

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur
et de la Recherche Scientifique

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Université Mouloud Mammeri
FACULTE DE MEDECINE
TIZI OUZOU



جامعة مولود معمري
كلية الطب
تيزي وزو

ⵜⴰⵎⴻⵔⴰⵏⵜ ⵏ ⵜⴰⵎⴻⵔⴰⵏⵜ ⵏ ⵜⴰⵔⴻⵔⴰⵏⵜ ⵏ ⵜⴰⵎⴻⵔⴰⵏⵜ

Département de Pharmacie
N° D'ORDRE :

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

Présenté et soutenu publiquement

Le : 29 JUIN 2017

En vue de l'obtention du Diplôme d'Etat de Docteur en Pharmacie

Thème :

Caractérisation physico-chimique et classification des eaux minérales et des eaux de source embouteillées en Algérie.

Réalisé par :

M^r BRAHIMI Rabah

M^{lle} BOUZAR Amel Amélia

Encadrés par :

D^r IBOUKHOULEF Sabrina

Membres du jury :

Pr. MEKACHER L.R.	PR.MCB	Faculté de Médecine UMMTO	Président du jury
Dr. IBOUKHOULEF S.	MAHU	Faculté de Médecine UMMTO	Promotrice
Dr. HADHOUM N.	MAHU	Faculté de Médecine UMMTO	Examinatrice I
Dr. BELAZOUGUI O.	MAHU	Faculté de Médecine UMMTO	Examinatrice II

ANNEE UNIVERSITAIRE : 2016/2017

Remerciements

Nous remercions notre dieu miséricordieux de nous avoir amené à réaliser ce projet et de nous avoir donné la possibilité de poursuivre nos études supérieures et de les réussir.

Nos remerciements vont à mesdames, messieurs les membres du jury, D^r BELAZOUGUI, D^r HADHOUM et P^r MEKACHER. Nous sommes très touchés de l'honneur que vous nous faites en acceptant de juger ce travail. Soyez assurés de tout notre respect et de notre profonde gratitude.

Nous tenons à remercier tout particulièrement notre promotrice D^r IBOUKHOULEF pour son dynamisme scientifique, son aide, sa rigueur, sa disponibilité et sa sympathie. Nous vous prions de trouver ici l'expression de notre respect et de notre profonde reconnaissance.

Nous remercions également D^r CHIBAH pour avoir mis à notre disposition un spectrophotomètre de flamme, pour sa disponibilité et pour l'intérêt qu'il a porté à ce travail.

Merci à Mesdames SLIMANI et SAADA pour leurs conseils, leurs compétences et leur bonne humeur.

Merci à D^r BOURSOUTI, D^r BELKADI, et à M^r TIGRINE pour leur aide bénéfique et leurs conseils.

Nos remerciements vont aussi à D^r DAHMANI, D^r BELKAID, à D^r BENSISAID ainsi qu'à toute l'équipe du laboratoire central.

Enfin, merci à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce projet de fin d'études.

Dédicaces

A mes parents, pour leur affection, leur soutien constant, leur confiance, et sans qui je ne serais pas arrivée jusqu'ici. Recevez ici ma profonde gratitude.

A mes sœurs, Célia et Mélissa, pour leur joie de vivre, leurs conseils si précieux et leur soutien. Je vous remercie de tout cœur.

A mon beau frère Karim, pour ses conseils, sa gentillesse, sa bonne humeur et pour tous les endroits magnifiques qu'il nous a fait découvrir.

A ma tante Zina, pour son soutien, son implication et sa participation à la réalisation de ce projet de fin d'études.

A ma tante Fazia, pour ses conseils et son implication.

A ma tante Algia pour les moments de bonheur passés ensemble depuis ma plus tendre enfance.

A mon ami Kasdi Yaala pour son implication et sa participation à la réalisation de ce projet de fin d'études.

A mes amis, Benamar Mounir, Idir Raked, Lamrani Salah, pour leur fidèle amitié et les bons moments passés ensemble tout au long de mes études et en dehors.

Amélia.



Dédicaces

Je dédie ce modeste travail

*Aux êtres les plus chères : MES PARENTS. Que ce travail soit un témoignage de ma
profonde affection et tendresse. Que Dieu vous protège et vous garde.*

A ma sœur : Radia, merci pour ton affection et ta disponibilité.

A mes frères : Samir et Mourad. Vous êtes un exemple de réussite.

A mon meilleur ami : Yaala, pour ton amitié et ton soutien.

A tous mes amis, particulièrement : Wassila, Amar, Massine.

A tous mes amis de la promotion de médecine.

A tous mes amis et de la promotion de pharmacie, particulièrement : Yasmine Djennad,

Antinéa et Nabila (vive Blagues en compote).

Rabah

Caractérisation physico-chimique et classification des eaux minérales et des eaux de source embouteillées en Algérie.

LISTE DES ABREVIATIONS

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES FIGURES

INTRODUCTION	1
OBJECTIFS	2

REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I : DEFINITIONS ET GENERALITES

1. Définitions.....	3
1.1. Eau potable	3
1.2. Eau d'adduction publique.....	3
1.3. Eaux de sources.....	3
1.4. Eaux minérales naturelles.....	4
1.5. Etude comparative entre eau minérale, eau de source et eau potable	4
2. Origines des eaux souterraines	5
3. Captage des eaux souterraines.....	6
3.1. Les puits.....	6
3.2. Les forages.....	7
3.3. Les sources.....	8
3.4. Conditions de captage	8
4. Traitements autorisés	9
5. Classification des eaux minérales.....	9
5.1. Selon la minéralisation globale	9
5.2. Selon la composition physicochimique	10
5.3. Selon la réglementation en vigueur.....	12
6. Allégations de santé des eaux minérales naturelles.....	13
7. Critères de choix de l'eau de boisson	16
8. Réglementation des eaux minérales naturelles et eaux de source	22
9. La bouteille d'eau : nature de l'emballage, conditions de stockage et impact sur la santé ..	25

TABLE DES MATIERES

CHAPITRE II : PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES DES EAUX NATURELLES

1. Caractères organoleptiques	26
2. Paramètres physico-chimiques	26
3. Les éléments fondamentaux d'une eau naturelle	28
4. Les éléments liés à la potabilité.....	32
5. Les paramètres microbiologiques.....	37
6. Les substances indésirables et toxiques	37

PARTIE PRATIQUE

1. METHODOLOGIE

1.1. Echantillonnage des eaux minérales et des eaux de source embouteillées en Algérie	41
1.2. Verrerie, consommable et appareillage utilisés.....	43
1.3. Réactifs.....	45
1.4. Détermination des paramètres physiques.....	45
1.4.1. Détermination du pH.....	45
1.4.2. Détermination de la Conductivité et de la Température.....	46
1.4.3. Détermination de la Minéralisation globale	46
1.5. Détermination des paramètres chimiques	47
1.5.1. Détermination du Titre Alcalimétrique et du Titre Alcalimétrique Complet	47
1.5.2. Détermination de la Dureté Totale par complexométrie	48
1.5.3. Dosage du Calcium par complexométrie.....	49
1.5.4. Dosage du Magnésium	50
1.5.5. Dosage du Sodium et du Potassium par spectrophotométrie de flamme	50
1.5.6. Dosage des Chlorures par la méthode de Charpentier-Volhard.....	52
1.5.7. Détermination de la teneur en Phosphates.....	53
1.5.8. Détermination de la teneur en Nitrites	54
1.5.9. Détermination de la teneur en Nitrates.....	55
1.5.10. Détermination de la teneur en Sulfates.....	57
1.5.11. Détermination de la teneur en Fluorures	58
1.6. Méthodes de présentation et d'analyse des résultats.....	59

2. RESULTATS ET DISCUSSION

2.1. Présentation globale des résultats.....	62
2.2. Résultats et discussion des paramètres physiques	64

TABLE DES MATIERES

2.2.1. Analyse du pH.....	64
2.2.2. Etude de la conductivité électrique	65
2.2.3 Minéralisation globale	67
2.3. Résultats et discussion de l'analyse des éléments fondamentaux des eaux naturelles	69
2.3.1. Titre alcalimétrique (TA).....	69
2.3.2. Titre alcalimétrique complet (TAC).....	70
2.3.3. Dureté totale.....	71
2.3.4. Calcium.....	74
2.3.5. Magnésium.....	76
2.3.6. Sodium.....	77
2.3.7. Potassium	79
2.4. Résultats et discussion de l'analyse des éléments liés à la potabilité des eaux.....	81
2.4.1. Les Chlorures	81
2.4.2. Les Phosphates	83
2.4.3. Les Sulfates	83
2.4.4. Les Nitrites.....	84
2.4.5. Les Nitrates	84
2.5. Résultats et discussion de l'analyse des éléments indésirables de l'eau.....	86
2.6. Détermination du faciès chimique global et des faciès anionique et cationique des eaux minérales et des eaux de source analysées.....	87
2.7. Classification des eaux minérales et des eaux de source analysées	91
2.8. Détermination des marques d'eaux minérales et de source adaptées aux différentes populations cibles	95
2.9. Etat des lieux sur l'étiquetage	101
CONCLUSION	103
BIBLIOGRAPHIE	
ANNEXES	

LISTE DES ABREVIATIONS

Liste des abréviations

ACL : Acidité Carbonique Libre

ACT : Acidité Carbonique Totale

AFSSA : Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments

Art : Article

C : Concentration

cm : centimètre

cm² : centimètre carré

CMA : Concentration Maximale Admissible

CMT : Carbone Minéral Total

C_T : Conductivité à température ambiante

d : densité

DO : Densité Optique

DT : Dureté Totale

EDTA : Acide Ethylène Diamine Tétra-Acétique

EFSA : Agence Européenne de Sécurité des Aliments

F : Facteur de correction de la température

g : gramme

l : litre

m³ : Mètre Cube

mEq : milliéquivalent

MFT : Marteau Fond de Trou

mg : milligramme

LISTE DES ABREVIATIONS

MO : Matière Organique

N : Normalité

NET : Noir Eriochrome T

nm : nanomètre

NK : Azote Kjeldahl

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

PC : Polycarbonate

PE : Polyéthylène

PEHD : Polyéthylène Haute Densité

PET : Polyéthylène Téréphtalate

PH : Potentiel Hydrogène

ppm : partie par million

R² : Coefficient de Corrélation

TA : Titre Alcalin

TAC: Titre Alcalin Complet

TDS: Total Dissolved Solids

µl: microlitre

µS: micro-Siemens

U V: UltraViolet

V : Volume

°C : Degré Celsius

°f : Degrés français

°HF : Degré Hydrotimétrique Français

Liste des tableaux

Tableau I: Etude comparative entre eau minérale, eau de source et eau potable.....	5
Tableau II: Quelques indications sur la relation existant entre la minéralisation et la conductivité.....	28
Tableau III: Etude comparative entre la législation algérienne, européenne et internationale concernant des différentes CMA en substances indésirables et toxiques dans l'eau minérale.	38
Tableau IV: Etude comparative entre la législation algérienne et européenne concernant des différentes CMA en substances indésirables et toxiques dans l'eau de source	39
Tableau V: Les différentes marques d'eaux de source collectées ainsi que, la localisation géographique de leurs sources et les numéros que nous leurs avons attribués.	41
Tableau VI: Les différentes marques d'eaux minérales collectées ainsi que, la localisation géographique de leurs sources et les numéros que nous leurs avons attribués.	42
Tableau VII: Verrerie et consommable utilisés pour réaliser l'analyse physico-chimique des eaux collectées.....	44
Tableau VIII : Les appareils utilisés pour réaliser l'analyse physico-chimique des eaux collectées, ainsi que leur model et leur fonction.	44
Tableau IX : Calcul de la minéralisation à partir de la conductivité	47
Tableau X : Gamme d'étalonnage des phosphates.....	53
Tableau XI: Gamme d'étalonnage des Nitrites.	54
Tableau XII: Gamme d'étalonnage des Nitrates.	56
Tableau XIII : Protocole suivi pour l'établissement de la gamme d'étalonnage des sulfates. .	57
Tableau XIV : Protocole suivi pour l'établissement de la gamme d'étalonnage des Fluorures.	58
Tableau XV : Résultats de l'analyse des paramètres physico- chimiques et des éléments fondamentaux des eaux minérales et des eaux de source collectées.	62
Tableau XVI : Résultats de l'analyse des éléments liés à la potabilité et des éléments indésirables des eaux minérales et des eaux de source collectées.....	63

Liste des figures

Figure 1: Schéma récapitulatif des principales méthodes de captage des eaux souterraines utilisées en Bretagne.	6
Figure 2: RAPSODI Forage F3 MFT. Forage au marteau fond de trou.....	7
Figure 3: La répartition du CO ₂ total contenu dans une eau	29
Figure 4: Les différentes formes du phosphore	33
Figure 5: Les différentes formes d'azote dans l'eau	35
Figure 6: Carte d'Algérie présentant les différentes wilayas concernées par la collecte des eaux embouteillées analysées.....	43
Figure 7: Les différentes marques d'eau minérale et de source collectées.....	43
Figure 8: pH-mètre utilisé (Mettler Toledo).	46
Figure 9 : Virage de l'indicateur coloré lors du dosage de la dureté.....	49
Figure 10 : Virage de l'indicateur coloré lors du dosage de la dureté calcique par une solution d'EDTA.	50
Figure 11: Courbe d'étalonnage du potassium.....	51
Figure 12: Courbe d'étalonnage du sodium.....	51
Figure 13 : Changement de coloration de l'échantillon analysé lors du dosage des chlorures.....	52
Figure 14: Courbe d'étalonnage des phosphates : DO= f(C).....	54
Figure 15: Courbe d'étalonnage des Nitrites : DO= f(C).	55
Figure 16 : Courbe d'étalonnage des Nitrates : DO= f(C).....	56
Figure 17 : Courbe d'étalonnage des phosphates : DO= f(C).....	57
Figure 18 : Courbe d'étalonnage des fluorures : DO= f(C).....	59
Figure 19 : Présentation du logiciel Diagrammes	60
Figure 20 : Diagramme de Piper vierge.....	61
Figure 21: Résultats de l'analyse du pH des eaux de source.	64
Figure 22: Résultats de l'analyse du pH des eaux minérales.	65
Figure 23: Conductivité électrique des eaux de source étudiées.....	66
Figure 24 : Conductivité électrique des eaux minérales étudiées.	66
Figure 25 : Minéralisation des eaux de source étudiées.	67
Figure 26 : Minéralisation des eaux minérales étudiées (mg/l).	68
Figure 27 : Comparaison entre la minéralisation globales des eaux minérales et les eaux de source algériennes analysées.....	68
Figure 28 : Les Teneurs en Bicarbonates des eaux de source étudiées (mg/l).....	70

LISTE DES FIGURES

Figure 29 : Les Teneurs en Bicarbonates des eaux minérales étudiées (mg/l).	71
Figure 30 : Dureté des eaux de source étudiées (°HF).	72
Figure 31 : Dureté des eaux minérales étudiées (°HF).	73
Figure 32 : Les teneurs en Calcium des eaux de source étudiées.	74
Figure 33 : Les teneurs en Calcium des eaux minérales étudiées.	75
Figure 34 : Les teneurs en Magnésium des eaux de source étudiées.	76
Figure 35 : Les teneurs en Magnésium des eaux minérales étudiées.	77
Figure 36 : Les teneurs en Sodium des eaux de source étudiées.	78
Figure 37 : Les teneurs en Sodium des eaux minérales étudiées.	79
Figure 38 : Les teneurs en Potassium des eaux de source étudiées.	80
Figure 39 : Les teneurs en Potassium des eaux minérales étudiées.	81
Figure 40 : Les teneurs en chlorures des eaux de source étudiées.	82
Figure 41 : Les teneurs en chlorures des eaux minérales étudiées.	82
Figure 42 : Les teneurs en sulfates des eaux de source étudiées.	83
Figure 43 : Les teneurs en sulfates des eaux minérales étudiées.	84
Figure 44 : Les teneurs en nitrates des eaux de source étudiées.	85
Figure 45 : Les teneurs en nitrates des eaux minérales étudiées.	85
Figure 46 : Teneur en fluorures des eaux de source étudiées.	86
Figure 47 : Teneurs en fluorures des eaux minérales étudiées.	87
Figure 48 : Diagramme de Piper des eaux minérales et de source analysées.	88
Figure 49 : Diagramme de Piper des eaux de source analysées.	89
Figure 50 : Diagramme de Piper des eaux minérales analysées.	90
Figure 51: Classification selon la minéralisation globale des eaux de source analysées.	92
Figure 52 : La classification selon la composition minéralisation globales des eaux minérales analysées.	93
Figure 53: La classification selon la composition physicochimique des eaux minérales analysées.	95

INTRODUCTION

INTRODUCTION

La consommation des eaux embouteillées s'est considérablement accrue ces dernières années. Une partie des consommateurs se détournerait de l'eau du robinet en raison de son goût et de son odeur, mais aussi parfois parce qu'ils n'osent plus se fier à sa qualité.

Les polémiques opposant les qualités respectives des eaux embouteillées et de l'eau du robinet n'ont cessé de se multiplier ces dernières années. De plus en plus de villes créent leurs propres marques d'eau du robinet (telle « La Bisontine » à Besançon en France), et en distribuent des carafes au nom de leurs communes et vantent les qualités de leur eau potable.

La campagne publicitaire provocante menée par la marque d'eau en bouteille Cristaline en 2007 a alimenté ce débat en assimilant l'eau du robinet à l'eau usée, car elle provient parfois indirectement du recyclage des eaux usées et qu'on peut y trouver parfois des traces de pollutions.

L'eau en bouteille est aussi accusée de n'être ni écologique, ni économique. Fabriquée à partir du pétrole, matière première en voie d'épuisement, la bouteille d'eau n'est pas toujours recyclée et il lui faut des centaines d'années pour disparaître de la nature.

Mais, au-delà de ces aspects : économique et environnemental, c'est la qualité de l'eau de boisson embouteillée qui nous intéresse au premier plan. Que contient réellement l'eau que nous buvons et que nous achetons ? L'eau embouteillée est-elle indemne de pollution ? Et quels sont les règlements gouvernementaux sur l'eau embouteillée ?

Chaque année dans le monde 89 milliards de litres d'eau en bouteille sont consommés.

L'Algérie produit 1,5 milliards de litres d'eau minérale par an.

Plus de 50 marques d'eau minérale et d'eau de sources sont commercialisées sur le marché algérien. Que doit-on faire ou vérifier lorsqu'on achète de l'eau embouteillée ?

Les eaux minérales ont des teneurs en minéraux et en oligo-éléments susceptibles de leur conférer des vertus thérapeutiques. Mais leur richesse en minéraux peut-elle être nocive pour la santé chez certaines populations à risque comme les personnes souffrant d'hypertension artérielle ?

OBJECTIFS

Notre étude a pour but d'effectuer une analyse physico-chimique des eaux minérales et des eaux de sources embouteillées collectées, disponibles sur le marché. Elle comprend :

- une analyse des éléments fondamentaux, des éléments liés à la potabilité de l'eau, une analyse de certains paramètres non indiqués sur les étiquettes, et des éléments chimiques indésirables.
- une étude comparative des résultats obtenus pour chaque paramètre analysé avec les normes algériennes de potabilité, pour toutes les marques d'eau collectées.
- une étude du faciès chimique global ainsi que le faciès cationique et anionique de l'ensemble des eaux collectés.
- une classification des eaux minérales et de source selon leur minéralisation globale, et une classification selon leur composition physicochimique.
- une détermination des marques d'eaux minérales et de source adaptées aux différentes populations cibles.

**REVUE
BIBLIOGRAPHIQUE**

CHAPITRE I

DEFINITIONS

ET

GENERALITES

1. Définitions

1.1. Eau potable

Une eau potable est une eau devant satisfaire à un certain nombre de caractéristiques la rendant propre à la consommation humaine. Pour qu'une eau soit potable, elle doit répondre à des normes de qualité. Ces normes s'appuient sur des travaux médicaux établissant les "doses maximales admissibles"[1].

1.2. Eau d'adduction publique

Plusieurs terminologies existent pour désigner un même produit : eau du robinet, eau potable, eau du réseau public, eau distribuée, eau de boisson, eau d'alimentation...

La définition de ces eaux destinées à la consommation humaine est fournie par la Directive 98/83 du 3 novembre 1998, traduite en droit français dans le Code de la Santé Publique.

Il s'agit de : « _ toutes les eaux qui, soit en l'état, soit après traitement, sont destinées à la boisson, à la cuisson, à la préparation d'aliments ou à d'autres usages domestiques, qu'elles soient fournies par un réseau de distribution, à partir d'un camion-citerne ou d'un bateau-citerne, en bouteilles ou en conteneurs, y compris les eaux de source ...
_ toutes les eaux utilisées dans les entreprises alimentaires [...], qui peuvent affecter la salubrité de la denrée alimentaire finale, y compris la glace alimentaire d'origine hydrique »[2].

Ainsi, qu'elle soit distribuée au robinet ou en bouteille, l'eau destinée à la consommation humaine est un aliment, et doit à ce titre, posséder des qualités organoleptiques (goût, odeur) propre à satisfaire le consommateur, et ne pas porter atteinte à la santé [3].

1.3. Eaux de sources

Les eaux de sources proviennent de nappes d'eaux souterraines profondes, protégées de toute pollution d'origine humaine et microbiologiquement saine. Elles sont pures et naturellement aptes à la consommation humaine. Elles ne subissent aucun traitement de désinfection et sont mises en bouteilles directement sur la zone d'émergence, en respectant la réglementation en vigueur. Elles n'entrent jamais en contact avec l'air ambiant, et ne sont en aucun cas exposées à des risques susceptibles de dégrader leur qualité originelle [1,4].

