Revue des Sciences de l'Eau / Journal of Water Science, 23(3), 289–301.

Belaidi, N., & Boudoukha, A. (2018). Physico-chemical quality of some bottled mineral waters marketed in Algeria. LARHYSS Journal, (18), 101-112.

Besbassa. Accueil.

BGS, (2019). Btitish Geological Survey.

Biswas, A. K., & Tortajada, C. (2019, 9 octobre). Water quality management: a globally neglected issue. International Journal of Water Resources Development, 36(sup1), S1–S14.

Bouhali, A., & al., (2020). Les eaux minérales naturelles embouteillées et commercialisées en Algérie : Qualité et vertus thérapeutiques. Mémoire de Master. Univ 8 Mai 1945 Guelma, 94p.

Bouziani, M. (2000). L'eau : De la pénurie aux maladies. Ed. Ibn Khaldoun. P.31-167.

Boudjadja, A., & al., (2003). Ressources hydriques en Algérie du Nord. Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science, 16(3), 285–304.

Bouhali, A. (2020). Qualité des produits et sécurité alimentaire : étude des eaux minérales naturelles embouteillées en Algérie, Mémoire de Master, Univ Guelma, analyse physico-chimique et effets thérapeutiques de plusieurs marques commercialisée.

Bouteldjaoui, F., & Taupin, J. D. (2023). Assessment of some bottled natural mineral waters and spring waters in Algeria using multivariate statistical analysis, hydrogeochemical approaches and water quality index (WQI). International Journal of Environmental Analytical Chemistry, 104(19), 2178911.

Boussenadji, M. R. Etude physico-chimique des eaux de distribution en Algérie. ASJP.

British Geological Survey. Hydrogeology of Algeria. Earthwise.

Canellas, J. (1995). Au sujet de la définition et de la réglementation des eaux minérales naturelles. La Houille Blanche, N° 213.

Castany, G. (1965). Exploitation des eaux souterraines et bilan hydrique dans les calcaires de Tunisie. Act .coll. Hyd. roch. calc. fiss. (Dubrovnik).AIHS. UNESCO. N°73.525p.

Chaouch, N., & Arbi, R. (2021). Étude de la qualité des eaux embouteillées destinées à l'AEP commercialisées au niveau de la région d'Ouargla Mémoire de Master, Univ Kasdi Merbah, Ouargla.

Cherad, k. (2021). « Analyse physico-chimique et bactériologique des eaux embouteillées dans la région de Ghardaïa », Laboratoire de Biologie Eau et Environnement (LBEE).

Chocat, B., Levi, Y., Brelot, E. (2015). L'eau du robinet est-elle différente de l'eau en bouteille ? .Méli-Mélo. Démêlons les fils de l'eau.

Chompoux, A., Toutan, C. (1988). Eléments d'hydrologie. Ed. Le Griffon d'argile.

C.I.Eau, Centre d'Information sur l'Eau. (2004). Guide des ressources sur le thème l'eau, Document pédagogique sur l'eau potable. P. 2-8.

Cevital Agro-Industrie. Lalla Khedidja Natural Mineral Water.

Chouaafa, N. (2016). Analyse de la qualité de l'eau potable distribuée à Guelma. Université du 8 Mai 1945 - Guelma.

Desjardins, R. (1988). Le traitement des eaux. Éditions de l'École Polytechnique de Montréal.

Degremont, S.A. (2005). Memento technique de l'eau, Toml.2ème Ed. LavoisierTec.et Doc., Cachan. P : 37-38-40-50-60-61-63.

Décret Exécutif n° 11-219 du 12 juin 2011, établissant les objectifs de qualité pour les eaux superficielles et souterraines destinées à l'alimentation en eau des populations.

Derradji, S., & Mechehoud, N. (2021, septembre). Evaluation de la qualité physico-chimique et organique des eaux souterraines de la commune de Hamma Bouziane approvisionnées à la consommation humaine Mémoire de master, Univ des Frères Mentouri Constantine 1.

ECCP, Environnement Canada, Conservation et Protection. (1990). Fiche d'information, No1, L'eau-cette magicienne de la nature.

Euromonitor International. (2024). Bottled Water in Algeria.

Earthwise British Geological Survey. Hydrogeology of Algeria.

El Kantara Water. Présentation.

Eujournal.org. (2016). The Contribution of the Mounts of Saida to the Regional Hydrology.

Fanack Water. (2019, July 30). Water Resources in Algeria.

Frisbie, S. H., & Mitchell, E. J. (2022, 6 avril). Arsenic in drinking water: An analysis of global drinking water regulations and recommendations for updates to protect public health. PLOS One, 17(4), e0263505.

Fosset, B., Lefrou, C., Masson, A., Mingotaud, C. (2000). Paris - Hermann, Chimie physique expérimentale, 409 p.

Fengjun, W., & al., (2024). Phys.: Conf. Ser. 2747 012041.