La teneur en minéraux et en oligo-éléments des eaux de source n'est pas toujours stable et elle ne peut se voir reconnaître des propriétés favorables à la santé [5].

1.4. Eaux minérales naturelles

L'eau minérale naturelle est une eau microbiologiquement saine provenant d'une nappe ou d'un gisement souterrain, exploitée à partir d'une ou plusieurs émergences naturelles ou forées, à proximité desquelles elle est conditionnée. Elle se distingue nettement des autres eaux destinées à la consommation humaine par sa nature caractérisée par sa pureté, et par sa teneur spécifique en sels minéraux, oligo-éléments ou autres constituants.

Ces caractéristiques sont appréciées sur les plans :

- géologique et hydrogéologique,
- physique, chimique et physico-chimique,
- microbiologique,
- pharmacologique.

Ces eaux minérales naturelles peuvent posséder des propriétés thérapeutiques favorables à la santé humaine[6].

1.5. Etude comparative entre eau minérale, eau de source et eau potable

Les eaux minérales naturelles, les eaux de sources et les eaux d'adduction publique se caractérisent les unes des autres selon plusieurs paramètres comme par exemple leur origine. Le tableau I illustre les différences entre les eaux minérales, de sources et d'adduction [1,4,7].

Tableau I: Etude comparative entre eau minérale, eau de source et eau potable.

	Eau minérale naturelle	Eau de source	Eau du robinet
Origine	Souterraine	Souterraine	Multiples (de surface, de pluie, souterraine...)
Protection naturelle	Obligatoire	Obligatoire	Pas exigée
Traitements chimiques	Aucun traitement chimique	Aucun traitement chimique	Traitement (chimique) obligatoire pour rendre l'eau potable (adjonction de chlore)
Composition minérale	Obligatoirement constante	Pas nécessairement constante	Variable
Allégations santé	Peut revendiquer ces allégations selon sa composition	Non	Ne peut pas faire de revendications santé
Effet reconnu sur la santé	Effet favorable sur la santé	Non	Ne convient pas pour la préparation de l'alimentation des nourrissons

2. Origines des eaux souterraines

La plupart des eaux souterraines ont une origine météorique [8], c'est-à-dire proviennent des précipitations ; tant sous forme liquide (bruine, pluie, averse) que sous forme solide (neige, grésil, grêle) et les précipitations déposées ou occultes (rosée, gelée blanche, givre...) ; provoquées par un changement de température ou de pression et de leur infiltration dans le sous-sol [9].

La source d'alimentation en eau d'un bassin hydrologique est donc fournie par les précipitations efficaces, c'est à dire par le volume d'eau qui reste disponible à la surface du sol après soustraction des pertes par évapo-transpiration réelle. L'eau se répartit en 2 fractions [10]:

- le ruissellement qui alimente l'écoulement de surface collecté par le réseau hydrographique;

- l'infiltration qui alimente le stock d'eau souterrain.

Toutes les eaux souterraines n'ont pas la même composition chimique, car elle dépend de la nature des sols dans lesquels elle a voyagé. Ce qui explique pourquoi certaines eaux minérales sont faiblement minéralisées alors que d'autres sont très riches en sels minéraux. Il existe donc autant d'eaux souterraines qu'il y a de sources.

3. Captage des eaux souterraines

Les ouvrages permettant de capter les eaux souterraines sont généralement des forages, des puits ou des sources. La figure 1 suivante regroupe les différentes méthodes de captage des eaux souterraines [11] :

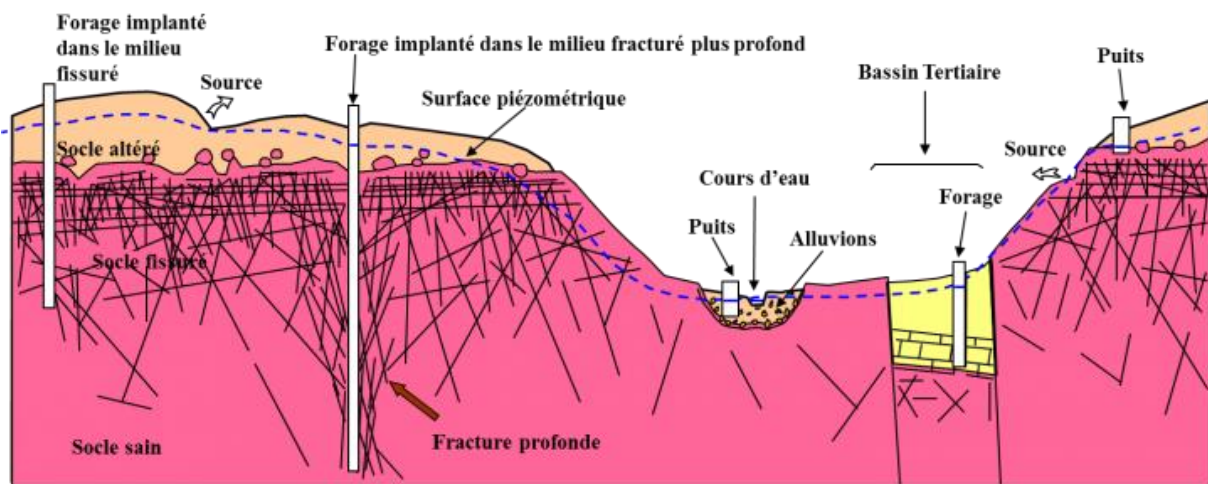


Figure 1: Schéma récapitulatif des principales méthodes de captage des eaux souterraines utilisées en Bretagne.

3.1. Les puits

Les puits sont des ouvrages verticaux peu profonds à parois maçonnées et réalisés en gros diamètre. Traditionnellement, ils traversent les niveaux d'altération des formations du socle sur quelques mètres de profondeur et :

- recoupent le toit de la nappe : les débits sont alors faibles (de l'ordre de quelques m^3/jour) et l'exploitation de l'eau repose sur l'effet capacitif de l'ouvrage ;
- ou coiffent des émergences de sources : les débits journaliers sont très variables de l'ordre de quelques m^3 à 250 m^3 .

Les puits sont très sensibles :

- aux variations saisonnières (maximum de débit en hiver et minimum en automne) et climatiques (baisse marquée des niveaux des nappes en période de sécheresse prolongée, pouvant aller jusqu'à l'assèchement temporaire de l'ouvrage) ;
- à la pollution de l'eau, principalement par les nitrates et pesticides [11].

3.2. Les forages

Depuis l'apparition, des techniques de forage rapide à l'air comprimé (marteau fond de trou - MFT), les forages réalisés dans le socle se multiplient. Le marteau de la foreuse est équipé d'un taillant qui tourne lors du forage et fonctionne avec de l'air comprimé haute pression qui permet de remonter les déblais des terrains traversés (cuttings) et les arrivées d'eau recoupées en profondeur. Cette méthode de forage est particulièrement bien adaptée aux terrains durs (roches de socle) [11].



Figure 2: RAPSODI Forage F3 MFT. Forage au marteau fond de trou

L'eau du forage est purifiée par un long parcours à travers le sol, les possibilités de pollution sont donc réduites, et surtout si l'extraction de l'eau se fait au moyen de pompe. Raison pour laquelle l'eau de forage est en général la meilleure pour la consommation humaine.

3.3. Les sources

Une source est le lieu d'apparition d'un écoulement naturel d'eau souterraine à la surface du sol. Elle est en général à l'origine d'un cours d'eau de surface [11].

3.4. Conditions de captage

3.4.1. Selon la législation algérienne

En matière d'installations d'exploitation de l'eau minérale naturelle ou de l'eau de source, les cahiers des charges particuliers doivent préciser :

- Les caractéristiques des installations de pompage ou de captage des eaux ;
- les caractéristiques de l'unité de conditionnement de l'eau ;
- l'implantation de l'unité de conditionnement qui doit être la plus proche possible du point de captage d'eau ;
- l'obligation de la conformité du projet à la réglementation en vigueur, notamment celle relative aux établissements classés ;
- l'obligation de réaliser les installations de façon à éviter toute possibilité de contamination et à conserver les propriétés de l'eau minérale naturelle ou de l'eau de source répondant à sa qualification ;
- les délais de réalisation de l'unité de conditionnement d'eau et les délais de mise en production.

Le concessionnaire est tenu de prendre toutes les mesures nécessaires pour éviter le gaspillage et la perte de l'eau. L'eau doit être amenée par canalisation étanche jusqu'à l'unité de production.

- Toute exploitation d'un gisement d'eau minérale naturelle ou d'eau de source située dans une aire comportant des éléments relevant du patrimoine culturel est interdite [6].

4. Traitements autorisés

Une eau minérale naturelle ou une eau de source ne peut faire l'objet d'aucun traitement ou adjonction autre que :

- La séparation des éléments instables tels que les composés du fer, du manganèse, du soufre ou de l'arsenic par décantation et/ou filtration, le cas échéant, accélérée par une aération préalable ;
- L'élimination totale ou partielle de gaz carbonique libre doit se faire par des procédés exclusivement physiques.

Ils ne doivent pas avoir pour but ou effet de modifier les caractéristiques microbiologiques de l'eau minérale naturelle ou de l'eau de source [12].

5. Classification des eaux minérales

5.1. Selon la minéralisation globale

La minéralisation des eaux minérales naturelles, constante dans le temps, représente la quantité totale de sels dissous exprimée en mg/l d'eau. Le résidu sec à 180C° est un bon témoin de la minéralisation d'une eau. On peut classer les eaux minérales de la manière suivante [9,13]:

5.1.1. Eaux très faiblement minéralisées

La minéralisation est inférieure à 50 mg/l. Parmi ces eaux : Montcalm, Mont Roucous (25mg/l) [9,13].

5.1.2. Eaux faiblement minéralisées ou oligo-minérales

La minéralisation est comprise entre 50 et 500 mg/l. Parmi ces eaux : Aizac, Chantemerle, Ventadour, Perrier (480mg/l), Luchon, Sail les Bains, Ogeu – source du Roy, Aix-les-Bains, Evian, Thonon , Valvert (201 mg/l), les eaux de sources Charmoise (225mg/l) et Nestlé pure life (208mg/l) [9,13–15].

5.1.3. Eaux moyennement minéralisées

La minéralisation est comprise entre 500 et 1 000 mg/l. Parmi ces eaux : Saint Amand (859mg/l), San Pellegrino (915mg/l), la Salvetat (600mg/l) [9,14,15].

5.1.4. Eaux minéralisées

La minéralisation est comprise entre 1 000 et 1 500 mg/l. Parmi ces eaux : Badoit/Badoit rouge (1100 mg/l), Quezac (1200 mg/l), Verniere(1400 mg/l), Vittel (1084 mg/l) [9,14,15].

5.1.5. Eaux fortement minéralisées

La minéralisation est supérieure à 1 500 mg/l. Parmi ces eaux: La Ferrugineuse Incomparable, La Reine des Basaltes, Vals-Vivaraise, Vals-Saint Pierre, Vals-Manon, Saint Michel de Mourcairol, Quézac, Hydroxydase, Rozana, Saint Diéry, Sainte-Marguerite, Saint Antonin, Hépar (2513 mg/l, Contrex (2078 mg/l), Cilaos [9,13–15].

5.2. Selon la composition physicochimique

5.2.1. Les eaux minérales calciques (Ca^{2+})

Une eau minérale est dite « calcique » si la teneur en calcium est supérieure à 150 mg/l.

Les eaux riches en calcium sont : Hépar (549 mg/l), Courmayeur (576 mg/l), Contrex (486 mg /l), Salvetat (253 mg/l), Quézac (170 mg/l), Saint Amand (230 mg/l), San Pellegrino (208 mg/l), Vittel (202 mg/l), Badoit (190 mg/l), Arvie (170 mg/l)...[9,13,15,16]

5.2.2. Les eaux minérales sodiques (Na^+)

Une eau est dite « riche en sodium » si elle contient plus de 200 mg de sodium par litre.

Parmi les eaux riches en sodium : Vichy Celestins (1172 mg/l), St Yorre (1708 mg/l), Arvie (650 mg /l)...[9,13,15,16].

5.2.3. Les eaux minérales magnésiennes (Mg^{2+})

Une eau est dite « magnésienne » si la teneur en magnésium est supérieure à 50 mg de magnésium par litre.

Parmi les eaux riches en magnésium : Rozana (160 mg/l), Hépar (119 mg/l), Quézac (69 mg/l), Badoit (85 mg/l), Contrex (84 mg/l), Courmayeur (52 mg/l), San Pellegrino (51 mg/l)...[9,13,15,16].

5.2.4. Les eaux minérales bicarbonatées (HCO_3^-)

Une eau minérale est dite «bicarbonatées» si la teneur en bicarbonate est supérieure à 600 mg/l.

Parmi les eaux riches en bicarbonates de sodium : St Yorre (4368 mg/l), Vichy Celestins (2989 mg/l) et Badoit (1300 mg/l), Quézac (1100 mg/l) [9,13,15,16].

5.2.5. Les eaux minérales fluorées (F^-)

Une eau minérale est dite «fluorée» si la teneur en fluor est supérieure à 1 mg/l.

Parmi les eaux riches en fluor, on retrouve Quézac (2,2 mg/l) [9,13,15,16].

5.2.6. Les eaux minérales sulfatées (SO_4^{2-})

Une eau minérale est dite «sulfatée» si la teneur en sulfates est supérieure à 200 mg/l.

Parmi les eaux riches en sulfates: Hépar® (1530 mg/l), San Pellegrino (430 mg/l) [9,13,15,16].

5.2.7. Les eaux minérales chlorurées (Cl^-)

Une eau minérale est dite « chlorurée » si la teneur en chlorures est supérieure à 200 mg/l.

Parmi les eaux riches en chlorures : Hydroxydase, Rozana (649 mg/l), Sainte-Marguerite (379 mg/l) [9,13,15,16].

5.2.8. Les eaux minérales ferrugineuses (Fe^{2+})

Une eau minérale est dite « ferrugineuse » si la teneur en en fer bivalent est supérieure à 1 mg/l.

L'eau minérale la plus riche en fer est la Montinverno (Italie), qui titre 815 mg de fer par litre [9,15,16].

5.2.9. Les eaux minérales acidulées (CO₂)

Une eau minérale est dite « acidulée » si la teneur en dioxyde de carbone libre est supérieure à 250 mg/l.

Parmi les eaux minérales acidulées : Orezza, Perrier, Ogeu, Celtic, Wattwiller, Vichy Celestins, Rozana, Perrier fines bulles [9,13,15,16].

5.2.10. Les eaux minérales pauvres en sodium (Na⁺)

Une eau minérale est dite « pauvre en sodium » si la teneur en sodium est inférieure à 20 mg/l.

Parmi les eaux pauvres en sodium : Evian (5 mg/l), Vittel (4.7 mg/l), Thonon(3 mg/l), Perrier (11.5mg/l), Wattwiller(3.7 mg/l), Valvert(1.9 mg/l), Volvic(11.6 mg/l), Contrex(9.4 mg/l), Hépar (14.2 mg/l) mais aussi Mont Roucous, Spa Barisart, Spa Reine [9,15,16].

5.3. Selon la réglementation en vigueur

Les eaux minérales naturelles et les eaux de source sont classées en :

5.3.1. Eau minérale naturelle non gazeuse

L'eau minérale naturelle non gazeuse est une eau minérale naturelle qui, à l'état naturel et après traitement éventuel autorisé et conditionnement, ne contient pas de gaz carbonique libre en proportion supérieure à la quantité nécessaire pour maintenir dissous les sels hydrogéné-carbonatés présents dans l'eau [6].

5.3.2. Eau minérale naturelle naturellement gazeuse

L'eau minérale naturelle naturellement gazeuse est une eau minérale naturelle dont la teneur en gaz est, après traitement éventuel et conditionnement, la même qu'à l'émergence compte tenu des tolérances techniques usuelles [6].

5.3.3. Eau minérale naturelle dégazéifiée

L'eau minérale naturelle dégazéifiée est une eau minérale naturelle dont la teneur en gaz carbonique, après traitement éventuel autorisé et conditionnement, n'est pas la même qu'à l'émergence [6].

5.3.4. Eau minérale naturelle renforcée au gaz carbonique de la source

L'eau minérale naturelle renforcée au gaz carbonique de la source est une eau minérale naturelle dont la teneur en gaz carbonique, après traitement éventuel autorisé et conditionnement, n'est pas la même qu'à l'émergence et qui fait l'objet d'adjonction en gaz carbonique émanant de la source [6].

5.3.5. Eau minérale naturelle gazéifiée

L'eau minérale naturelle gazéifiée est une eau minérale naturelle rendue gazeuse, après traitement éventuel autorisé et conditionnement, par addition de gaz carbonique d'autre provenance [6].

5.3.6. Eau de source

L'eau de source est une eau de source introduite au lieu de son émergence, telle qu'elle sort du sol, sous réserve des traitements éventuels autorisés, dans des récipients de livraison au consommateur ou dans des canalisations l'amenant directement dans ces récipients [6].

5.3.7. Eau de source gazéifiée

L'eau de source gazéifiée désigne une eau de source qui, sous réserve des traitements éventuels autorisés conformément aux dispositions légales, est rendue effervescente par addition de gaz carbonique [6].

6. Allégations de santé des eaux minérales naturelles

C'est au XVIIIème siècle, avec le développement de l'hydrologie médicale, une science qui se fonde sur ses qualités curatives, que l'eau minérale naturelle acquiert une très grande popularité. Ainsi, l'eau de Saint-Galmier commence à être connue pour ses vertus digestives. Marin Richard de Laprade, médecin honoraire du roi Louis XVI reconnaît officiellement les vertus « apéritives, digestives et exhilarantes » de l'eau de Saint Galmier. Ainsi débute l'épopée Badoit.

A l'époque, le Docteur Thouvenel, le médecin de Louis XVI, confirme les propriétés curatives de la Source de Contrexéville. En 1789, un certain Marquis de Lessert fait constater par un médecin que l'eau d'Evian a soulagé ses maux de rein.

Aussi, la Source de Quézac était réputée pour ses vertus miraculeuses et attirait une foule de pèlerins qui revenaient chaque année faire leurs dévotions.

Autrefois vendues en pharmacies, les eaux minérales étaient considérées comme des médicaments à part entière. Cela fait moins d'un siècle que ces eaux sont distribuées en masse dans les commerces. En France, l'Académie de médecine reconnaît que la teneur élevée en certains minéraux peut conférer à ces eaux un rôle thérapeutique. Voici la liste des principaux minéraux et oligoéléments, et leurs qualités [4]:

- Bicarbonates : interviennent de façon indirecte sur la santé, notamment quand ils sont associés au sodium. Les eaux minérales bicarbonatées ($\text{HCO}_3^- > 600 \text{ mg/l}$) peuvent alors être indiquées en cas de digestion difficile ; C'est le cas notamment des eaux Vichy Célestins et Badoit. Les bicarbonates neutralisent l'acidité gastrique, ce qui peut atténuer les brûlures d'estomac. Ils produisent aussi du gaz carbonique qui, combiné à celui souvent ajouté, accélère la vidange gastrique et tend à faire roter. Attention, toutefois, aux excès d'eau naturellement gazeuse ou gazéifiée, surtout lors de gros repas car ils favorisent le gonflement de l'estomac, les reflux gastriques, les gaz intestinaux et les ballonnements [17].
- Calcium : favorise la minéralisation des os. Les eaux riches en calcium ($\text{Ca}^{2+} > 150 \text{ mg/l}$) sont donc indiquées à tous et plus particulièrement aux personnes souhaitant compléter des apports médicamenteux ou alimentaires. L'eau minérale la plus riche en calcium est la Wetlyanskaya (Russie) : elle contient 1800 mg de calcium par litre [15].
- Fluor : prévient les caries et participe à la minéralisation des dents. Les besoins en fluor sont variables en fonction de l'âge, mais un apport de 0,5 mg/jour est suffisant [15];
- Magnésium : est essentiel au fonctionnement des cellules. Des eaux à fortes teneurs en magnésium ($> 50 \text{ mg/l}$) sont également indiquées en cas de stress et de fatigue [15];
- Sodium : agissant sur le rythme cardiaque et sur les muscles, les eaux riches en sodium ($> 150 \text{ mg/l}$) peuvent être recommandées aux sportifs exerçant des activités d'endurance [4,15];
- Sulfates : les eaux riches en sulfates ($> 200 \text{ mg/l}$) ont des effets diurétiques et laxatifs. Elles seront donc préconisées lors de certains dysfonctionnements rénaux ou bien lors d'épisodes de constipation [4,15].

- Chlorures : les eaux riches en chlorures (>200 mg/l) favorisent la croissance. Elles sont conseillées pour les enfants et les adolescents [4,15].

- Les eaux minérales naturelles contiennent divers oligo-éléments (silice, fluor, zinc, cuivre) qui participent au bon fonctionnement de l'organisme. De plus, l'eau entre dans la composition des tissus et des organes, elle permet le transport des nutriments, des minéraux, des vitamines, du sang vers les cellules qui en ont besoin, et contribue à l'élimination des déchets. L'eau intervient aussi dans les phénomènes de régulation thermique par le biais de son évaporation (la transpiration). Comme notre organisme ne sait pas stocker l'eau ni en obtenir suffisamment à partir des aliments, il est indispensable de bien s'hydrater. Ainsi, une perte hydrique, même de 1 %, peut entraîner l'apparition de troubles sérieux [15].

- Attention aux cas particuliers :

Se caractérisant par leurs fortes concentrations en minéraux, les eaux minérales peuvent être contre-indiquées dans certaines pathologies et peuvent aussi créer des troubles à long terme. Ainsi, il est indispensable de choisir une eau faiblement minéralisée (<500 mg/l) et pauvre en fluor pour la préparation des biberons des nourrissons [18]. Par ailleurs l'excès de minéraux peut entraîner des effets dangereux chez certains malades. Par exemple, des eaux riches en sodium seront contre-indiquées chez les patients ayant tendance à faire de la rétention d'eau (formation d'œdèmes), souffrant d'hypertension artérielle, d'insuffisance cardiaque ou rénale. On choisira alors une eau minérale dont l'étiquette affiche la mention «sans sodium» ou un contenu en sodium inférieur à 20 ppm [19].

La consommation excessive d'eaux riches en magnésium peut alors causer des troubles intestinaux.

Si la forte concentration en minéraux peut avoir des effets bénéfiques chez certains, cela peut être contre-indiqué chez d'autres. Il convient donc d'être attentif lorsqu'il s'agit des nourrissons et de personnes malades. Notons aussi qu'afin d'éviter tout excès pouvant provoquer des troubles, il est préférable de varier sa consommation d'eau minérale.

7. Critères de choix de l'eau de boisson

Chaque personne a des besoins spécifiques selon son âge, son mode de vie ou son activité physique. Chez l'adulte, 60 % de la masse corporelle est constituée d'eau et 50 % du poids d'une personne âgée. Les eaux minérales naturelles présentent une large palette de compositions minérales, selon le terroir dont elles sont issues, permettant à chacun de choisir son eau selon ses besoins [4].

7.1. L'eau pour les nourrissons et les enfants de moins de 3 ans

Les besoins en eau du nourrisson sont très élevés. L'eau représente ainsi 75 % du poids d'un nourrisson mais en raison de l'immaturation de certains de ses organes, notamment ses reins, il est conseillé de prendre des précautions : veiller à choisir une eau pauvre en nitrates (< 10 mg/l) et à faible teneur en minéraux (résidu sec < 500 mg/l), comme par exemple : Perrier (Nitrates : 7.8mg/l ; Résidu sec à 180°C :480 mg/l), Valécrin (eau de source des Alpes : Nitrates :2.7 mg/l ; Résidu sec à 180°C :370 mg/l) [20,21].

Ces eaux minérales naturelles peuvent être repérées grâce à leur étiquette qui précise la mention "convient à l'alimentation du nourrisson". Cette mention est encadrée strictement par la réglementation française.

Chez le nourrisson, en cas de constipation, on peut donner un biberon par jour d'eau minérale riche en magnésium qui est laxatif (Hépar : 110 mg/l de magnésium) [22].

Au Canada, pour reconstituer les préparations liquides et les préparations en poudre pour nourrissons il est conseillé d'utiliser une source d'eau potable ayant une plus faible concentration de fluorure lorsque les familles vivent dans des régions où la concentration de fluorure de l'eau est naturellement élevée (supérieure à la recommandation de 1,5 mg/l).

7.2. L'eau pour les enfants de plus de 3ans et les adolescents

Il est important de veiller à la bonne hydratation des enfants et de privilégier la part de l'eau dans la consommation des boissons.

La consommation d'une eau calcique (> 150 mg/l) permet de contribuer à la couverture des besoins journaliers en calcium, en complément des produits laitiers, notamment chez les adolescents [4]. Les eaux chlorurées ont un effet stimulant sur la croissance et sont indiquées en cas de troubles du développement.

7.3. L'eau pour les personnes stressées et fatiguées

L'adulte a besoin de 200 à 300 mg par jour de magnésium. Le magnésium aide à lutter contre une hyperémotivité, une anxiété, des palpitations et la constipation, fatigue générale, des douleurs musculaires et des crampes [23].

Certains états de fatigues passagers peuvent être révélateurs d'un léger déficit en magnésium. Dans ce cas, boire une eau minérale naturelle magnésienne (> 50 mg/l) peut contribuer à satisfaire les besoins quotidiens journaliers en magnésium. L'Agence Européenne de Sécurité des Aliments (EFSA) reconnaît que « le magnésium contribue à réduire la fatigue » [24].

7.4. L'eau pour les personnes âgées

La sensation de soif diminuant avec l'âge, une hydratation régulière et de qualité est fondamentale chez un senior en bonne santé. Il faut apprendre à boire sans soif pour prévenir le risque de déshydratation. Une bonne hydratation aide à maintenir mémoire, concentration et vigilance. Ainsi, l'Agence Européenne de Sécurité des Aliments (EFSA) a reconnu le rôle de l'eau comme contribuant au maintien d'une fonction cognitive normale.

Certaines eaux minérales « calciques » ou « magnésiennes » permettent de contribuer à la couverture des besoins journaliers recommandés en ces minéraux et ainsi d'aider à diminuer les risques de déminéralisation osseuse liée à l'âge, comme l'ostéoporose [24].

7.5. L'eau pour les femmes enceintes ou allaitantes

Les besoins en eau augmentent lors de la grossesse (augmentation du volume sanguin) et l'allaitement. Les femmes enceintes ou allaitantes doivent s'hydrater plus pour répondre à ces besoins. L'Agence Européenne de Sécurité Sanitaire des Aliments (EFSA) recommande, dans son avis sur « Les valeurs de référence alimentaires pour l'eau » (Dietary reference values for water), une consommation de 1,9 litre pour les femmes enceintes et de 2,1 litres pour les femmes allaitantes [25].

Les besoins en calcium et magnésium augmentant à cette période de la vie, les eaux « calciques » (> 150 mg/l) et « magnésiennes » (> 50 mg/l) peuvent être recommandées.

L'eau minérale naturelle offre une garantie de composition stable et de pureté aux femmes enceintes et aux jeunes mamans. Par ailleurs, les différents formats de bouteille d'eau permettent d'avoir un repère quantitatif clair de la consommation journalière [4].

7.6. L'eau pour les femmes ménopausées

A l'approche de la ménopause et pendant celle-ci, la densité minérale osseuse a tendance à diminuer. Un apport important en calcium, de l'ordre de 1200 mg/jour, réduit le risque d'ostéoporose lié à cette fragilisation des os.

Une eau riche en calcium (plus de 150mg/l) contribue à maintenir la densité osseuse : Contrex, Hépar, Vittel, Courmayeur. Parmi les eaux gazeuses : San Pellegrino, Badoit, Rozana, Quézac, Arvie, Salvetat [16].

7.7. L'eau pour l'hydratation des sportifs

Dans le cadre d'une activité sportive, même modérée, il faut s'assurer de boire avant, pendant et après l'effort. A cet égard, l'Agence Européenne de Sécurité des Aliments (EFSA) a reconnu le rôle de l'eau comme contribuant au maintien de la thermorégulation [25].

En cas d'exercice sportif intense et prolongé, la transpiration est accrue, entraînant une perte d'eau et éventuellement de sodium. C'est pourquoi, il convient de préférer une eau minérale naturelle riche en minéraux, bicarbonatée (> 1500 mg/l) et sodique (teneur en sodium > 200 mg/l).

L'eau minérale Oxygizer, issue des montagnes tyroliennes, en Autriche est enrichie en oxygène durant sa phase d'embouteillage (Approximativement 150 mg d'oxygène / litre ajouté). Selon le fabricant, elle facilite la circulation sanguine et ralentit le rythme cardiaque. Elle est donc recommandée pour tous les sportifs lors de la récupération après l'effort physique [26].

7.8. L'eau pour un régime

Chez les personnes souhaitant maintenir leur poids ou perdre du poids, une hydratation sans aucun apport calorique est essentielle : la consommation d'eau est donc à privilégier par rapport à d'autres boissons.

Les personnes suivant un régime amaigrissant peuvent parfois s'exposer à des apports insuffisants en magnésium et en calcium. Dans ce cas, il peut être recommandé de consommer des eaux minérales naturelles magnésiennes (>50 mg/l) et/ou calciques (> 150 mg/l) pour contribuer à la bonne couverture de leurs besoins quotidiens.

Exemple : eau minérale naturelle Contrex : 1,5 litre de Contrex® contient 702 mg de calcium et plus de 110 mg de magnésium [27].

7.9. L'eau pour les adultes

Les apports recommandés en eau doivent permettre de compenser les pertes hydriques. Chez l'adulte, ces pertes sont estimées à 2,5 litres. Les recommandations européennes préconisent chez l'adulte un apport de 1,75 l/jour d'eau provenant des boissons pour les hommes et 1,4 l/jour pour les femmes [28,29].

Ces apports hydriques doivent toutefois être augmentés dans certaines situations il est recommandé d'augmenter les apports hydriques chez les personnes souffrant de fièvre, de vomissements ou de diarrhées, les pertes en eau étant accrues dans ces situations [30,31].

Les personnes en bonne santé peuvent généralement consommer de l'eau minérale sans problème, à condition d'en prendre à l'occasion et de ne pas en abuser.

Consommée régulièrement et en grande quantité, l'eau minérale peut avoir des effets nocifs sur les reins et entraîner la formation de calculs [32].

Au quotidien, il faut privilégier une eau très faiblement minéralisée (Montcalm, Mont Roucou) ou faiblement minéralisée (Perrier, Evian) [33].

Il convient de réserver à des occasions particulières et ponctuelles (par exemple en cas de carences) les eaux ci-dessous [33]:

- Les eaux moyennement minéralisées (comme Le Salvetat)
- Les eaux minéralisées (comme Quezac)
- Les eaux fortement minéralisées (comme Hépar).

En effet, les eaux minéralisées peuvent constituer un bon complément alimentaire lors de carences en minéraux. Parmi ces eaux on distingue [23]:

- Les eaux riches en calcium sont conseillées à tous ceux qui ont des besoins élevés en calcium. Ces eaux contribuent à la formation des os et des dents et au bon déroulement de la coagulation sanguine (comme : Hépar, Courmayeur, Contrex).

- Les eaux riches en magnésium. Ces eaux peuvent aider à compléter les apports journaliers en magnésium (comme par exemple Rozana, Hépar, Quézac, Badoit).

- Les eaux riches en sodium favorisent la bonne transmission de l'influx nerveux (principalement entre le nerf et le muscle) et à la fixation de l'eau dans les tissus, ce qui est indispensable pour le corps (comme par exemple Vichy Célestins, St Yorre).
- Les eaux riches en bicarbonates : Les eaux bicarbonatées sont reconnues pour leurs bienfaits sur la digestion, elles ont également un bénéfice dans la réhydratation et la récupération musculaire (comme par exemple Vichy Célestins, St Yorre, Badoit, Quézac)
- Les eaux riches en fluor (comme Quézac). Le fluor est nécessaire aux dents et aux os.

7.10. L'eau pour les personnes atteintes de cancer

Les personnes malades du cancer, en rémission ou immunodéprimées doivent bénéficier d'une eau potable de qualité irréprochable au nom du principe de précaution.

Chez le patient cancéreux, l'eau peut être potentiellement contaminante par ingestion, aérosolisation ou contact. Le risque est lié au germe et au malade. Il est conseillé aux personnes malades du cancer ou qui sont passées par la maladie de ne boire quotidiennement de l'eau du robinet que si elles sont sûres de sa qualité, et sinon de s'équiper d'un filtre de qualité ou de boire de l'eau en bouteille [34].

Il est recommandé de consommer de l'eau en bouteille car elle offre la plus grande sécurité vis-à-vis du risque infectieux, (elles sont microbiologiquement saines grâce à leur origine souterraine) [35].

En ce qui concerne les risques chimiques, dans certaines régions, ils sont généralement liés à la présence de nitrates et d'aluminium, or, ce type de risque est absent dans l'eau embouteillée qui est très contrôlée. L'eau du réseau est également bien contrôlée mais des valeurs maximales (50 mg/l pour les Nitrates et 200 µg/l pour l'aluminium) peuvent parfois être dépassées en toute légalité dans certaines régions pour une période temporaire. Il faut donc privilégier :

- Les eaux embouteillées en petit conditionnement, ouverte depuis moins de 4 heures, et respecter des règles d'hygiène spécifiques : changer de verre 2 à 3 fois par jour, renouveler les bouteilles d'eau matin, midi et soir au minimum (utiliser de petits conditionnements)
- Le Centre Léon Bérard de lutte contre le cancer à Lyon utilise les eaux minérales Volvic ou Badoit uniquement [36].

- Parmi les eaux minérales pauvres en nitrates : Hépar (nitrates : 4.3mg/l), Contrex (nitrates : 2.9 mg/l) Quézac (nitrates <1mg/l), Vittel (nitrates : 4.4 mg/l), San Pellegrino (nitrates : 2.6 mg/l), Perrier (nitrates : 7.8mg/l), Valvert (nitrates : 18mg/l).

7.11. L'eau pour les personnes atteintes de calculs rénaux

Boire de l'eau en quantité suffisante permet, en diluant les urines, d'éviter le risque de formation de calculs urinaires et/ou d'infection urinaire. Il est conseillé de boire chaque jour, 2 litres d'eau. En revanche, pendant une crise de colique néphrétique, il faut se restreindre en eau afin d'éviter de mettre le rein sous tension et aggraver la douleur [37].

Le type d'eau indiqué dépend de la nature des calculs :

- En cas de calculs d'acide urique, il faut boire des eaux contenant du bicarbonate de sodium (comme par exemple Vichy Célestins, St Yorre, Badoit, Quézac) [38,39].

- En cas de lithiase calcique :

Longtemps les personnes excréant des cristaux de calcium ont réduit leurs apports en ce minéral, avec un effet contraire à celui escompté : une augmentation des cristaux d'oxalate et une déminéralisation osseuse due à l'insuffisance des apports calciques [40].

Les études épidémiologiques récentes ont montré que l'apport optimal en calcium chez les patients atteints de lithiase calcique est de 800 à 1000 mg par jour. Les produits non laitiers, apportent environ 200 mg/jour de calcium. Il reste donc à assurer un apport de 600 à 800 de calcium par jour sous forme d'eau de boisson et de produits laitiers. La répartition entre l'eau de boisson et les produits laitiers doit tenir compte des goûts et des habitudes du patient [41].

- Chez un patient préférant une eau très pauvre en calcium (Mont Roucous : 1.3 mg/l), un apport d'au moins 600 à 800 mg de calcium par jour doit être assuré sous forme de produits laitiers, au choix du patient.
- Chez un patient amateur de fromages, on conseillera la consommation d'une eau pauvre en calcium (comme : Volvic, Evian...)
- Chez un patient n'aimant pas les produits laitiers, on conseillera une eau plus riche en calcium de manière à assurer un apport calcique suffisant (comme : Hépar, Courmayeur, Contrex).
- La consommation d'une eau de teneur moyenne en calcium, de l'ordre de 100 mg/l, permet un apport de produits laitiers en quantité modérée (comme : Aurèle, Luciole) [41].

7.12. L'eau pour les personnes atteintes d'hypertension artérielle, d'insuffisance cardiaque ou rénale

Les eaux sodiques sont déconseillées aux personnes souffrant d'hypertension artérielle, d'insuffisance cardiaque ou rénale (comme par exemple Vichy Célestins, St Yorre).

Ce type d'eau est déconseillé chez les patients ayant tendance à faire de la rétention d'eau (formation d'œdèmes), souffrant d'hypertension artérielle, d'insuffisance cardiaque ou rénale.

Il est conseillé de choisir une eau pauvre en sodium (<20 mg/l) comme par exemple : Evian (5 mg/l), Vittel (4.7 mg/l), Thonon (3 mg/l), Wattwiller (3.7 mg/l), Valvert (1.9 mg/l) [13,16].

Les eaux riches en sulfates (>200 mg/L) ont des effets diurétiques. Elles seront donc préconisées lors de certains dysfonctionnements rénaux (Hépar, San Pellegrino).

8. Réglementation des eaux minérales naturelles et eaux de source

8.1. En Algérie

Tout comme l'eau du robinet, les eaux embouteillées font l'objet d'une surveillance par les producteurs et les distributeurs, et d'un contrôle par les autorités sanitaires.

Cependant, du fait de leurs caractéristiques, ces eaux font l'objet d'une réglementation spécifique (Décret exécutif n° 04-196 du 27 Joumada El Oula 1425 correspondant au 15 juillet 2004 relatif à l'exploitation et la protection des eaux minérales naturelles et des eaux de source).

Ce décret donne une définition des expressions « eau minérale » et « eau de source » (Art 2) et fixe leurs règles d'exploitation (Art 9). Un comité permanent est créé, présidé par le Ministre des ressources en eau et chargé de rendre des avis techniques sur la classification d'eau minérale ou d'eau de source (Art 3) et l'octroi de concessions pour leur exploitation.

8.2. En Europe

Les dénominations "eau de source" ou "eau minérale" sont strictement réglementées en Europe. Quatre catégories d'eau peuvent ainsi être définies :

- Les eaux minérales naturelles
- Les eaux de source
- Les eaux rendues potables par traitement

- L'eau d'adduction publique (eau du robinet)
- Les eaux minérales naturelles :

Selon la législation française, une eau minérale naturelle se différencie des autres par une composition constante et pouvant présenter des propriétés favorables à la santé constatées par l'Académie Nationale de Médecine.

Les textes législatifs soulignent la nécessité de bien connaître le site hydrogéologique de l'eau minérale et précisent la façon dont le contrôle des qualités physico-chimique et bactériologique des eaux doit être réalisé. Tout ceci constitue donc une véritable garantie de qualité.

C'est le principe qu'énonce le Code de la santé publique (article L.1321-1) : "Toute personne qui offre au public de l'eau en vue de l'alimentation humaine, à titre onéreux ou à titre gratuit et sous quelque forme que ce soit, y compris la glace alimentaire, est tenue de s'assurer que cette eau est propre à la consommation. L'utilisation d'eau impropre à la consommation pour la préparation et la conservation de toutes denrées et marchandises destinées à l'alimentation humaine est interdite."

Étant donné qu'en Europe, ces eaux ne peuvent être traitées, lorsqu'une source est polluée, elle ne peut plus être commercialisée. Certains pays en revanche, comme les États-Unis, autorisent la commercialisation, sous l'appellation "eaux de source", d'eaux traitées chimiquement. Ces traitements visent soit à ôter des substances indésirables, soit à ajouter des substances manquantes. Il s'agit de rendre ces eaux potables et de meilleure qualité.

Une eau minérale naturelle peut bénéficier d'une protection spéciale grâce à l'attribution d'un " périmètre de protection ", mais ce dernier ne peut être octroyé que si l'eau a été préalablement reconnue d' " intérêt public ".

Il est à préciser que le transport de l'eau minérale naturelle en tous récipients autres que ceux autorisés pour la distribution au consommateur final est interdit. Ces eaux doivent donc être embouteillées à la source [42].

- Les eaux de source :

" Une eau de source est une eau d'origine souterraine microbiologiquement saine et protégée contre les risques de pollution. Elle respecte dans son état naturel, les caractéristiques de

qualité microbiologique définies (décret 89-369) ainsi que les caractéristiques de qualité chimique applicables aux eaux destinées à la consommation humaine ".

L'eau de source se distingue de l'eau minérale naturelle par le fait qu'elle n'a pas d'obligation d'avoir une composition minérale constante et caractéristique et qu'elle ne peut prétendre avoir des effets bénéfiques pour la santé. La mise en bouteille est effectuée avec autorisation préfectorale après avis du Conseil Départemental d'Hygiène.

Les traitements qu'il est permis de leur appliquer, afin d'éliminer les éléments instables que sont les gaz, le fer et le manganèse, sont l'aération, la décantation et la filtration. Les eaux naturellement gazeuses, qui contiennent du gaz carbonique dissous, peuvent également être regazéifiées avant d'être embouteillées [42].

8.3. Au Canada

Au Canada, l'eau embouteillée est réglementée en tant qu'aliment et, par conséquent, elle doit satisfaire aux exigences de la Loi sur les aliments et drogues. L'article 4 de la Loi interdit la vente d'aliments qui contiennent des substances toxiques ou délétères et l'article 5(1) de la Loi interdit l'étiquetage, l'emballage, le traitement, la préparation, la vente d'un aliment ou de faire la publicité au sujet de cet aliment d'une manière qui est mensongère ou trompeuse pour les consommateurs quant à la nature, à la valeur, à la quantité, à la composition, au mérite, à la composition ou à la sûreté du produit [32].

L'eau de source ou l'eau minérale, est de l'eau embouteillée qui provient d'une source souterraine qui ne fait pas partie d'un réseau de distribution publique et qui est propre à la consommation humaine à son point d'origine. L'eau minérale contient généralement une proportion plus grande de sels minéraux (à plus de 500 ppm de TDS) que l'eau de source (à moins de 500 ppm de TDS). Aux États-Unis, l'eau de source doit avoir moins de 250 ppm de TDS [43].

L'eau de source ou l'eau minérale peut ne pas être soumise à un traitement qui modifierait la composition originale de l'eau. Elle peut être traitée par l'ajout de dioxyde de carbone pour l'effervescence, d'ozone pour la désinfection durant le processus d'embouteillage et de fluorure pour la prévention de la carie dentaire [32].

9. La bouteille d'eau : nature de l'emballage, conditions de stockage et impact sur la santé

La bouteille plastique, comme en verre, garantit la qualité de l'eau depuis le moment où elle est captée jusqu'au moment de sa consommation. La plupart des bouteilles plastique utilisées sont faites de polyéthylène (PE) ou de polyéthylène téréphtalate (PET), lesquels ne contiennent pas de bisphénol A, avec des bouchons en PEHD (Polyéthylène Haute Densité) [4].

Les grandes bouteilles (18l) et certaines bouteilles de sport sont faites de plastique polycarbonate (PC) qui peut contenir de petites quantités de bisphénol A sans présenter un risque pour la santé des consommateurs [44].