Gbohaida & al., (2016). Etude de la qualité physicochimique de l'eau de boisson dans deux localités du Bénin : Cotonou et Dassa-Zoumè. Int. J. Biol. Chem. Sci. 10(1). p422-434.

Guettaf, M., & Azzazene, Y. (2018). Etude de la qualité de l'eau du robinet de la ville de Frenda (TIARET).

Hazzab, A. (2011). Eaux minérales naturelles et eaux de sources en Algérie. Article in Comptes rendus « Géosciences ».

Hiscock & al., (2002). Dans Vernoux et al., (2010). Contribution à la caractérisation des relations entre eau souterraine, eau de surface et écosystème terrestre associés en lien avec la DCE. Rapport final. Etude réalisée dans le cadre des projets de service public du BRGM 09 EAUK 15. 235p.

Hazzab, B. (2019). Classification qualitative de quelques eaux minérales et eaux de source embouteillées en Algérie : étude physico-chimique et statistique multi-variée Mémoire de Master, Univ de Djelfa.

Horizons.dz, article sur la qualité et conformité des eaux minérales en Algérie, avec mention d'une étude récente de l'Université de Blida.

Hegui, S., & Kaid Youcef, N. (2021). Quality and classification of natural mineral waters bottled in Algeria according to European and Algerian standards. International Journal of Chemical Studies, 9(1), 77-82.

Hadbi, T., Kassoul, A., & Mokadem, M. (2023). Classification of bottled waters marketed and consumed in Algeria through statistical approaches. Journal of Water and Health, 21(10), 1489-1502.

ISO. (2008). ISO 10523:2008 Water quality - Determination of pH.

ISO. (1988). ISO 7890-3:1988 Water quality - Determination of nitrate - Part 3 Spectrometric method using sulfosalicylic acid.

ISO. (1984). ISO 6777:1984 Water quality - Determination of nitrite - Molecular absorption spectrometric method.

ISO. (2007). ISO 10304-1:2007 Water quality - Determination of dissolved anions by liquid chromatography of ions - Part 1: Determination of bromide, chloride, fluoride, nitrate, nitrite, phosphate and sulfate.

Institut Pasteur d'Algérie. Fiche de prélèvement pour analyses des eaux.

International Journal of Water Resources and Environmental Engineering. (2012). Assessment of the quality of some natural mineral water sources in Algeria.

Ifri. Nos marques – Ifri.

Institut Algérien de Normalisation. (2023, 31 décembre). Catalogue des normes algériennes au 31 décembre 2023 Page 709.

Idres, A., Aloui, O., Aoues, K., & Megatli, S. (2020). Contrôle de la qualité bactériologique des eaux souterraines de la région de Blida.

IANOR. (2010). NA 1652 Qualité de l'eau - Dosage du sodium et du potassium - Méthode par spectrométrie d'émission atomique.

IANOR. (2012). NA 756 Qualité de l'eau - Détermination de l'alcalinité.

IANOR. (2013). NA 751 Qualité de l'eau -- Détermination du pH. (ISO 10523:2008).

IANOR. (2013). NA 1653 Qualité de l'eau - Dosage du sodium et du potassium - Méthode par spectrométrie d'émission de flamme.

IANOR. (2013). NA 1657 Qualité de l'eau - Dosage des nitrates - Méthode par spectrométrie d'absorption moléculaire. (ISO 6777:1984).

IANOR. (2009). NA 1656 Qualité de l'eau - Dosage des nitrates - Méthode spectrométrique à l'acide sulfosalicylique. (ISO 7890-3:1988).

IANOR. (1989). NA 752 Qualité de l'eau - Dosage de la somme du calcium et du magnésium - Méthode titrimétrique à l'EDTA. (ISO 6059:1984).

IANOR. (1994). NA 1655 Qualité de l'eau - Dosage du calcium - Méthode titrimétrique à l'EDTA. (ISO 6058:1984).

IANOR. (1992). NA 6360 Norme de Potabilité des eaux de consommation.

IANOR. NA 746 Qualité de l'eau - Détermination de la turbidité.

IANOR. NA 749 Qualité de l'eau - Détermination de la conductivité électrique.

Khaldi, F., Smati, H., Grara, N., Smati, N., Maizi, N., Boukehili, K., & Gheid, A. (2018). Mesure et contrôle des propriétés de quelques eaux souterraines de l'agglomération d'Ouled Driss, Algérie. Environnement Risque & Santé, 17(3), 253–261.

Kettab, A. (1992). Traitement des eaux : Les eaux potable. Ed. Office des Publications Universitaires, P.7, 14, 97, 104, 118.

Labadi, A. S., & Hammache, H. (2016). Etude comparative des eaux minérales et des eaux de sources produites en Algérie. Larhyss Journal, N°28, p319-342.