Le PET est un polymère parfaitement neutre homologué pour le contact alimentaire, 100 % recyclable, inaltérable, flexible et résistant. Il n'y a aucun risque à boire une bouteille d'eau exposée à des températures caniculaires. Cependant, il est possible que la lumière du soleil ou la chaleur modifient le goût et l'apparence de l'eau. Sous l'effet des variations de température certains minéraux de l'eau peuvent s'amalgamer, formant au fond de la bouteille un discret dépôt blanc qui ne présente aucun danger pour la santé.

Sur les étiquettes, il est indiqué qu'il faut conserver l'eau « à l'abri de la lumière, dans un endroit propre, sec, tempéré et sans odeur ». Cette recommandation a pour seul but de préserver au mieux ses qualités gustatives et aromatiques [4].

CHAPITRE II

PARAMETRES

PHYSICO-

CHIMIQUES

1. Caractères organoleptiques

1.1. Couleur

Une eau potable ne doit pas présenter de couleur. Cependant, la coloration d'une eau est dite vraie ou réelle lorsqu'elle est due aux seules substances dissoutes. Elle est dite apparente quand les substances en suspension y ajoutent leur propre coloration [45].

1.2. Odeur

Une eau destinée à l'alimentation doit être inodore. En effet, toute odeur est un signe de pollution ou de la présence de matières organiques en décomposition. Ces substances sont en général en quantité si minime qu'elles ne peuvent être mises en évidence par les méthodes d'analyse ordinaire [45].

Rappelons que la sensibilité du nez humain est si grande que cet appareil est encore souvent le seul "instrument" capable de détecter la présence de certains produits à l'état de traces [46].

1.3. Goût et saveur

L'eau doit être agréable à boire, elle ne doit pas être fade (eau distillée et les eaux faiblement minéralisées).

L'eau n'est pas un composé sensoriellement neutre comme le laisse supposer la terminologie chimique "sans odeur ni saveur". Toutes les eaux de boisson ont un goût propre. Subjective et donc très variable d'un sujet à l'autre, cette perception dépend de la composition minérale de l'eau, mais aussi de l'éventuelle présence accidentelle de contaminants. Des panels de "gouteurs" entraînés permettent de s'en assurer et de détecter toute pollution accidentelle [46].

2. Paramètres physico-chimiques

2.1. Température

Il est important de connaître la température de l'eau avec une bonne précision. En effet celle-ci joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout des gaz. De fait, la température joue un rôle sur la conductivité électrique et sur le pH de l'eau. On peut citer également que la vitesse de variation des réactions chimiques et biochimiques varient en fonction de la température de l'eau [47].

2.2. Turbidité

La turbidité est la mesure de l'aspect plus ou moins trouble de l'eau; c'est l'inverse de la limpidité. Techniquement, la turbidité correspond à la propriété optique de l'eau permettant à une lumière incidente d'être déviée (diffraction) ou absorbée par des particules plutôt que transmise en ligne droite. Elle est causée par diverses matières particulaires ou colloïdales composées de limon, d'argile, de composés organiques ou inorganiques, etc [48].

Les risques sanitaires ne sont pas directement liés à la présence des particules en suspension mais aux bactéries, kystes, parasites et surtout aux virus qui s'y fixent et sont ainsi protégés contre les désinfectants [47].

2.3. Potentiel Hydrogène (pH)

Le pH caractérise la concentration d'une eau en ions hydronium (H^+).il mesure l'acidité ou l'alcalinité d'une eau [49].

Étant donné le pouvoir tampon de l'eau, il est rare que le pH soit une contre-indication à la potabilité. C'est cependant l'un des paramètres parmi les plus importants de la qualité de l'eau. Le pH des eaux naturelles est lié à la nature géologique des terrains traversés [45].

En régions granitiques ou schisteuses, en zones de tourbières ou forestières, les eaux ont un pH acide (< 7). En régions calcaires, les eaux ont un pH basique (> 7) [49].

Selon les normes algériennes de 2006, le pH des eaux de source doit être compris entre 6.5 et 8.5 [12].

2.4. Conductivité électrique

La conductivité mesure la capacité de l'eau à conduire le courant entre deux électrodes. La plupart des matières dissoutes dans l'eau se trouvent sous forme d'ions chargés électriquement.

La conductivité est également fonction de la température de l'eau : elle est plus importante lorsque la température augmente. Les résultats de mesure doivent donc être présentés en termes de conductivité équivalente à 20 ou 25°C. La mesure de la conductivité permet donc d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau [50].

La norme algérienne qui fixe la limite supérieur de la conductivité des eaux de source à 2800 $\mu S/cm$ à 20°C [12].

2.5. Minéralisation globale

La minéralisation est en fonction de la géologie des terrains traversés. D'une façon générale, elle est plus élevée dans les eaux souterraines que dans les eaux superficielles.

Il existe une relation entre la teneur en sels dissous d'une eau et sa conductivité, comme le tableau II le montre ci-dessous [45].

Tableau II: Quelques indications sur la relation existant entre la minéralisation et la conductivité [45].

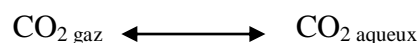
conductivité < 100 $\mu\text{S/cm}$: minéralisation très faible;
100 $\mu\text{S/cm}$ < conductivité < 200 $\mu\text{S/cm}$: minéralisation faible;
200 $\mu\text{S/cm}$ < conductivité < 333 $\mu\text{S/cm}$: minéralisation moyenne;
333 $\mu\text{S/cm}$ < conductivité < 666 $\mu\text{S/cm}$: minéralisation moyenne accentuée;
666 $\mu\text{S/cm}$ < conductivité < 1 000 $\mu\text{S/cm}$: minéralisation importante;
conductivité > 1 000 $\mu\text{S/cm}$: minéralisation élevée.

3. Les éléments fondamentaux d'une eau naturelle

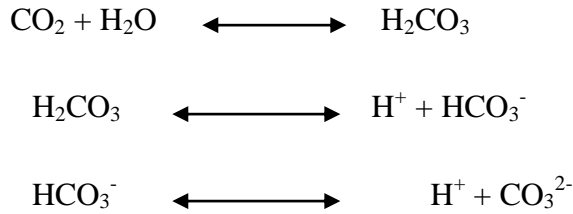
Ce sont des éléments constitutifs des eaux naturelles, ils entrent dans la composition naturelle de l'eau, leur teneur est en rapport direct avec le niveau de la qualité de l'eau et non pas à sa potabilité (à partir de ces taux, une eau peut être considérée de bonne ou de mauvaise qualité). Dans cette catégorie on retrouve les éléments suivants : O_2 , CO_2 et ses dérivés (H_2CO_3 , HCO_3^- , CO_3^{2-}), Ca^{2+} , Mg^{2+} [51].

3.1. Carbonatation d'une eau minérale

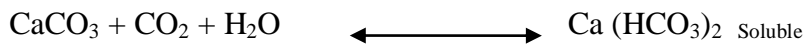
Lors du contact eau-gaz carbonique celui-ci se dissout :



La dissolution est régie par la loi de Henry si le temps de contact est suffisamment long. Le $\text{CO}_2_{\text{aqueux}}$ réagit avec l'eau et l'on peut représenter cette réaction par la formation de l'acide carbonique (H_2CO_3) qui lui-même réagit pour former l'ion carbonate (CO_3^{2-}) et l'ion hydrogénocarbonate (HCO_3^-) couramment nommé ion bicarbonate [52].



Le chimisme carbonique et calcique de l'eau est gouverné par la réaction suivante, qui sert de pivot à l'ensemble du système H₂O-CO₂-CaCO₃, responsable des propriétés agressives ou incrustantes de l'eau.



L'anhydride carbonique se trouve réparti de différentes façons :

- Anhydride carbonique combiné : C'est la faible proportion de carbonate CaCO₃ qui se trouve à l'état dissous.
- Anhydride carbonique semi combiné : C'est la proportion considérable de bicarbonate de calcium se trouvant à l'état dissous.
- Anhydride carbonique équilibrant : Quantité en équilibre d'anhydride carbonique nécessaire pour empêcher la dissociation des bicarbonates et leur précipitation en carbonates dibasiques CaCO₃, MgCO₃. C'est la fraction dissoute libre non dissociée.
- Anhydride carbonique agressif : Représente le CO₂ libre en excès qui ne participe pas aux réactions d'équilibre, il est à l'état moléculaire dissous [51].

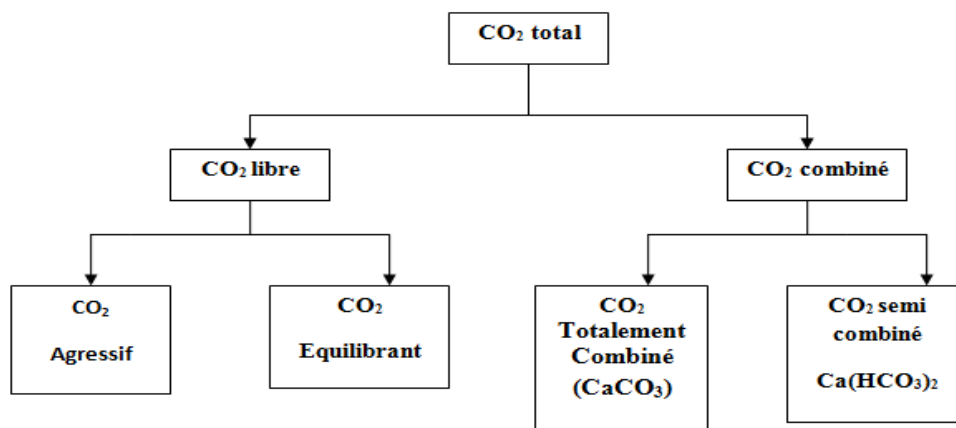


Figure 3: La répartition du CO₂ total contenu dans une eau [45].

3.2. Acidité de l'eau

L'acidité d'une eau résulte de la présence de dioxyde de carbone dissous (CO_2 libre) et/ou d'acides forts libres. La présence d'acides forts libres se caractérise par un pH de l'eau inférieur à 4,5 – 4,3.

Les eaux dont le pH est compris entre 4,5 et 8,3 contiennent le plus souvent du dioxyde de carbone à une concentration non négligeable et donc mesurable.

L'acidité de l'eau est mesurée par la quantité de base nécessaire pour élever le pH de cette eau jusqu'à une certaine valeur choisie par convention, généralement de 8,3.

- L'acidité carbonique libre (ACL) : due au CO_2 libre, elle n'a lieu d'être mesurée que si le pH de l'eau est $< 8,3$: eau naturelle.
- L'acidité carbonique totale (ACT) : attribuée au CO_2 libre, CO_2 combiné et CO_2 semi-combiné [45].

3.3. Alcalinité de l'eau

Les eaux naturelles ont le plus souvent un pH supérieur à 4,5. Elles sont donc alcalines par rapport à ce pH et, par convention : l'alcalinité totale d'une eau est mesurée par la quantité d'acide nécessaire pour abaisser son pH jusqu'à cette valeur.

Dans les eaux naturelles, l'alcalinité résulte le plus généralement à la présence d'hydrogencarbonates, carbonates et hydroxydes. On est amené à considérer deux types d'alcalinité qui correspondent à deux bornes de pH :

- Titre alcalin (TA) : Qui est une mesure des bases fortes (carbonates et alcalis), elle est titrée en présence de phénol phtaléine comme indicateur coloré. Cette alcalinité est nulle pour une eau dont le pH est compris entre 4,5 et 8,3.
- Titre alcalin complet (TAC) : Qui est une mesure des bases fortes et des bases faibles (bicarbonates), elle est titrée en présence d'hélianthine au pH de 4,5, ce qui revient à déterminer les ions HCO_3^- , CO_3^{2-} , OH^- [51].

Dans les eaux naturelles, l'alcalinité, exprimée en mg/l de HCO_3^- , varie de 10 à 350 mg/l [45].

3.4. La dureté

➤ La dureté totale ou titre hydrotimétrique (TH) d'une eau a un caractère naturel lié au lessivage des terrains traversés et correspond à la teneur en calcium et magnésium.

DT= dureté calcique + dureté magnésienne

➤ La dureté calcique : qui correspond à la teneur globale en sels de calcium.

Sels de Ca^{2+} = CaCO_3 + $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ + CaCl_2 + CaSO_4

➤ La dureté magnésienne : qui correspond à la teneur globale en sels de magnésium.

Sels de Mg^{2+} = MgCO_3 + $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ + MgCl_2

➤ Dureté temporaire (carbonatée) correspond à la teneur en hydrogénocarbonate et carbonate de calcium et de magnésium.

➤ Dureté permanente (non carbonatée) correspond à la dureté qui persiste après ébullition de l'eau. Elle représente la teneur en sulfates et chlorures de calcium et de magnésium [45].

Selon les normes algériennes de 2006, la dureté doit être comprise entre 10 °HF et 50 °HF [12], la dureté idéale est environ de 25 °HF.

3.5. Calcium

Le calcium est un métal alcalino-terreux extrêmement répandu dans la nature et en particulier dans les roches calcaires sous forme de carbonates. Composant majeur de la dureté de l'eau, le calcium est généralement l'élément dominant des eaux potables. Sa teneur varie essentiellement suivant la nature des terrains traversés. Il existe surtout à l'état d'hydrogénocarbonates et en quantité moindre, sous forme de sulfates, chlorures, etc. [45].

Selon les normes algériennes de 2006, la concentration en Calcium des eaux de source doit être comprise entre 75 à 200 mg/l [12].

3.6. Magnésium

Le magnésium est l'un des éléments les plus répandus dans la nature, il constitue environ 2,1 % de l'écorce terrestre. La plupart de ses sels sont très solubles dans l'eau, La teneur dépend de la composition des roches sédimentaires rencontrées. Il est présent sous forme de carbonates et d'hydrogénocarbonates [45].

La réglementation algérienne de 2006 fixe la concentration maximale en Magnésium des eaux de source à 150 mg/l [12].

3.7. Sodium

Le sodium est présent dans de nombreux minéraux constitutifs des roches volcaniques. Les feldspaths sodiques sont parmi les plus abondants (formule de base $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$) [53].

C'est un élément constant de l'eau, toutefois, les concentrations peuvent être extrêmement variables allant de quelques dizaines de milligrammes à 500 mg/l et même au-delà. Pour des considérations liées à des critères gustatifs, l'OMS recommande une valeur limite de 200 mg/l [45].

La réglementation algérienne de 2006 fixe la concentration en Sodium des eaux de source à 200 mg/l [12].

3.8. Potassium

Le potassium est un élément principalement présent dans les roches ignées (dont les roches volcaniques) et les argiles. Dans les roches silicatées, on le trouve essentiellement sous forme d'orthose (KAlSi_3O_8), de micas et de feldspathoïdes (la leucite KAlSi_2O_6) [53].

Il est généralement peu concentré dans les eaux naturelles. Dans les eaux souterraines, sa concentration ne dépasse généralement pas 10mg/l. Des teneurs élevées en potassium peuvent, cependant, être observées dans les eaux ayant traversé des formations évaporitiques [47].

La réglementation algérienne de 2006 fixe la concentration en Potassium des eaux de source à 20 mg/l (3).

4. Les éléments liés à la potabilité

Ce sont des indicateurs chimiques de pollution, c'est les premiers à voir leur concentration augmenter en cas de pollution. Les éléments liés à la potabilité sont : les chlorures, les phosphates, la matière organique, le cortège azoté et le cortège soufré.

4.1. Les chlorures

Constituants naturels de la croûte terrestre, les chlorures sont présents dans toutes les eaux à des concentrations différentes et sous forme de sels: chlorure de sodium (NaCl), chlorure de potassium (KCl) ou chlorure de calcium (CaCl₂) introduits par apports naturels ou d'origine humaine [54].

L'inconvénient majeur des chlorures est la saveur désagréable qu'ils communiquent à l'eau à partir de 250 mg/L, surtout lorsqu'il s'agit de chlorure de sodium [45].

La norme de potabilité algérienne qui fixe la teneur des eaux de source en Chlorures entre 200 et 500 mg/l [12].

4.2. Les phosphates

Les phosphates peuvent être d'origine naturelle (produit de décomposition de la matière vivante, lessivage de minéraux contenant du phosphore), mais à l'heure actuelle, leur présence dans les eaux est principalement associée à des apports anthropiques (engrais, déjections animales, stations d'épuration, polyphosphate des détergents, eaux traitées aux phosphates, industrie chimique,...) [55].

Le phosphore peut exister dans les eaux à l'état dissous ou en suspension. Le phosphore total dissous comprend le phosphore organique et le phosphore inorganique qui lui-même inclut les orthophosphates et les polyphosphates [45], comme la figure 04 le montre.

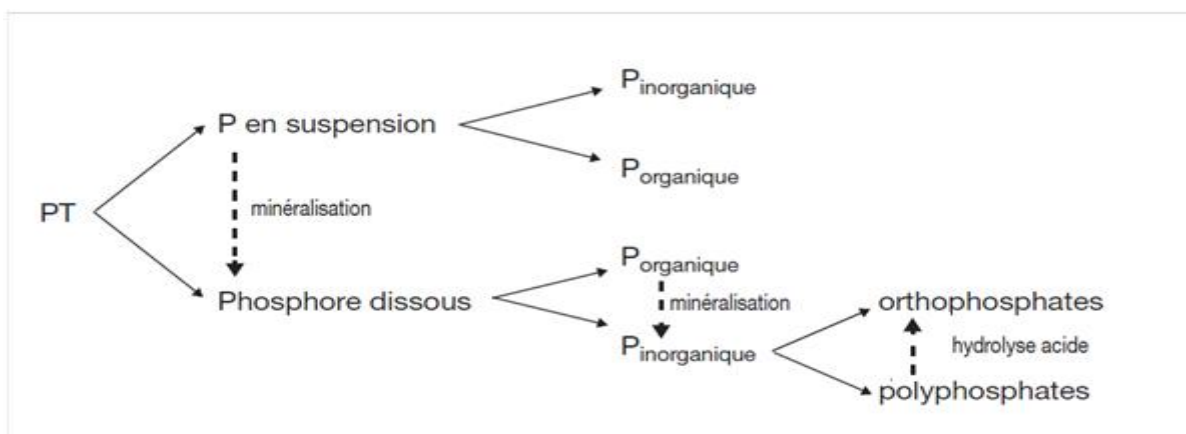


Figure 4: Les différentes formes du phosphore [45].

4.3. Les matières organiques

La Matière Organique (MO) est une composante ubiquiste des milieux terrestres (sols, sédiments), aquatiques (eaux de surface et eaux souterraines) et anthropiques (stations d'épuration, décharges), mais dont l'origine et la composition restent propres à chaque environnement. Cependant, toute matière organique est basée sur une architecture de carbone, d'hydrogène, d'oxygène, d'azote, de soufre et de phosphore issus essentiellement de résidus végétaux et animaux et de l'activité métabolique des microorganismes [56].

Elle est définie par l'indice permanganate qui est la concentration en masse d'oxygène en relation avec la quantité d'ions permanganate consommée par un échantillon d'eau, dans des conditions définies. Exprimé en mg/l d'oxygène, il correspond à une mesure conventionnelle pour évaluer la contamination d'un échantillon d'eau faiblement chargé en MO [45].

La législation algérienne fixe la teneur maximale à 3 mg/l en oxygène pour les eaux de source [12].

4.4. Le cortège azoté

L'azote est présent dans l'air (principale source), le sol et l'eau. L'azote présent dans l'eau peut avoir un caractère organique ou minéral :

- L'azote organique est principalement constitué par des composés tels que des protéines, des polypeptides, des acides aminés, de l'urée. Le plus souvent ces produits ne se retrouvent qu'à de très faibles concentrations. Les méthodes développées à ce jour ne permettent pas de déterminer directement et spécifiquement l'azote organique présent dans les eaux.
- Quant à l'azote minéral (ammoniaque, nitrates, nitrites), il constitue dans les eaux naturelles la majeure partie de l'azote total [45].

$$N_{\text{total}} = N_{\text{organique}} + N_{\text{minéral}} = N_{\text{organique}} + N\text{-NH}_4^{++} + N\text{-NO}_2^{-} + N\text{-NO}_3^{-}$$

La figure 05 montre les différentes formes d'azote existant dans l'eau.

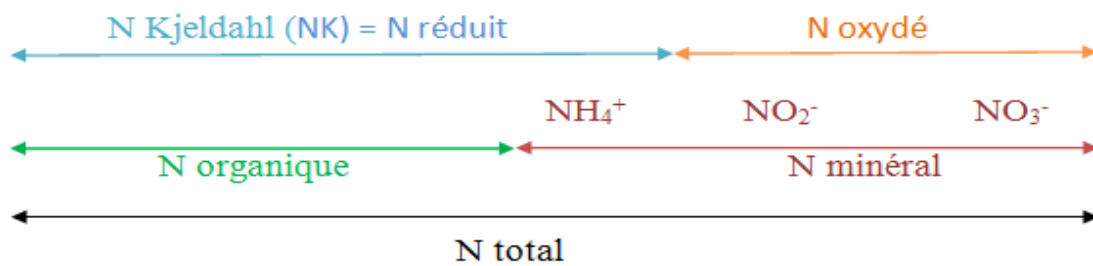


Figure 5: Les différentes formes d'azote dans l'eau

- Ammonium

L'azote ammoniacal est relativement fréquent dans les eaux et traduit habituellement un processus de dégradation incomplète de la matière organique (décomposition des déchets végétaux et animaux). Il peut aussi être apporté par certains engrais utilisés en agriculture.

Il se transforme assez rapidement en nitrates et nitrites par oxydation. Une forte présence d'azote ammoniacal est l'indice d'une pollution par des rejets d'origine humaine ou industrielle (industries chimiques, engrais azotés, industries textiles...) [57].

La norme de potabilité algérienne qui fixe la teneur maximale des eaux de source en ammonium à 0,5 mg/l [12].

- Azote Kjeldahl (NK)

Considéré comme indicateur majeur de pollution organique, l'azote Kjeldahl ne représente pas la totalité de l'azote mais seulement l'ensemble de ses formes réduites organiques et ammoniacales [45].

La norme de potabilité algérienne qui fixe la teneur maximale des eaux de source en Azote Kjeldahl à 1 mg/l [12].

- Nitrites

Les nitrites (NO₂⁻) sont naturellement en faible quantité dans les eaux. Cela est lié à leur forme instable et au fait que l'ion nitrite est une forme intermédiaire entre l'ion ammonium et l'ion nitrate. La présence de nitrites peut être d'origine industrielle (traitements de surface, chimie, colorants,...) [57].

Les nitrites sont dangereux pour la santé car ils peuvent provoquer une réduction de l'hémoglobine du sang (qui est alors incapable de transporter l'oxygène) notamment chez les

jeunes enfants. Ce symptôme se nomme la méthémoglobinémie ou cyanose du nourrisson [54].

La norme de potabilité algérienne qui fixe la teneur maximale en Nitrites des eaux de source à 0,1 mg/l et des eaux minérales naturelles à 0,02 mg/l [12].

- Nitrates

Les nitrates se trouvent naturellement en concentration faible dans les eaux. Mais ils peuvent aussi avoir une origine artificielle due à leur utilisation en tant que fertilisants pour les cultures (engrais minéraux et organiques, déjections animales...). Ils ne sont pas dangereux pour la santé mais c'est leur transformation en nitrites dans l'appareil digestif qui est problématique, donnant des nitrosamines toxiques et réputées cancérigènes [58].

Les précautions d'usage fixées par l'O.M.S. sont les suivantes [54]:

- au delà de 50 mg/l : eau déconseillée aux nourrissons et aux femmes enceintes.
- au delà de 100 mg/l : eau déconseillée pour toutes les catégories de population.

La norme de potabilité algérienne qui fixe la teneur maximale en Nitrates des eaux de source et des eaux minérales naturelles à 50 mg/l [12].

4.5. Les Sulfates

Les sulfates (SO_4^{2-}) existent à l'état naturel dans de nombreux minéraux, dont la baryte (BaSO_4), l'epsomite ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) et le gypse ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) [59].

Dans les eaux naturelles, les sulfates proviennent principalement de la dissolution du gypse et de l'oxydation des sulfures en sulfates dans les déchets miniers [60]. L'ion sulfate est très soluble il peut se lier avec de nombreux cations (calcium, magnésium, sodium, plomb, baryum, strontium, aluminium...) et sa concentration est très variable dans les eaux naturelles, mais ne dépassent pas 1g/l [54].

La présence de sulfates dans l'eau potable peut aussi donner à celle-ci un goût perceptible et le seuil gustatif des divers sulfates semble être égal ou supérieur à 500 mg/l pour la population en général. L'objectif fixé à des fins esthétiques pour les sulfates est donc ≤ 500 mg/l [59].

La norme de potabilité algérienne qui fixe la teneur des eaux de source en Sulfates entre 200 et 400 mg/l [12].

5. Les paramètres microbiologiques

L'eau véhicule des micro-organismes, bactéries, virus et protistes en tout genre, qui y vivent et s'y développent, ainsi que nombre de parasites dont les hôtes ont besoin d'eau pour vivre ou se reproduire. L'eau est ainsi le vecteur de transmission privilégié de maladies que l'on dit hydriques pouvant être graves.

Selon la législation en vigueur, les examens concernant les critères microbiologiques doivent comporter [12] :

- L'absence de parasites et de micro-organismes pathogènes ;
- La détermination quantitative des micro-organismes revivifiables témoins de contamination fécale;
- L'absence d'*Escherichia coli* et d'autres coliformes dans 250 ml à 37°C et 44,5 °C ;
- L'absence de streptocoques fécaux dans 250 ml ;
- L'absence d'anaérobies sporulés sulfito-réducteurs dans 50 ml ;
- L'absence de *pseudomonas aeruginosa* dans 250 ml ;

➤ La détermination de la teneur totale en micro-organismes revivifiables par millilitre d'eau :

- A l'émergence : les valeurs ne doivent pas dépasser respectivement :
 - 20 par ml à 20°C à 22°C en 72 h sur agar- agar ou mélange agar-gélatine.
 - 5 par ml à 37°C en 24h sur agar-agar étant entendu que ces valeurs doivent être considérées comme des nombres guides et non comme des concentrations maximales.

- Après l'embouteillage :

La teneur totale en micro-organismes revivifiables ne peut dépasser 100 par ml à 20-22°C en 72 heures sur agar-agar ou agar- gélatine et 20 par ml à 37°C en 24 heures sur agar-agar. Cette teneur doit être mesurée dans les 12 heures suivant l'embouteillage, l'eau étant maintenue à 4°C +/-1°C pendant cette période de 12 heures.

6. Les substances indésirables et toxiques

Certaines substances introduites par l'homme dans l'eau pour la plupart des cas, peuvent présenter une nocivité en provoquant une intoxication des organismes affectés, ceci par perturbation des fonctions vitales pouvant entraîner la mort dans certains cas. Certains éléments sont particulièrement inquiétants, en raison de leur toxicité cumulative, de

phénomène de concentration ou de transformation dans le milieu aquatique ou de caractère rémanent [47].

- Eaux minérales naturelles

Le tableau suivant donne les Concentration Maximale Admissible des substances indésirables et toxiques, pour la qualification des eaux minérales naturelles selon les normes Algériennes fixées par l’arrêté interministériel du 22 janvier 2006, et sont comparées à celles fixées par la réglementation européenne (Directive, 2003) et internationales à travers les normes du Codex Alimentarius : Normes Codex Stan 108-1981 [61].

Tableau III: Etude comparative entre la législation algérienne, européenne et internationale concernant des différentes CMA en substances indésirables et toxiques dans l’eau minérale [61].

Caractéristiques	Symbole	Concentration maximale admissible selon les normes (en mg/l)		
		Algériennes (Arrêté interministériel du 22 janvier 2006)	Européennes (Directive 2003/40/CE de la commission du 16 mai 2003)	Codex (Codex Alimentarius : Normes Codex Stan 108-1981)
Substances toxiques et indésirables				
Antimoine	Sb	0,005	0,005	0,005
Arsenic	As	0,05	0,01	0,01
Baryum	Ba	1	1	0,7
Borates	BO ₃	5	PM	5
Cadmium	Cd	0,003	0,003	0,003
Chrome	Cr	0,05	0,05	0,05
Cuivre	Cu	1	1	1
Cyanure	Cn	0,07	0,07	0,07
Fluorure	F	5	5	1-2
Plomb	Pb	0,01	0,01	0,01
Manganèse	Mn	0,1	0,5	0,5
Mercurure	Hg	0,001	0,001	0,001
Nickel	Ni	0,02	0,02	0,02
Nitrates	NO ₃	50	50	50
Nitrites	NO ₂	0,02	0,1	0,02
Sélénium	Se	0,05	0,01	0,01

La comparaison montre qu’à l’exception de l’arsenic et du sélénium dont les seuils de concentration dans la réglementation algérienne sont cinq fois supérieurs à ceux des normes européennes et à ceux du Codex, les autres valeurs seuils, pour l’ensemble des réglementations, sont comparables entre elles.

• Eaux de sources

Pour ce qui est des eaux de sources, le tableau suivant définit les seuils arrêtés par la réglementation algérienne via l'arrêté interministériel du 22 janvier 2006 et les comparent aux normes de potabilité selon la réglementation européenne (Directive 1998) [61].

Tableau IV: Etude comparative entre la législation algérienne et européenne concernant des différentes CMA en substances indésirables et toxiques dans l'eau de source [61].

Caractéristiques	Symbole	Unités	Valeur maximale admissible selon les normes	
			Algériennes (Arrêté interministériel du 22 janvier 2006)	Européennes (Directive 98/83/CE du conseil du 3 novembre 1998)
Substances indésirables				
Nitrates	NO ₃	mg/l	50	50
Nitrites	NO ₂	mg/l	0,1	0,5
Ammonium	NH ₄	mg/l	0,5	0,5
Fer	Fe	mg/l	0,3	0,2
Manganèse	Mn	mg/l	0,5	0,05
Cuivre	Cu	mg/l	1,5	2
Zinc	Zn	mg/l	5	3
Argent	Ag	mg/l	0,05	0,01
Fluorures	F	mg/l	0,2-2	1,5
Azote	N	mg/l	1	1
Substances toxiques				
Arsenic	As	mg/l	0,05	0,01
Cadmium	Cd	mg/l	0,01	0,005
Cyanure	Cn	mg/l	0,05	0,05
Chrome	Cr	mg/l	0,05	0,05
Mercuré	Hg	mg/l	0,001	0,001
Plomb	Pb	mg/l	0,055	0,01
Sélénium	Se	mg/l	0,01	0,01
Benzo (1,2,3-cd) pyrène	-	µg/l	0,01	0,01

Les valeurs du seuil fixées pour chaque élément ou substance sont globalement comparables pour les deux législations, algérienne et européenne. Toutefois, pour certains éléments, notamment les substances toxiques, la réglementation européenne semble plus stricte. Ainsi, il y'a lieu de noter que la réglementation algérienne relative aux eaux de sources ne donne aucune indication pour certains éléments indésirables ou toxiques comme le bore, les bromates, le nickel et les pesticides [61].

PARTIE
EXPERIMENTALE

1. METHODOLOGIE

Notre étude a été réalisée au niveau du laboratoire d'hydrologie-bromatologie de la faculté de médecine, université de Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou durant l'année 2017.

Elle comporte :

- Une analyse physico-chimique des eaux minérales et des eaux de sources embouteillées collectées, disponible dans les commerces, avec 16 paramètres déterminés pour chaque marque, soit un total de 592 analyses,
- Une étude comparative des résultats obtenus pour chaque paramètre étudié entre les différentes marques d'eaux collectées et les normes algériennes.
- Une étude du faciès chimique global ainsi que le faciès cationique et anionique de l'ensemble des eaux collectés.
- Une classification des eaux minérales et de source.
- Une détermination des eaux adaptées aux populations cibles.

1. METHODOLOGIE

1.1. Echantillonnage des eaux minérales et des eaux de source embouteillées en Algérie

La collecte des eaux minérales et des eaux de source embouteillées a été effectuée dans plusieurs wilayas d'Algérie afin d'obtenir un échantillon varié et représentatif des différentes marques disponibles dans les commerces du pays. Les tableaux V et VI suivants, représentent les différentes marques d'eaux de source et d'eaux minérales échantillonnées ainsi que, la localisation géographique de leurs sources et les numéros que nous leurs avons attribués afin de faciliter leur identification.

Tableau V: Les différentes marques d'eaux de source collectées ainsi que, la localisation géographique de leurs sources et les numéros que nous leurs avons attribués.

Numéros attribués	Eaux de source	Localisation géographique de la source
1	Ovitale	Akbou. BEJAIA
2	Qniaa	Village Colonel Amirouche.Akbou. BEJAIA
3	Moza	Mouzaia. BLIDA
4	Bir el salem	Montagne Babors. Bourached, Kendira.BEJAIA
5	Mont Djurdjura	Grande source d'Arafou Chorfa. BOUIRA
6	Ayris	Bouzaroual,Akbou. BEJAIA
7	Arwa	SETIF
8	Ifrén	Montagnes Chellata. Bouzaroual,Akbou.BEJAIA
9	Sidi Rached	Agouni Bouragh. Ait Oumalou. TIZI-OUZOU
10	Star	Grande source de Ouzelaguen. BEJAIA
11	Moza pétillante	Mouzaia. BLIDA
28	Nestlé vie pure	Source Taberkachent, BLIDA
29	Ain Bouglez	El TAREF
30	Besbessa	Commune de Dahoura. GUELMA
34	Togi	Massif du Djurdjura, Source Togi. BOUIRA
35	Mileza	El Achir. BORDJ BOU ARIRIDJ.
		TOTAL= 16 marques

Tableau VI: Les différentes marques d'eaux minérales collectées ainsi que, la localisation géographique de leurs sources et les numéros que nous leurs avons attribués.

Numéros attribués	Eaux minérales	Localisation géographique de la source
12	Soummam	Taharacht. Akbou. BEJAIA
13	Texenna-Sidi Yacoub	JIJEL
14	Mouzaia	BLIDA
15	Ben Haroun (pétillante)	Djebahia. BOUIRA
16	Youkous	Unité de Hammamet. TEBESSA
17	Alma (Hamoud Boualem)	Ifri Ouzelaguene. BEJAIA
18	N'gaous	Source D'roh, djebel Taktiout. BISKRA
19	Mouzaia pétillante	BLIDA
20	TOUDJA	Village Larbaa, Toudja. BEJAIA
21	Ifri	Source Ouzelaguen, Soumam. BEJAIA
22	Guedila	Djamora, BISKRA
23	Saida	SAIDA
24	Lala Khadidja	Agouni Gueghane, Djurdjura. TIZI-OUZOU
25	Saida pétillante	SAIDA
26	Messerghine	Messerghine. ORAN
27	Manbaa el ghozlane	BISKRA
31	Thevest	TEBESSA
32	Milok	LAGHOUAT
33	El Goléa	El meniaa. GHARDAIA
36	Ifri pétillante	BEJAIA
		TOTAL = 20 marques

Sur un total de 36 marques d'eau minérale et d'eau de source, nous avons collecté 20 marques d'eau minérale provenant de 11 wilayas différentes, dont 4 marques d'eau minérale gazeuses. Nous avons collecté 16 marques d'eau de source provenant de 8 wilayas du pays dont une eau de source gazéifiée.

De plus, nous avons échantillonné de l'eau d'adduction publique au niveau du quartier Colonel Amirouche, nouvelle ville, Tizi-Ouzou.



Figure 6: Carte d'Algérie présentant les différentes wilayas concernées par la collecte des eaux embouteillées analysées.



Figure 7: Les différentes marques d'eau minérale et de source collectées.

1.2. Verrerie, consommable et appareillage utilisés

Le tableau VII suivant présente la verrerie et le consommable que nous avons utilisés. Le tableau VIII suivant présente la liste des appareils utilisés pour réaliser l'analyse physico-chimique des eaux collectées.

Tableau VII: Verrerie et consommable utilisés pour réaliser l'analyse physico-chimique des eaux collectées.

Verrerie	Consommable
Baguette en verre	Baguette magnétique
Becher en verre de différents Volumes	Barreaux magnétiques
Burettes	Compte Goutte
Capsule en porcelaine de 60 ml	Gants propres
Erlenmeyers de différents Volumes	Lunette de protection
Flacons en verre, hermétiques, opaques de différents volumes	Masque FFP2
Flacons en verre, hermétiques, transparents de différents volumes	Micropipette de 20-200µl
Pipettes jaugées en verre de 2ml, 5ml, 10 ml, 20 ml, 25 ml	Micropipette de 1000 µl
Tubes en verre de 10 ml	Pissettes d'eau distillée
Verre de montre	Poires
	Portoir métallique
	Spatules en inox
	Tubes en plastique de 10 ml

Tableau VIII : Les appareils utilisés pour réaliser l'analyse physico-chimique des eaux collectées, ainsi que leur model et leur fonction.

Appareillage	Model	Fonction
Agitateurs magnétiques/ Plaques chauffantes	Nahita 690-1	Agitation magnétique et chauffage
Agitateurs magnétiques/ Plaques chauffantes	Stuart YB 1720	Agitation magnétique et chauffage
Bain de sable	Harry Gestigkeit	Chauffage pour l'extraction des nitrates
Balance de précision	Kern PLT 2000-3DM	Pesée précise
Conductimètre	Inolab cond 720 wtw series	Mesure de la conductivité
Distillateur	GFL 2004	Fournir de l'eau distillée
PH-mètre	Mettler Toledo	Mesure du PH
Spectrophotomètre de flamme	Jenway Clinical PFP7	Dosage du sodium et du potassium
Spectrophotomètre UV-Visible	Biomate 3 Thermo scientific	Mesure des densités optiques à des longueurs d'ondes du spectre UV-Visible

1.3. Réactifs

Acétate de Sodium anhydre	Ethanol
Acétone	Glycérol
Acide acétique	Hydroxyde de Sodium
Acide ascorbique	Molybdate d'ammonium tétra-hydraté
Acide calcéone carboxylique	Nitrate d'Argent
Acide chlorhydrique pur (d=1.19)	Nitrate de Lanthane
Acide éthylène diamine tétracétique	Nitrate de sodium
Acide nitrique	Noir d'ériochrome T
Acide sulfanilique	Phénol cristallisé
Acide sulfurique pure	Potassium dihydrogène phosphate
Alizarine complexone	Rouge de Méthyle
Ammoniaque pur	Salicylate de sodium
Chloroforme	Sulfate de sodium
Chlorure d'ammonium	Sulfate ferrique d'ammonium
Chlorure de Baryum	Tartrate double de sodium et de potassium
Chlorure de Potassium	Thiocyanate de potassium
Chlorure de Sodium	Vert de Bromocrésol
Dioxyde d'azote solide	

1.4. Détermination des paramètres physiques

1.4.1. Détermination du pH

La détermination du pH par la méthode potentiométrique repose sur la mesure de la différence de potentiel existant entre une électrode de verre et une électrode de référence (calomel-KCl saturé) plongeant dans une même solution. Cette différence de potentiel est une fonction linéaire du pH de la solution [45]. La figure 8 suivante montre un pH-mètre.



Figure 8: pH-mètre utilisé (Mettler Toledo).

1.4.2. Détermination de la Conductivité et de la Température

La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1cm^2 de surface et séparées l'une de l'autre de 1cm. Elle est mesurée par un conductimètre. La conductivité d'un liquide dépend de la température. Cette dernière sera relevée très exactement au cours de la mesure [45].

La détermination de la température se fait en introduisant le thermomètre ou la sonde thermique du conductimètre aussi près que possible de la cellule. La température du liquide ne doit en aucun cas varier pendant la mesure [45].

En dehors de 25°C , il faut effectuer une correction de la conductivité électrique mesurée en utilisant la formule suivante [45] :

$$C_{25^\circ\text{C}} = C_T \cdot f$$

f : Facteur de correction de la température, donné par le tableau spécial (voir annexe VI).

C_T : conductivité obtenue à la température lue sur le thermomètre.

1.4.3. Détermination de la Minéralisation globale

Le tableau IX ci-dessous montre qu'il existe une relation entre la teneur en sels dissous d'une eau et sa conductivité [45].

Tableau IX : Calcul de la minéralisation à partir de la conductivité [45].

Conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Minéralisation (mg/L)
Conductivité inférieure à 50 $\mu\text{S}/\text{cm}$	$1,365\ 079 \times \text{conductivité} (*)$ ($\mu\text{S}/\text{cm}$) à 20 °C
Conductivité comprise entre 50 et 166 $\mu\text{S}/\text{cm}$	$0,947\ 658 \times \text{conductivité} (*)$ ($\mu\text{S}/\text{cm}$) à 20 °C
Conductivité comprise entre 166 et 333 $\mu\text{S}/\text{cm}$	$0,769\ 574 \times \text{conductivité} (*)$ ($\mu\text{S}/\text{cm}$) à 20 °C
Conductivité comprise entre 333 et 833 $\mu\text{S}/\text{cm}$	$0,715\ 920 \times \text{conductivité} (*)$ ($\mu\text{S}/\text{cm}$) à 20 °C
Conductivité comprise entre 833 et 10 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$	$0,758\ 544 \times \text{conductivité} (*)$ ($\mu\text{S}/\text{cm}$) à 20 °C
Conductivité supérieure à 10 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$	$0,850\ 432 \times \text{conductivité} (*)$ ($\mu\text{S}/\text{cm}$) à 20 °C

(*) $\times 1,116$ pour 25 °C.

1.5. Détermination des paramètres chimiques

1.5.1. Détermination du Titre Alcalimétrique (TA) et du Titre Alcalimétrique Complet (TAC)

Ces déterminations titrimétriques du TA et du TAC sont basées sur la neutralisation d'un certain volume d'eau par un acide minéral dilué, en présence d'un indicateur coloré.

■ Réactifs (voir annexe V).

■ Mode opératoire

1) Détermination du TA

Prélever 100 ml d'eau à analyser dans une fiole conique. Ajouter 1 à 2 gouttes de solution alcoolique de phénol phtaléine. Une coloration rose doit alors se développer. Dans le cas contraire, le TA est nul. (pH < 8,3). Verser ensuite doucement l'acide dans la fiole à l'aide d'une burette, en agitant constamment, et ceci jusqu'à décoloration complète de la solution (pH 8,3). Soit V le volume d'acide utilisé pour obtenir le virage [45].

2) Détermination du TAC

Utiliser l'échantillon traité précédemment ou le prélèvement primitif s'il n'y a pas eu de coloration. Ajouter 2 gouttes de solution de vert de bromocrésol et de rouge de méthyle, titrer de nouveau avec le même acide jusqu'à disparition de la coloration bleu verdâtre et apparition de la couleur rose (pH 4,5). Le dosage doit être effectué rapidement pour réduire les pertes de CO₂ qui pourraient entraîner une élévation du pH de virage. Soit V' le volume d'acide 0,02 N versé depuis le début du dosage [45].

■ Expression des résultats

1) TA :

Soit V le volume d'acide versé :

-V/5 exprime le titre alcalimétrique (TA) en milliéquivalents par litre.

-V exprime le titre alcalimétrique en degrés français (1° f correspond à 10 mg de carbonate de calcium ou à 0,2 mEq/l).