Loi n° 05-12 du 4 août 2005, relative à l'eau, texte fondamental définissant les principes de gestion et protection des ressources en eau en Algérie.

Lachassagne, P. (2019). Eau minérale naturelle. In : encyclopédie l'environnement, p9.

Labadi, A. S. & al., Etude comparative des eaux minérales et des eaux de sources produites en Algérie. Larhyss Journal, 28 (2016), 319-342.

Menasria, S. (2019, 3 juillet). Caractérisation bactériologique et physicochimique de l'eau potable provenant de quelques forages de Touggourt. Mémoire de master, Univ Kasdi Merbah Ouargla.

Manceur & Djaballah, (2016). Analyse microbiologique de l'eau distribuée dans la ville de Tébessa, Mémoire de Master 2 en Microbiologique Appliquée, Univ Labri Tébessi, Tébessa, Algérie.

Marsily, G. (1995). La protection des eaux minérales et des eaux de source : des zones de protection renforcées. La Houille Blanche, N° 2/3.

Norme algérienne NA 6360-1992, publiée par l'Institut Algérien de Normalisation (IANOR), spécifiant les caractéristiques organoleptiques, bactériologiques, physico-chimiques et toxicologiques de l'eau potable, inspirée des normes OMS et directives CEE.

Open Food Facts. (2025, January 20). Eau de source - Qniaa - 5,5 l.

Ovitale. Ovitale - Eau de source.

Organisation Mondiale de la Santé. (2022). Directives pour la qualité de l'eau de boisson quatrième édition intégrant les premier et deuxième addenda. Organisation Mondiale de la Santé. Genève, Suisse. ISBN : 978-92-4-004506-4 (version électronique), 978-92-4-004507-1 (version imprimée).

Oumou, SG. (2012). Contribution a une meilleure connaissance de la réglementation et de la composition physico-chimique des différentes marques d'eau minérale vendues au MALI. Thèse de Doctorat d'état, Univ Bamako, 156 p.

Ouardi, D., & Bouras, A. (2016). Contribution à l'étude de la qualité physico-chimique et bactériologique du mélange d'eaux d'Ain Skhouna et Ain Zerga et impact environnemental .mémoire master. Univ Moulay Tahar de Saïda.

PNAE-DD. (2012). Le Plan d'Actions National pour l'Environnement et le Développement Durable.

Premier ministre. (2009, 15 décembre). Décret exécutif nº 09-414 fixant la nature, la périodicité et les méthodes d'analyse de l'eau de consommation humaine. Journal Officiel de la République Algérienne N° 75, 10–15.

QNIAA Horizon. Home - BOISSON QNIAA.

Rodier, J. & al., (2009). L'analyse de l'eau. 9éme édition entièrement mise à jour. Paris : Éd. Dunod, ISBN : 978-2-10-054179-9, 1526p.

Rodier, J., Legube, B., & Merlet, N. (2016). L'analyse de l'eau (10e éd.).

ResearchGate. Chemical and physical constituents of bottled mineral waters in Algeria reported on their labels.

Siham, L., Berrabah, S. E., Benchettara, A., & Bardeau, J. F. (2022). Real sample analysis of Pb(II) from 1.24 to 2.28 mg/l in Ovitale bottled water with the corresponding regression equations and correlation coefficients. Environmental Science and Pollution Research, 29(16), 23537-23546.

Secrétariat Général du Gouvernement. (2014, 9 mars). Journal Officiel de la République Algérienne Démocratique et Populaire (N° 13).

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

Stumm, W., & Morgan, J. J. (1996). Aquatic Chemistry: Chemical Equilibria and Rates in Natural Waters. Wiley-Interscience.

Tazir, Z., & Boubidi, C. (2021). L'évaluation des caractéristiques physico-chimiques et microbiologiques de quelques marques d'eaux embouteillées commercialisées au niveau de la ville de Constantine, Mémoire de Master en Écologie Fondamentale et Appliquée, Univ des Frères Mentouri Constantine.

Tamrabet, L., Sekiou, F., & Tamrabet, S. (2024, 1 mai). Evaluating the quality and nutritional content of bottled waters in Algeria. Journal of Water Supply: Research and Technology-Aqua, 73(5), 1075–1089.

Taleb, S. (2014). Confrontation des normes Algériennes des eaux potables aux directives.

Vilagines, R. (2003). Eau, environnement et santé publique. Introduction à l'hydrologie. Editeur : TEC ET DOC / EM INTER. 198 p.

Valiron, F. (2017). Gestion des eaux- alimentation en eau et assainissement, Presse de l'école nationale des ponts et chaussées. Tome 2, 2ème édition revue et corrigée, 1989, Paris, p38.

Whitehead, P. (2020, 16 février). The difference in Drinking Water Standards Worldwide.

Yahyaoui, W. (2024, 24 juin). Etude de la qualité physico-chimique et microbiologique de l'eau potable.