2) TAC :

Soit V' le volume total d'acide versé :

- V' /5 exprime le titre alcalimétrique complet (TAC) en milliéquivalents par litre.

- V' exprime le titre alcalimétrique complet en degrés français.

1.5.2. Détermination de la Dureté Totale par complexométrie

■ Principe

Les alcalinoterreux présents dans l'eau sont amenés à former un complexe du type chélate par le sel disodique de l'acide éthylène diamine tétracétique à pH 10. La disparition des dernières traces d'éléments libres à doser est décelée par le virage d'un indicateur spécifique, le noir ériochrome T. En milieu convenablement tamponné pour empêcher la précipitation du magnésium, la méthode permet de doser la somme des ions calcium et magnésium [45].

■ Réactifs (voir annexe V).

■ Mode opératoire

Introduire 50 ml d'eau à analyser dans une fiole conique de 250 ml, ajouter 2.5 ml de solution tampon et 02 gouttes de solution de noir ériochrome T. La solution se colore en rouge foncé ou violet, le pH doit être de 10. En maintenant une agitation, verser la solution d'EDTA rapidement au début puis goutte à goutte lorsque la solution commence à virer au bleu.

Vérifier que la coloration ne change plus par l'addition d'une goutte supplémentaire d'EDTA. La figure ci-dessous illustre le changement de coloration observé lors du dosage.



Figure 9 : Virage de l'indicateur coloré lors du dosage de la dureté.

■ Expression des résultats

La concentration totale en calcium et magnésium, exprimée en milliéquivalents par litre, est donnée par l'expression suivante :

$$T_{Ca+Mg} = 1\,000 \times c \times V_1/V_2$$

T_{Ca+Mg} = Concentration totale en calcium et magnésium

c = Concentration en milliéquivalents par litre de la solution d'EDTA.

V_1 = Volume en ml de la solution d'EDTA.

V_2 = Volume d'échantillon

1.5.3. Dosage du Calcium par complexométrie

■ Principe

Le principe est identique à celui de la méthode titrimétrique décrite pour la dureté totale. Toutefois, comme le dosage se fait à un pH élevé (12-13), le magnésium est précipité sous forme d'hydroxyde et n'intervient pas. L'indicateur choisi, est l'acide calcone carboxylique, qui ne se combine qu'avec le calcium pour former un complexe rouge [45].

■ Réactifs (voir annexe V).

■ Mode opératoire

Dans une fiole conique de 250 ml, introduire successivement :

Eau à analyser	50 ml
Solution d'hydroxyde de sodium	2 ml

Indicateur environ 0,2 g

Ajouter la quantité de solution d'EDTA nécessaire pour avoir un virage au bleu. Soit V le nombre de millilitres versés. La figure ci-dessous illustre le changement de coloration observé lors du dosage.



Figure 10 : Virage de l'indicateur coloré lors du dosage de la dureté calcique par une solution d'EDTA.

■ Expression des résultats

Soit V le volume d'EDTA versé.

Pour une prise d'essai de 50 ml, la teneur en calcium est égale à :

$$Ca \text{ (mg/l)} = V_{EDTA} \times 0,4008 \times 1\,000/50$$

La teneur en carbonate de calcium est égale à

$$CaCO_3 \text{ (mg/l)} = V_{EDTA} \times 1\,000/50$$

1.5.4. Dosage du Magnésium

La teneur en Magnésium, exprimée en mg/l, peut être estimée par la différence entre la dureté totale et la dureté calcique [45] :

$$C_{Mg} \text{ (mg/l)} = C_{Ca+Mg} - C_{Ca}$$

C_{Mg} : La teneur en Magnésium en mg/l

C_{Ca+Mg} : Teneur globale en calcium et en magnésium en mg/l

C_{Ca} : Teneur en Calcium en mg/l

1.5.5. Dosage du Sodium et du Potassium par spectrophotométrie de flamme

■ Principe

Pour un atome à l'état libre, le passage de l'état fondamental à l'état excité est conditionné à la fourniture d'un quantum d'énergie correspondant à la différence d'énergie entre le niveau

excité E_n et le niveau fondamental E_0 , plusieurs transitions électroniques étant possibles suivant la quantité d'énergie fournie. Ce transfert correspond à une absorption d'énergie, qui peut être réémise spontanément sous forme de photons lors du retour à l'état fondamental initial. L'utilisation de ce phénomène constitue la base de la spectrométrie d'émission, encore appelée photométrie de flamme [45].

■ Établissement de la gamme d'étalonnage :

Préparation des solutions mères de Na^+ à 500mg/l et K^+ à 500mg/l. (voir annexe V)

Préparation des solutions filles de Na^+ à 3 mg/l, 5 mg/l, 10mg/l, 15mg/l.

Préparation des solutions filles de K^+ à 0.5mg/l, 1mg/l, 3mg/l, 5 mg/l et 10mg/l.

Les figures 11 et 12 présentent les résultats que nous avons obtenus suite à la lecture des solutions étalons de potassium et de sodium ainsi que les courbes d'étalonnage correspondantes.

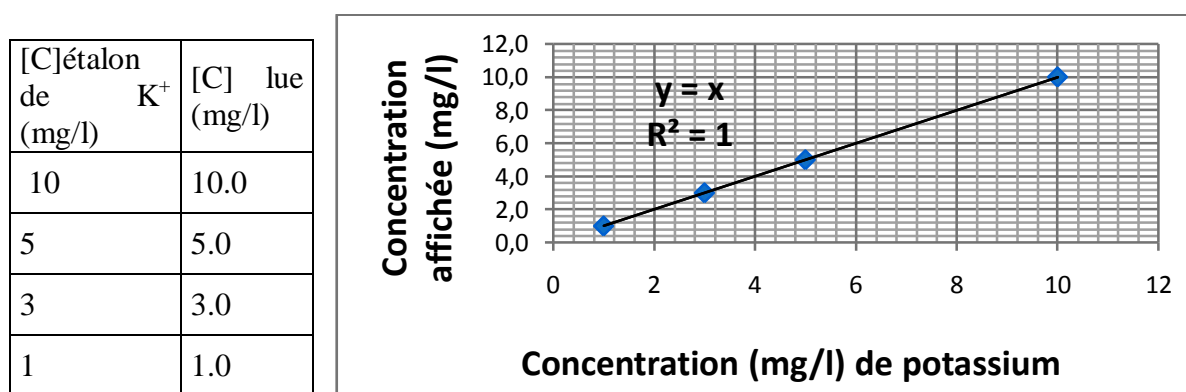


Figure 11: Courbe d'étalonnage du potassium.

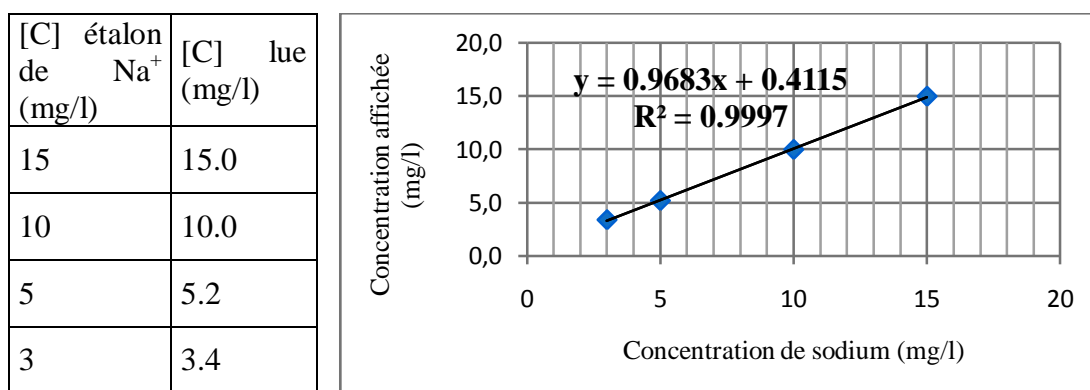


Figure 12: Courbe d'étalonnage du sodium.

■ Mode opératoire

Nébuliser l'échantillon dans une flamme air-propane en intercalant de l'eau distillée entre chaque solution.

Effectuer les lectures au spectromètre de flamme à la longueur d'onde de 589 nm pour le sodium et 766,5 nm pour le potassium. (Voir annexe V).

1.5.6. Dosage des Chlorures par la méthode de Charpentier-Volhard**■ Principe**

Les chlorures d'un volume connu d'eau sont précipités en présence d'acide nitrique par un excès de nitrate d'argent titré. L'excès de sel argentique est déterminé par une solution titrée de thiocyanate de potassium en présence d'alun de fer [45].

■ Réactifs (voir annexe V).**■ Mode opératoire**

Introduire 100 ml d'eau filtrée dans une fiole conique de 250 ml, puis 10 ml de nitrate d'argent 0,1 N. Soit V millilitres de nitrate d'argent utilisé. Ajouter alors 1 ml d'acide nitrique concentré et 5 ml d'alun ferrique. Titrer l'excès de nitrate d'argent par le thiocyanate 0,1 N jusqu'à coloration rougeâtre persistante, en agitant après chaque addition de réactif. Soit v le nombre de millilitres de thiocyanate versé. La figure ci-dessous illustre le changement de coloration du blanc laiteux vers l'orange persistant.



Figure 13 : Changement de coloration de l'échantillon analysé lors du dosage des chlorures.

■ Expression des résultats

Soit V le nombre de millilitres de nitrate d'argent utilisé

Soit v le nombre de millilitres de thiocyanate versé

Pour une prise d'essai de 100 ml :

$(V - v) \times 10 \times 3,55$ donne la teneur en chlorures, exprimée en milligrammes de Cl^- par litre d'eau.

$(V - v) \times 10 \times 5,85$ donne la teneur en chlorures, exprimée en milligrammes de NaCl par litre d'eau.

1.5.7. Détermination de la teneur en Phosphates

■ Principe

En milieu acide et en présence de molybdate d'ammonium, les orthophosphates donnent un complexe phosphomolybdique qui, réduit par l'acide ascorbique, développe une coloration bleue susceptible d'un dosage spectrométrique à la longueur d'onde de 700nm. Certaines formes organiques peuvent être hydrolysées au cours de l'établissement de la coloration et donnent des orthophosphates, le développement de la coloration est accélérée par chauffage au bain-marie pendant 30 minutes [51].

■ Réactifs (voir annexe V).

■ Établissement de la courbe d'étalonnage

Introduire dans une série de fioles jaugées de 25 ml :

Tableau X : Gamme d'étalonnage des phosphates

Numéro des fioles	T	I	II	III	IV	V
Solution étalon de phosphore à 1 mg/l (ml)	0	1	5	10	15	20
Eau distillée (ml)	20	19	15	10	5	0
Correspondance en mg/l de phosphore	0	0.001	0.005	0.010	0.015	0.020

Introduire dans chaque fiole 1 ml de solution d'acide ascorbique, agiter, puis ajouter 4 ml de réactif, mélanger soigneusement, compléter éventuellement le volume à 25 ml. Attendre 30 minutes la stabilisation de la coloration et effectuer les mesures au spectromètre à la longueur d'onde de 700nm en cuve de 1 cm. Construire la courbe d'étalonnage. La figure 14 suivante présente la courbe d'étalonnage des phosphates obtenue : $DO = f(C)$.

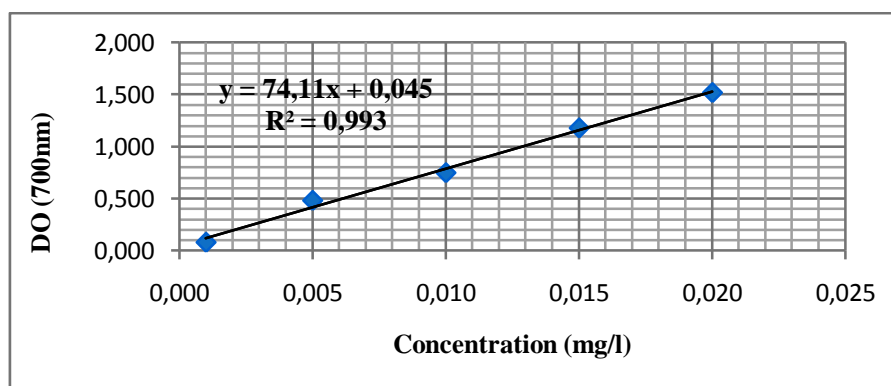


Figure 14: Courbe d'étalonnage des phosphates : $DO = f(C)$.

■ Mode opératoire

Vérifier le pH de l'échantillon qui doit être compris entre 2 et 7, l'ajuster si nécessaire. Introduire 20 ml d'eau à analyser dans une fiole jaugée de 25 ml, ajouter 1 ml de solution d'acide ascorbique puis poursuivre comme pour l'établissement de la courbe d'étalonnage. Tenir compte de la valeur lue pour le témoin. Se reporter à la courbe d'étalonnage.

1.5.8. Détermination de la teneur en Nitrites

■ Principe

Détermination de la teneur en nitrites par la méthode au réactif de Zambelli. L'acide sulfanilique en milieu chlorhydrique, en présence d'ions ammonium et de phénol, forme avec les ions NO_2^- un complexe coloré jaune dont l'intensité est proportionnelle à la concentration en nitrites [5].

■ Réactifs (voir annexe V).

■ Établissement de la courbe d'étalonnage

Dans une série de fiole jaugées à 50 ml et numérotées introduire successivement en agitant après chaque addition :

Tableau XI: Gamme d'étalonnage des Nitrites.

Numéro des fioles	T	I	II	III	IV	V
Solution fille étalon à 0.0023 g/l de NO_2^- ml	0	1	5	10	15	20
Eau distillée (ml)	50	49	45	40	35	30
Réactif de Zambelli (ml)	2	2	2	2	2	2
Attendre 10 minutes et ajouter						
Ammoniaque pure (ml)	2	2	2	2	2	2
Correspondance en mg/ l de NO_2^-	0	0.046	0.23	0.46	0.69	0.92

Effectuer les lectures au spectrophotomètre à la longueur d'onde de 435 nm. Construire la courbe d'étalonnage. La figure 15 suivante présente la courbe d'étalonnage des Nitrites obtenue : $DO = f(C)$.

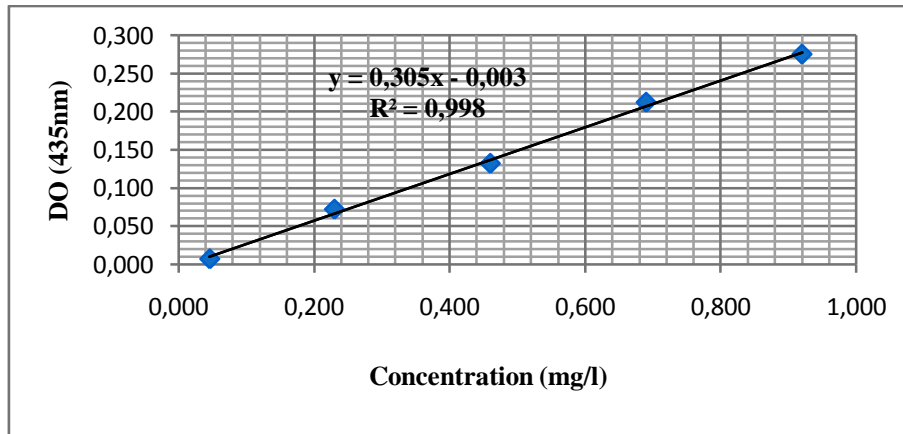


Figure 15: Courbe d'étalonnage des Nitrites : $DO = f(C)$.

■ Mode opératoire

Prélever 50 ml d'eau à analyser, ajouter 2 ml de réactif de Zambelli. Agiter et laisser au repos 10 minutes. Puis on alcalinise avec 2 ml d'ammoniaque pure ; effectuer la lecture au spectrophotomètre à la longueur d'onde de 435 nm et tenir compte de la valeur lue pour le témoin. Se reporter à la courbe d'étalonnage.

1.5.9. Détermination de la teneur en Nitrates

■ Principe

La méthode utilisée est la méthode au salicylate de sodium. En présence de salicylate de sodium, les nitrates donnent du paranitro-salicylate de sodium, coloré en jaune et susceptible d'un dosage colorimétrique [5].

■ Réactifs (voir annexe V)

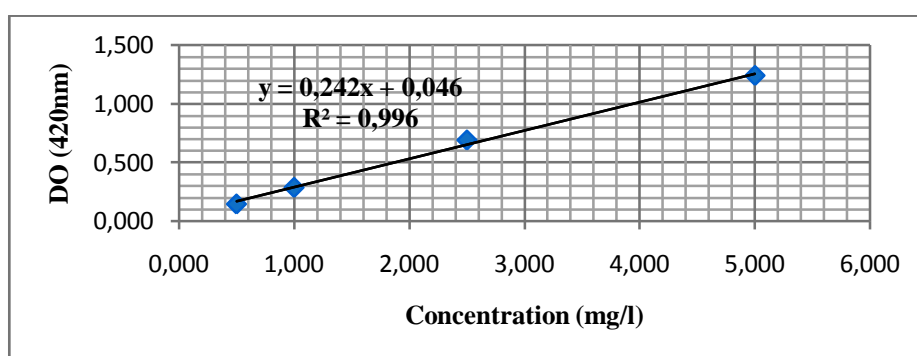
■ Établissement de la courbe d'étalonnage

Dans une série de capsules de 60 ml, introduire directement :

Tableau XII: Gamme d'étalonnage des Nitrates.

Numéro des capsules	T	I	II	III	IV
Solution étalon d'azote nitrique à 0.005 g/l (ml)	0	1	2	5	10
Eau distillée (ml)	10	9	8	5	0
Solution de salicylate de sodium (ml)	1	1	1	1	1
Correspondance en mg/l d'azote nitrique	0	0.5	1	2.5	5

- Evaporer au bain de sable porté à 75-85°C.
- Laisser refroidir. Reprendre le résidu par 2 ml d'acide sulfurique concentré en ayant soin de l'humecter complètement. Attendre 10 minutes, ajouter 15 ml de l'eau distillée puis 15 ml de la solution d'hydroxyde de sodium et de tartrate double de sodium et de potassium qui développe la couleur jaune.
- Effectuer les lectures au spectrophotomètre à la longueur d'onde de 420 nm. Construire la courbe d'étalonnage. La figure 16 suivante présente la Courbe d'étalonnage des Nitrates : $DO = f(C)$.

**Figure 16 :** Courbe d'étalonnage des Nitrates : $DO = f(C)$.

■ Mode opératoire

- Introduire 10 ml d'eau dans une capsule de 60 ml ;
- Ajouter 1 ml de solution de salicylate de sodium puis poursuivre le dosage comme pour la courbe d'étalonnage ;
- Préparer de la même façon un témoin avec 10 ml d'eau distillée ;
- Effectuer les lectures au spectrophotomètre à la longueur d'onde de 420nm et tenir compte de la valeur lue pour le témoin. Se reporter à la courbe d'étalonnage.

1.5.10. Détermination de la teneur en Sulfates

■ Principe

Les sulfates sont précipités en milieu chlorhydrique à l'état de sulfate de baryum. Le précipité ainsi obtenu est stabilisé par une solution stabilisante. Les suspensions homogènes sont mesurées au spectrophotomètre à 420nm [47].

■ Réactifs (voir annexe V).

■ Établissement de la courbe d'étalonnage

Dans une série de tubes numérotés, introduire successivement les différents volumes comme le montre le tableau XIII suivant :

Tableau XIII : Protocole suivi pour l'établissement de la gamme d'étalonnage des sulfates.

Numéro des fioles	T	I	II	III	IV	V
Solution étalon de phosphore à 1 mg/l (ml)	0	1	3	5	7	9
Eau distillée (ml)	50	49	47	45	43	41
Solution stabilisante (ml)	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
Solution de chlorure de baryum	1	1	1	1	1	1
Correspondance en mg/l de sulfates	0	20	60	100	140	180

Agiter pendant 1 minute, passer au spectrophotomètre à 420nm. Construire la courbe d'étalonnage. La figure 17 ci-dessous présente la courbe d'étalonnage des phosphates obtenue: $DO = f(C)$.

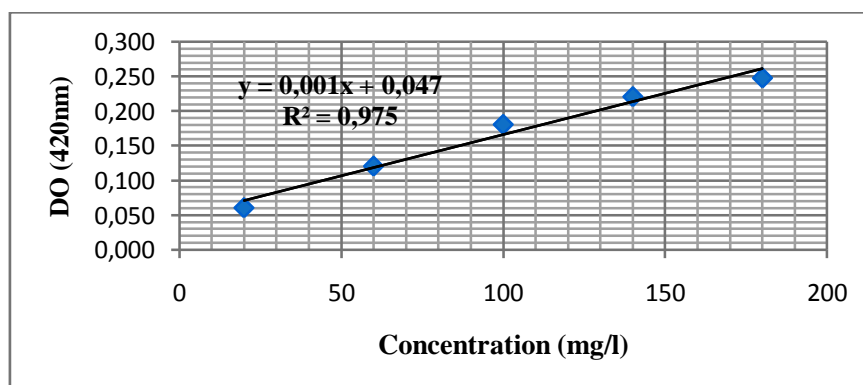


Figure 17 : Courbe d'étalonnage des phosphates : $DO = f(C)$.

■ Mode opératoire

Introduire 50 ml d'eau à analyser dans une fiole jaugée de 50 ml, ajouter 2,5ml de la solution stabilisante et ajouter 1ml de chlorure de baryum. Agiter pendant 1 minute, passer au

spectrophotomètre à 420nm. Tenir compte de la valeur lue pour le témoin. Se reporter à la courbe d'étalonnage.

1.5.11. Détermination de la teneur en Fluorures

■ Principe

La méthode utilisée est Méthode de Belcher-West. En présence d'Alizarine complexone, le nitrate de lanthane donne une coloration rouge en milieu aqueux. En présence des anions F^- , il se forme un complexe de coloration bleue plus stable que le chélate organométallique (décoloration). Le nouveau complexe ainsi formé est soluble dans l'acétone susceptible d'un dosage spectrométrique à la longueur d'onde de 618 nm [62].

■ Réactifs (voir annexe V).

■ Établissement de la courbe d'étalonnage

Dans une série de tubes en plastique à base conique de 15 ml, introduire successivement les différents volumes comme le montre le tableau XIV suivant :

Tableau XIV : Protocole suivi pour l'établissement de la gamme d'étalonnage des Fluorures.

Numéro des tubes	T	I	II	III	IV	V	VI
Solution mère à 10 mg/L (ml)	0	0.125	0.250	0.375	0.500	0.625	0.750
Eau distillée (ml)	5	4.875	4.750	4.625	4.500	4.375	4.250
Solution d'Alizarine Complexone (ml)	1	1	1	1	1	1	1
Solution de Nitrate de Lanthane (ml)	1	1	1	1	1	1	1
Acétone (ml)	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
Correspondance en mg/l de fluor	0	0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50

Agiter les tubes après chaque addition de réactif. Après 5 à 10 minutes, lire les DO à 618 nm et tracer la courbe d'étalonnage. La figure 18 suivante présente la Courbe d'étalonnage des fluorures obtenue : $DO = f(C)$.

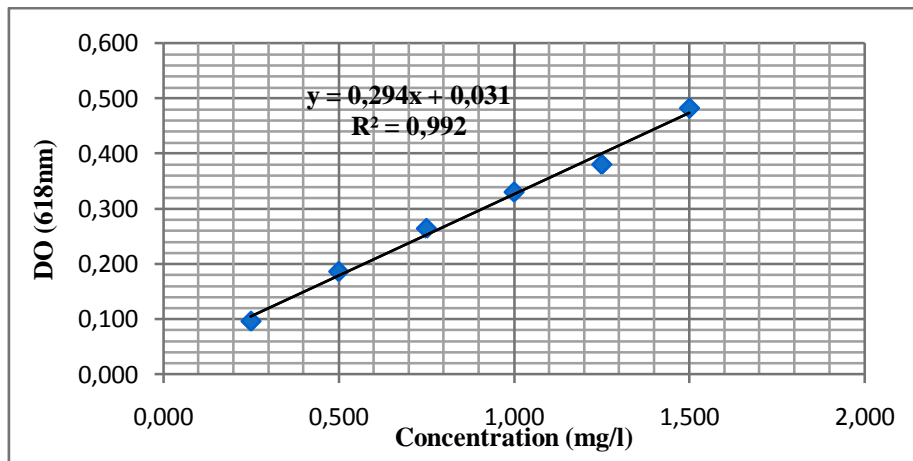


Figure 18 : Courbe d'étalonnage des fluorures : $DO = f(C)$.

■ Mode opératoire

Introduire 5 ml d'eau à analyser dans un tube en plastique à base conique de 15 ml, ajouter 1 ml de solution d'alizarine complexone, puis poursuivre comme pour l'établissement de la courbe d'étalonnage. Agiter les tubes après chaque addition de réactif.

1.6. Méthodes de présentation et d'analyse des résultats

1.6.1. Microsoft Excel

Ce logiciel permet d'organiser des données numériques et textuelles dans des feuilles de calcul ou des classeurs [63].

Il nous a permis de visualiser plus efficacement nos données en les intégrant à des graphiques et à des diagrammes. .

1.6.2. Logiciel Diagrammes

Le logiciel Diagrammes créé par Roland SIMLER du Laboratoire d'Hydrogéologie d'Avignon est un logiciel d'hydrochimie en distribution libre facilitant l'exploitation d'analyse d'eau. Ces fonctions sont variées et complètes.

A partir de données importées d'un tableur, il permet la création de diagrammes spécifiques à l'hydrogéologie et la validation des données analytiques [64,65]. La figure ci-dessous présente le logiciel Diagrammes.

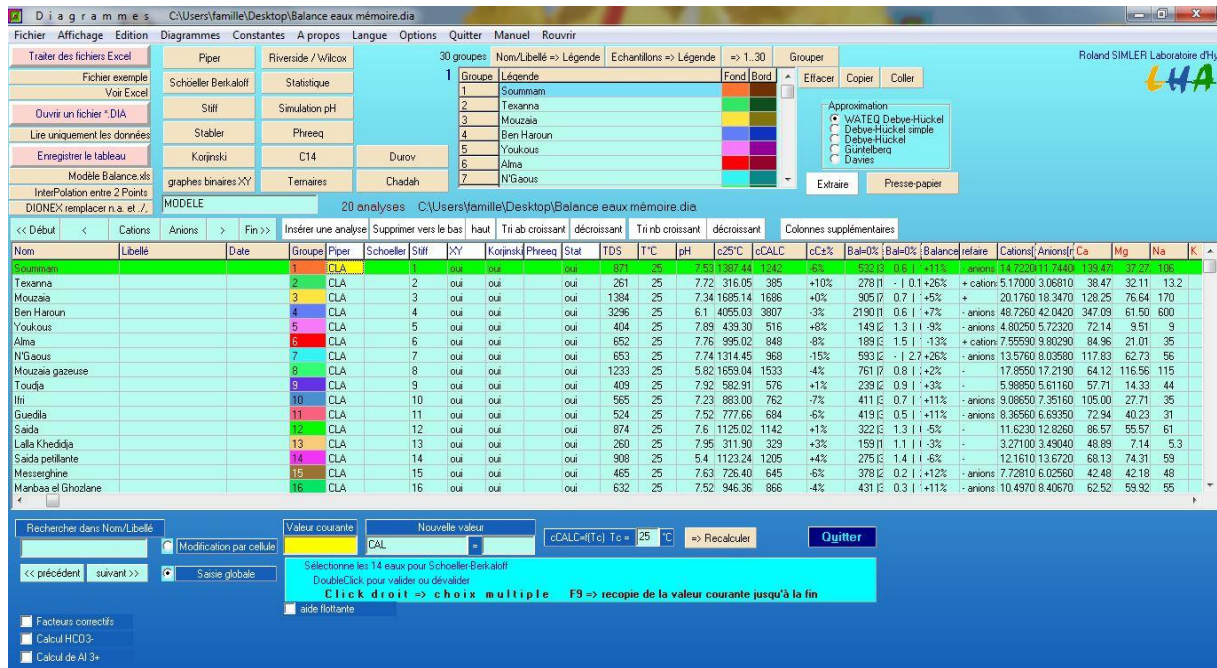


Figure 19 : Présentation du logiciel Diagrammes du Laboratoire d'Hydrogéologie d'Avignon.

1.6.3. Le diagramme de Piper

Le diagramme de Piper utilise des éléments majeurs pour représenter les différents faciès des eaux souterraines. Il s'agit d'une approche descriptive et comparée qui permet de représenter sur un même graphique un grand nombre de stations de suivi autorisant des regroupements par famille présentant des faciès similaires [66].

Le diagramme de Piper comme le montre la figure 20 ci-dessous, permet de représenter le faciès chimique d'un ensemble d'échantillons d'eau. Il est composé de deux triangles permettant de représenter le faciès cationique et le faciès anionique et d'un losange synthétisant le faciès global[64].

Diagramme de Piper

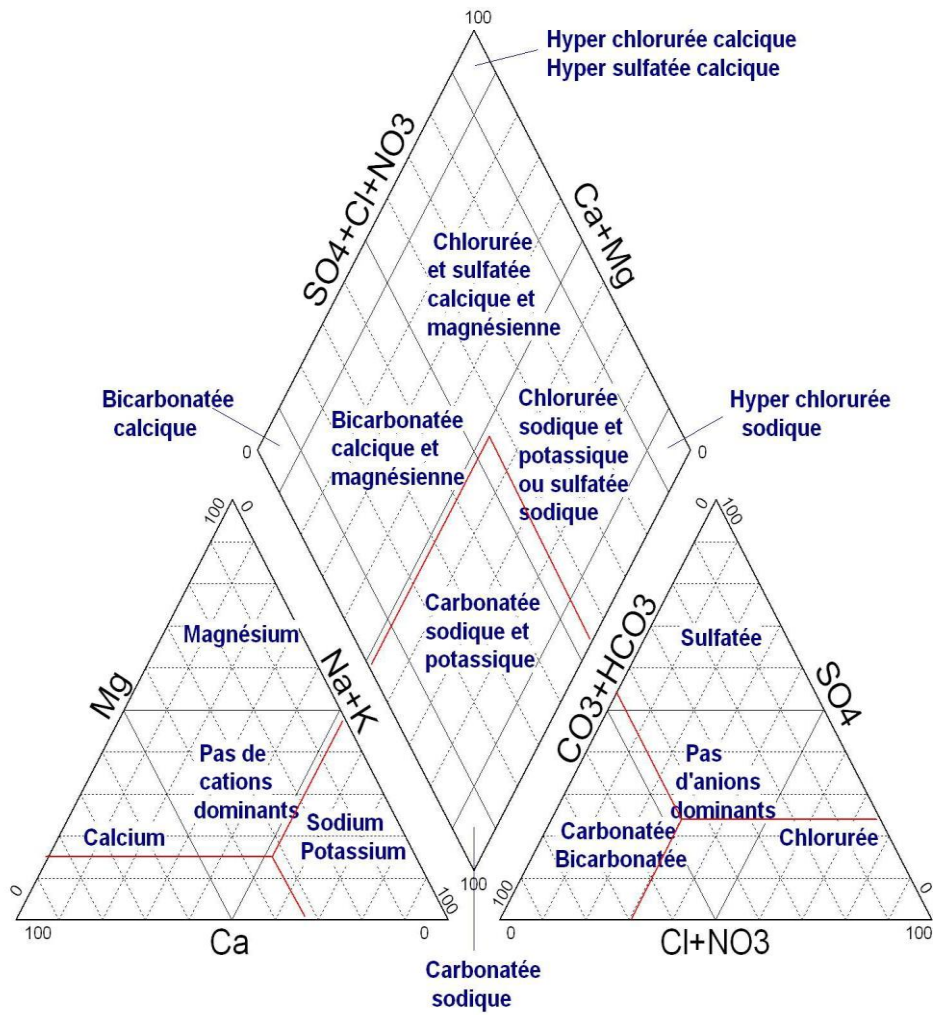


Figure 20 : Diagramme de Piper vierge.

2. RESULTATS
ET
DISCUSSION

2. RESULTATS ET DISCUSSION

2.1. Présentation globale des résultats

Les tableaux XV et XVI suivants présentent les résultats obtenus suite à l'analyse physico-chimique des eaux minérales et des eaux de source collectées.

Tableau XV : Résultats de l'analyse des paramètres physico- chimiques et des éléments fondamentaux des eaux minérales et des eaux de source collectées.

Nature de l'eau	Nom	Paramètres physico-chimiques			Eléments fondamentaux						
		pH	Cond.* ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Miné.** (mg/l)	TA	HCO_3^- (mg/l)	Dureté ($^\circ\text{F}$)	Ca^{2+} (mg/l)	Mg^{2+} (mg/l)	Na^+ (mg/l)	K^+ (mg/l)
Eau de robinet	Eau de robinet	8,07	473,57	339,04	0,00	190,32	19,60	53,71	142,29	19,70	3,10
Eau de source	Ovitale	7,72	650,33	465,59	0,00	229,36	27,20	76,15	19,59	33,00	1,40
	Qniaa	7,61	929,06	704,73	0,00	313,54	37,00	95,39	31,57	50,00	2,10
	Moza	7,62	905,51	686,87	0,00	296,46	40,00	110,62	29,63	31,00	0,80
	Bir essalam	7,45	898,31	681,41	0,00	468,48	35,00	82,56	34,46	27,00	1,70
	Djurdjura	7,62	937,40	711,06	0,00	305,00	35,60	96,19	27,72	43,00	2,20
	Ayris	7,57	613,86	439,47	0,00	223,26	25,80	84,97	10,94	31,00	1,80
	Arwa	7,37	1135,87	861,61	0,00	339,16	46,40	139,48	27,67	53,00	0,50
	Ifren	7,98	561,08	401,69	0,00	203,74	22,80	64,93	15,76	31,00	1,70
	Sidi Rached	7,58	754,40	540,09	0,00	318,42	35,60	125,05	10,41	20,00	1,50
	Star	7,46	1069,72	811,43	0,00	359,90	46,60	129,86	33,92	39,00	2,10
	Moza gazéifiée	5,73	1075,22	815,60	0,00	429,44	50,00	141,88	34,87	37,00	0,90
	Nestlé vie pure	7,75	484,34	346,75	0,00	214,72	24,40	52,10	27,30	26,00	0,50
	Ain Bouglez	6,02	136,39	129,25	0,00	13,42	3,00	3,21	5,28	18,00	1,20
	Besbessa	7,94	352,74	252,54	0,00	186,66	17,20	62,52	3,77	6,90	0,30
	Togi	7,59	652,06	466,83	0,00	279,38	26,80	64,93	25,36	29,00	2,00
Mileza	7,53	929,88	705,35	0,00	418,46	36,00	60,12	50,33	59,00	0,60	
Eaux minérales naturelles	Soummam	7,53	1387,44	1052,43	0,00	350,14	50,40	139,48	37,27	106,00	3,30
	Texama	7,72	316,06	243,23	0,00	150,06	23,00	38,48	32,11	13,20	1,30
	Mouzaia	7,34	1685,15	1278,26	0,00	793,00	64,00	128,26	76,65	170,00	2,90
	Ben Haroun	6,10	4055,03	3075,92	0,00	1782,42	112,40	347,09	61,50	600,00	9,60
	Youkous	7,89	439,30	314,50	0,00	204,96	22,00	72,14	9,51	9,00	1,10
	Alma	7,76	995,02	754,77	0,00	325,74	30,00	84,97	21,02	35,00	2,50
	N'Gaous	7,74	1314,46	997,07	0,00	254,98	55,60	117,84	62,74	56,00	3,80
	Mouzaia gazeuse	5,82	1659,04	1258,46	0,00	722,24	64,60	64,13	116,56	115,00	2,30
	Toudja	7,92	582,91	417,32	0,00	215,94	20,40	57,72	14,33	44,00	0,60
	Ifri	7,23	883,01	669,80	0,00	305,00	37,80	105,01	27,71	35,00	1,70
	Guedila	7,52	777,67	556,75	0,00	317,20	35,00	72,95	40,23	31,00	2,60
	Saida	7,60	1125,03	853,38	0,00	395,28	44,80	86,57	55,58	61,00	3,00
	Lalla Khedidja	7,95	311,90	240,03	0,00	172,02	15,20	48,90	7,14	5,30	0,50
	Saida pétillante	5,40	1123,24	852,03	0,00	367,22	48,00	68,14	74,32	59,00	2,90
	Messerghine	7,63	726,41	520,05	0,00	274,50	28,20	42,48	42,19	48,00	1,90
	Manbaa el Ghozlane	7,52	946,37	717,86	0,00	303,78	40,60	62,52	59,93	55,00	2,10
	Thevest	7,60	964,94	731,95	0,00	247,66	39,80	82,56	45,98	60,00	2,80
	Milok	7,65	424,42	303,85	0,00	137,86	20,60	52,91	17,70	11,20	3,80
	El Goléa	8,07	341,70	244,63	0,00	129,32	9,60	24,85	8,13	33,00	5,30
	Ifri pétillante	5,35	828,36	593,04	0,00	280,60	36,80	102,60	26,76	29,00	2,00

*Conductivité à 25°C ($\mu\text{S}/\text{cm}$) ; **Minéralisation (mg/l).

Tableau XVI : Résultats de l'analyse des éléments liés à la potabilité et des éléments indésirables des eaux minérales et des eaux de source collectées.

Nature de l'eau	Nom	Eléments liés à la potabilité					Eléments indésirables
		Cl ⁻ (mg/l)	PO ₄ ³⁻ (µg/l)	SO ₄ ²⁻ (mg/l)	NO ₂ ⁻ (mg/l)	NO ₃ ⁻ (mg/l)	F ⁻ (mg/l)
Eau de robinet	Eau de robinet	21,30	0,013	59,58	0,00	0,61	0,204
Eaux de source	Ovitale	42,60	0,013	227,50	0,00	1,72	0,064
	Qniaa	81,65	0,013	210,83	0,00	5,56	0,139
	Moza	56,80	0,000	170,83	0,00	16,22	0,156
	Bir essalam	7,10	0,000	220,42	0,00	0,76	0,255
	Djurdjura	106,50	0,013	40,83	0,00	8,30	0,146
	Ayris	42,60	0,000	100,00	0,00	1,17	0,064
	Arwa	95,85	0,000	77,50	0,00	13,82	0,740
	Ifren	31,95	0,000	92,08	0,00	1,18	0,129
	Sidi Rached	28,40	0,054	14,17	0,00	3,59	0,543
	Star	78,10	0,000	160,83	0,00	11,85	0,109
	Moza gazéifiée	53,25	0,000	54,17	0,00	9,09	0,285
	Nestlé vie pure	28,40	0,054	26,67	0,00	1,21	0,119
	Ain Bouglez	10,65	0,000	0,83	0,00	1,96	0,054
	Besbessa	7,10	0,000	5,00	0,00	2,38	0,112
	Togi	53,25	0,000	20,00	0,00	1,92	0,122
Mileza	3,55	0,000	186,67	0,00	0,34	0,380	
Eaux minérales naturelles	Soummam	156,20	0,000	69,17	0,00	9,41	0,153
	Texanna	10,65	0,013	14,17	0,00	0,49	0,095
	Mouzaia	124,25	0,013	85,42	0,00	3,03	0,345
	Ben Haroun	337,25	0,000	156,67	0,00	0,55	0,889
	Youkous	17,75	0,000	86,67	0,00	2,48	0,346
	Alma	92,30	1,552	85,00	0,00	5,15	0,143
	N'Gaous	71,00	0,000	85,00	0,00	0,65	1,395
	Mouzaia gazeuse	127,80	0,000	81,67	0,00	3,21	0,489
	Toudja	63,90	0,040	12,50	0,00	0,13	0,132
	Ifri	67,45	0,081	16,67	0,00	6,37	0,010
	Guedila	31,95	0,040	25,83	0,00	0,97	0,757
	Saida	95,85	0,000	167,50	0,00	8,93	0,227
	Lalla Khedidja	17,75	0,094	7,50	0,00	0,65	0,054
	Saida pétillante	92,30	0,081	235,00	0,00	8,93	0,255
	Messerghine	49,70	0,013	4,17	0,00	1,62	0,221
	Manbaa el Ghozlane	39,05	0,013	106,67	0,00	1,92	1,415
	Thevest	67,45	0,000	244,17	0,00	0,69	0,482
	Milok	7,10	0,000	133,33	0,00	4,60	0,244
El Goléa	21,30	0,000	10,00	0,00	2,74	0,265	
Ifri pétillante	67,45	0,000	189,17	0,00	6,10	0,146	

➤ **Remarque** : L'eau de source Bir Essalem présentait des débris noirs flottants. L'eau de source Ayris présentait un goût et une odeur désagréable. L'eau minérale Mouzaia présentait des corps en suspension.

2.2. Résultats et discussion des paramètres physiques

2.2.1. Analyse du pH

Selon les normes algériennes de 2006, le pH des eaux de source doit être compris entre 6,5 et 8,5 [12]. La figure 21 ci-dessous présente les résultats de l'analyse du pH des eaux de source.

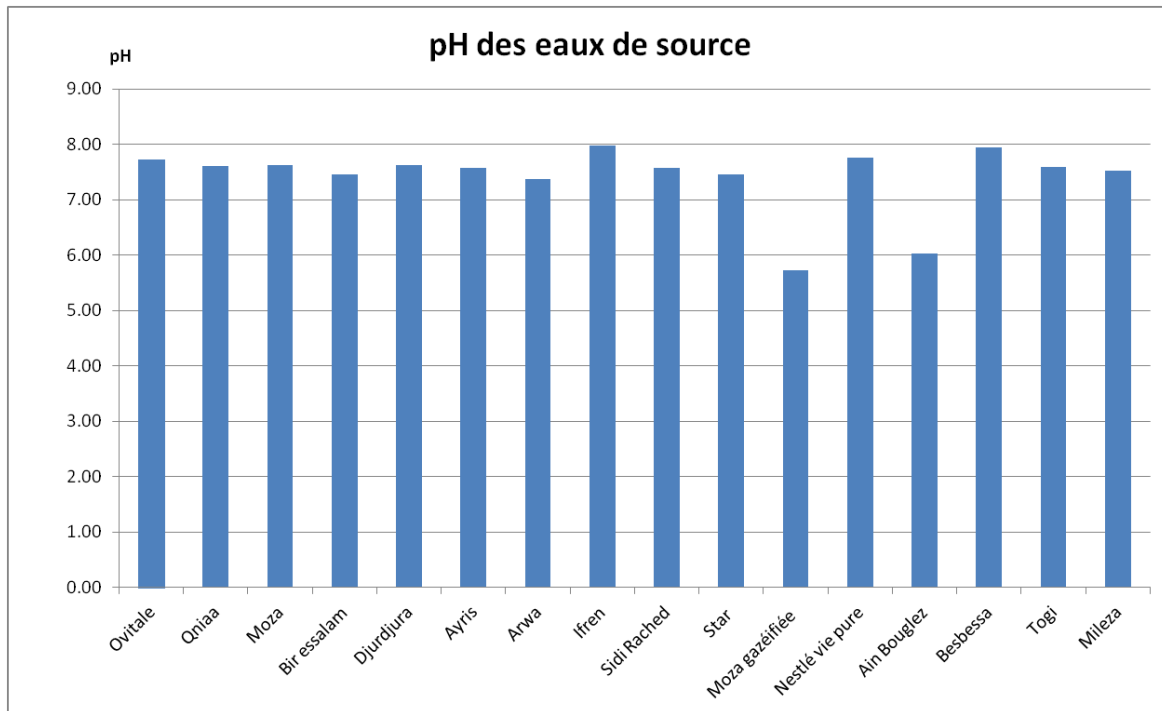


Figure 21: Résultats de l'analyse du pH des eaux de source.

Les eaux de source sont légèrement basiques ; leurs pH présentent des écarts assez faibles entre les différentes marques et le pH moyen est de 7,41. L'alcalinité est due aux bicarbonates. Le pH le plus bas est de 5,73 (Moza gazéifiée) et le pH le plus élevé est de 7,98 (Ifren).

Moza gazéifiée présente un pH de 5,73, car elle a été enrichie en gaz carbonique.

Parmi les eaux de source, une marque ne répond pas à cette norme : Ain Bouglez avec un pH de 6,02.

La figure 22 ci-dessous présente les résultats de l'analyse du pH des eaux minérales naturelles.

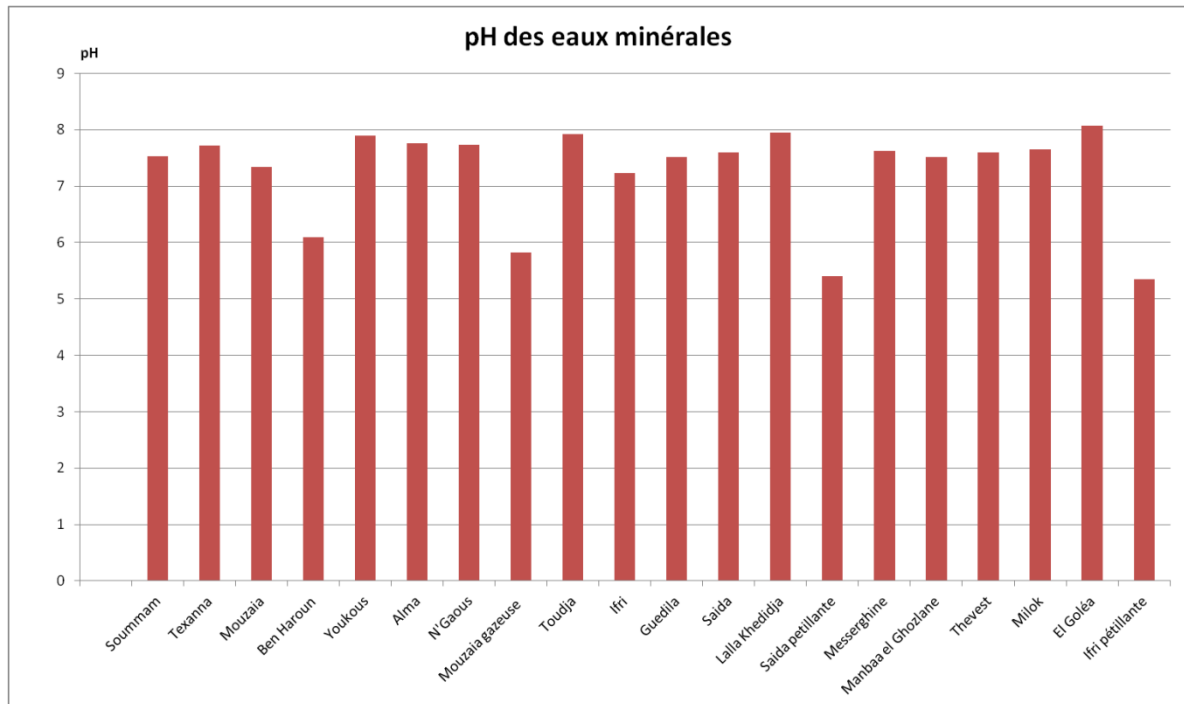


Figure 22: Résultats de l'analyse du pH des eaux minérales.

Les eaux minérales naturelles sont légèrement alcalines ; leurs pH moyen est de 7,27. Le pH le plus bas est de 5,35 (Ifri pétillante) et le pH plus élevé est de 8,07 (El Goléa).

On constate que les 4 marques d'eaux minérales naturelles gazeuses ont un pH inférieur à 6.5 car elles ont été enrichies en gaz carbonique : Ben Haroun (6.10) ; Mouzaia gazeuse (5.82) ; Saïda pétillante (5.40) ; Ifri pétillante (5.35).

Il n'y a pas de valeur guide concernant le pH des eaux minérales. Néanmoins on constate que les eaux minérales analysées respectent la norme algérienne qui régit les eaux de source.

2.2.2. Etude de la conductivité électrique

Selon les normes algériennes de 2006, la conductivité électrique des eaux de source ne doit pas dépasser 2800 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à 20°C [12].

La conductivité électrique des eaux est liée aux interactions eau-roche et à la capacité des eaux à dissoudre les minéraux contenus dans les roches [67]. La figure 23 présente les conductivités électriques des eaux de sources embouteillées que nous avons étudiées.

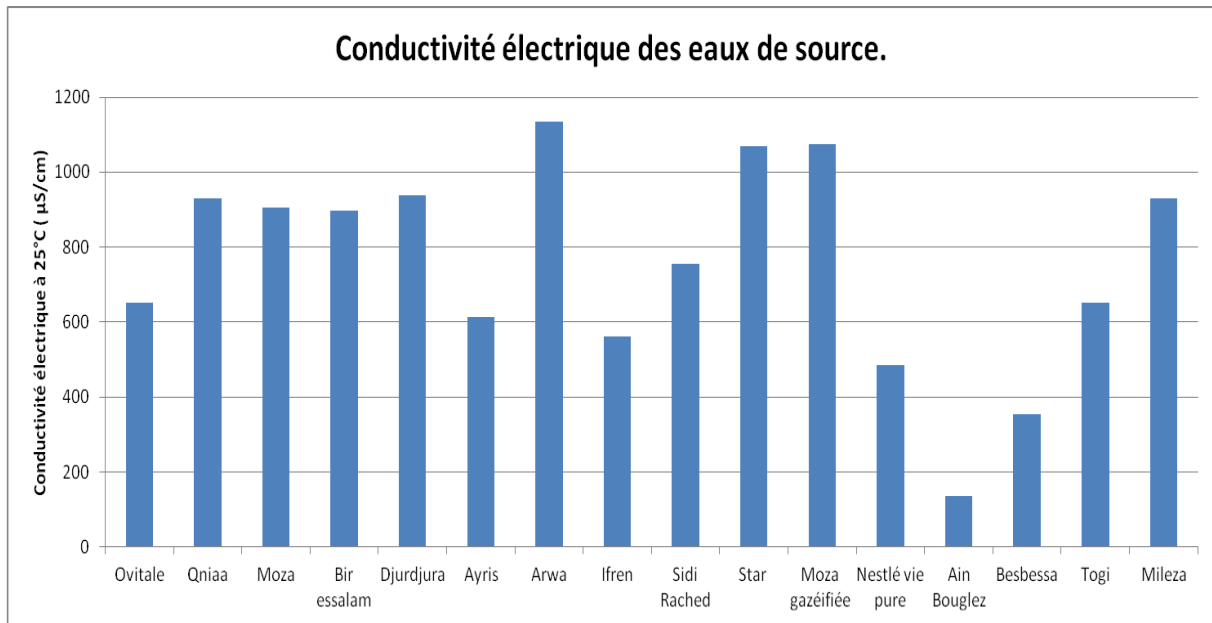


Figure 23: Conductivité électrique des eaux de source étudiées.

La conductivité moyenne des eaux de sources étudiées est de $755.4 \mu\text{S/cm}$, elle est comprise entre $136.4 \mu\text{S/cm}$ (Ain Bouglez) et $1135.9 \mu\text{S/cm}$ (Arwa). Les eaux de source embouteillées sont conformes à la norme algérienne qui fixe la limite supérieure à $2800 \mu\text{S/cm}$ à 20°C (soit $3125 \mu\text{S/cm}$ à 25°C) [12].

La figure 24 présente les conductivités électriques des eaux minérales embouteillées que nous avons étudiées.

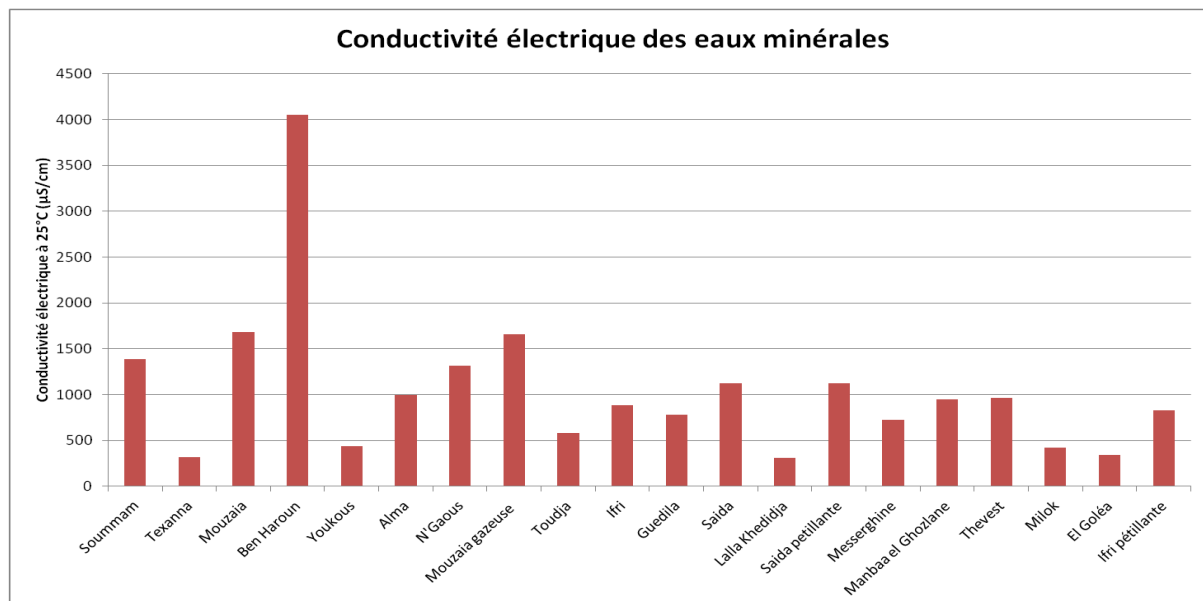


Figure 24 : Conductivité électrique des eaux minérales étudiées.

La conductivité moyenne des eaux minérales étudiées est de 1044.4 $\mu\text{S}/\text{cm}$, elle est comprise entre 311.9 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Lalla Khedidja) et 4055.03 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Ben Haroun).

Il n'y a pas de valeur guide concernant la conductivité électrique des eaux minérales.

On constate que les eaux minérales embouteillées sont conformes à la norme algérienne qui régit les eaux de source excepté l'eau minérale gazeuse Ben Haroun qui présente une conductivité à 25°C égale à 4055.03 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Néanmoins les eaux minérales ne sont pas contraintes d'obéir aux normes de potabilité car elles peuvent présenter, à l'exception des éléments témoignant d'une pollution, des anomalies en excès ou en défaut des teneurs relatives aux éléments physico-chimique.

2.2.3 Minéralisation globale

Il n'y a pas de valeur guide concernant la minéralisation globale des eaux de source et des eaux minérales dans la réglementation en vigueur.

Les résultats de l'étude de la minéralisation des eaux de source étudiées, présentés par la figure 25, montrent que la plupart des eaux sont moyennement minéralisées.

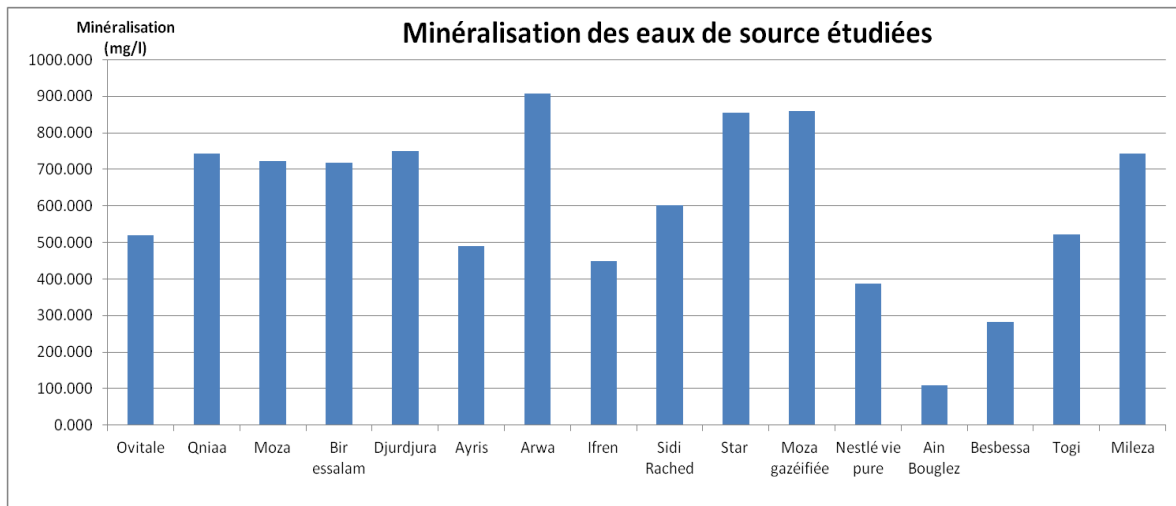


Figure 25 : Minéralisation des eaux de source étudiées.

La minéralisation moyenne des eaux de source étudiées est de 603.5 mg/l. Elle est comprise entre 108.9 mg/l (Ain Bouglez) et 907.5 mg/l (Arwa).

Les résultats de l'étude de la minéralisation des eaux minérales étudiées, présentés par la figure 26, montrent que la plupart des eaux sont moyennement minéralisées.

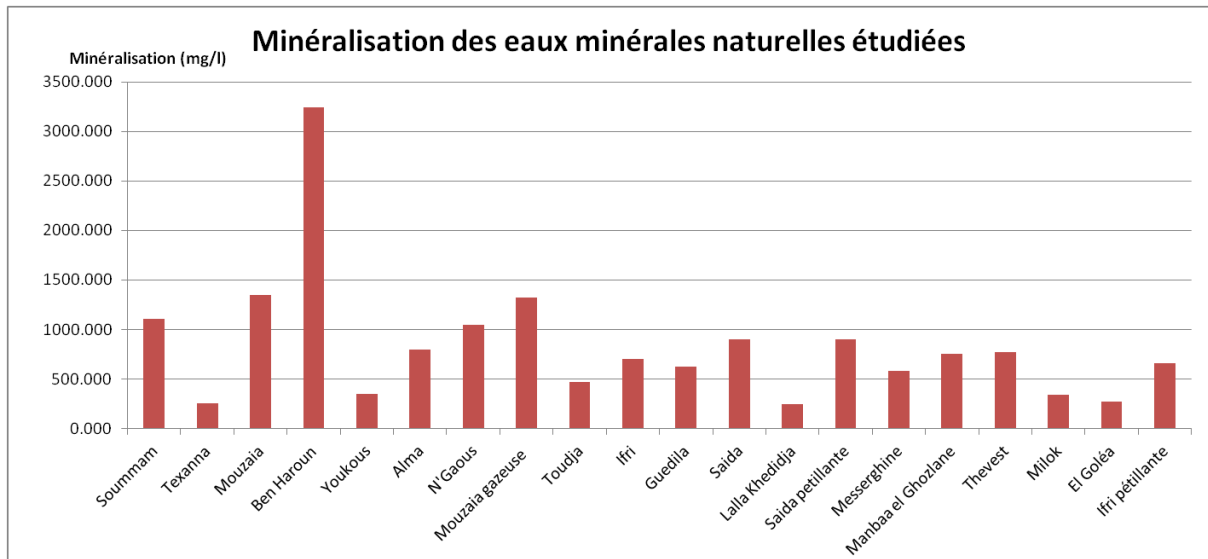


Figure 26 : Minéralisation des eaux minérales étudiées (mg/l).

La minéralisation moyenne des eaux minérales étudiées est de 834.4 mg/l. Elle est comprise entre 249.20mg/l (Lalla Khedidja) et 3239.8 mg/l (Ben Haroun).

On constate que la plupart des eaux minérales algériennes ont une minéralisation comparable à celle des eaux de source comme le montre la figure 27 ci-dessous.

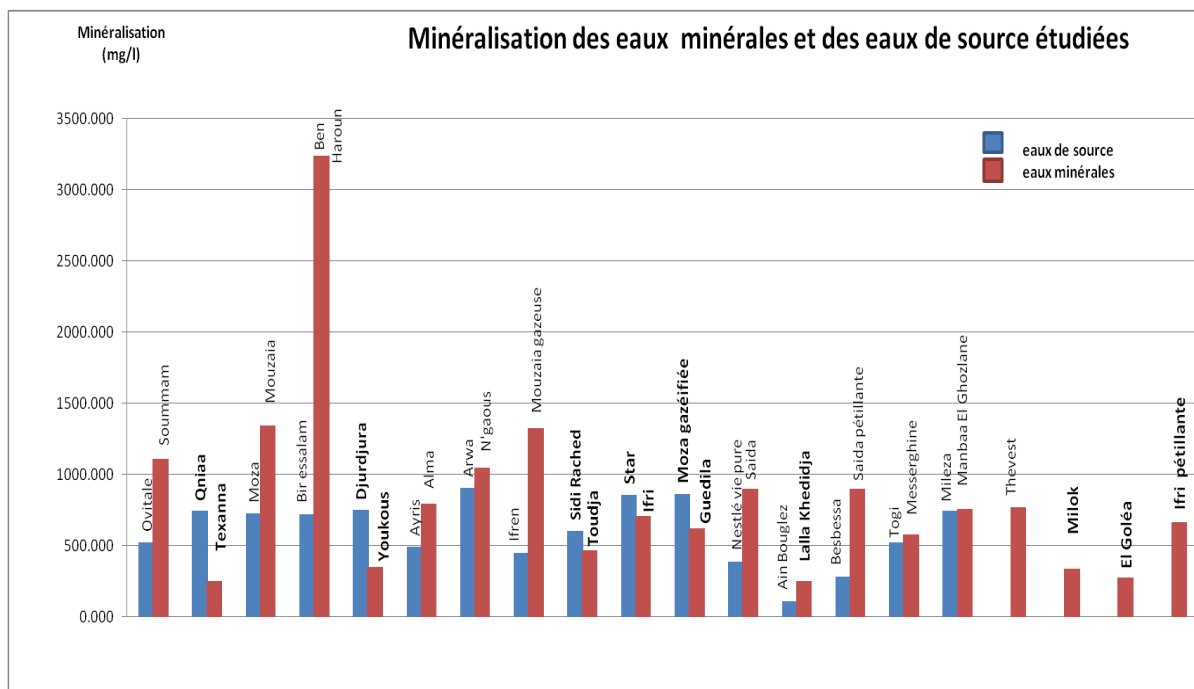


Figure 27 : Comparaison entre la minéralisation globales des eaux minérales et les eaux de source algériennes analysées.

Seules les eaux minérales Soummam, Mouzaia, Ben Haroun, N'Gaous, Mouzaia gazeuse ont une minéralisation plus élevée que la plupart des marques.

On constate que la minéralisation de certaines eaux de source est plus élevée que certaines eaux minérales comme par exemple : Qniaa ; Bir essalam ; Djurdjura ; Arwa; Star ; Moza gazéifiée qui présentent une minéralisation supérieure à celle de : Texanna ; Toudja ; Lalla Khedidja ; Milok ; El Goléa.

En Algérie, la minéralisation n'est pas un critère de classification en eau de source ou en eau minérale, contrairement :

- Au Canada, l'eau minérale contient généralement une proportion plus grande de sels minéraux (plus de 500 ppm de TDS) que l'eau de source (moins de 500 ppm de TDS) [43].

Ainsi, parmi les eaux minérales étudiées certaines n'auront pas l'appellation « eau minérale » au Canada :

Texanna (252,519 mg/l), Youkous (350,987 mg/l), Toudja (465,727 mg/l), Lalla Khedidja (249,199 mg/l), Milok (339,101 mg/l), El Goléa (273,007 mg/l).

Seulement 05 marques d'eau de source peuvent garder cette appellation au Canada (moins de 500 ppm) :

Ayris (490,452 mg/l), Ifren (448,284 mg/l), Nestlé vie pure (386,975 mg/l), Ain Bouglez (108,968 mg/l), Besbessa (281,830 mg/l).

- Aux Etats-Unis, l'eau de source doit avoir moins de 250 ppm de TDS.

Ainsi, parmi les eaux de source étudiées, seule Ain Bouglez (108,968 mg/l) peut garder l'appellation « eau de source ».

2.3. Résultats et discussion de l'analyse des éléments fondamentaux des eaux naturelles

2.3.1. Titre alcalimétrique (TA)

Pour la totalité des eaux de source et des eaux minérales étudiées le TA est nul car leurs pH est inférieur à 8,3. Cela traduit l'absence de carbonates dans les eaux analysées conformément à la législation en vigueur.

2.3.2. Titre alcalimétrique complet (TAC)

Il n'y a pas de valeur guide dans la réglementation algérienne

Dans les eaux naturelles, l'alcalinité, exprimée en mg/l de HCO_3^- , varie généralement de 10 à 350 mg/l [45]. La figure 28, présente les TAC en mg/l de Bicarbonates des eaux de sources embouteillées étudiées.

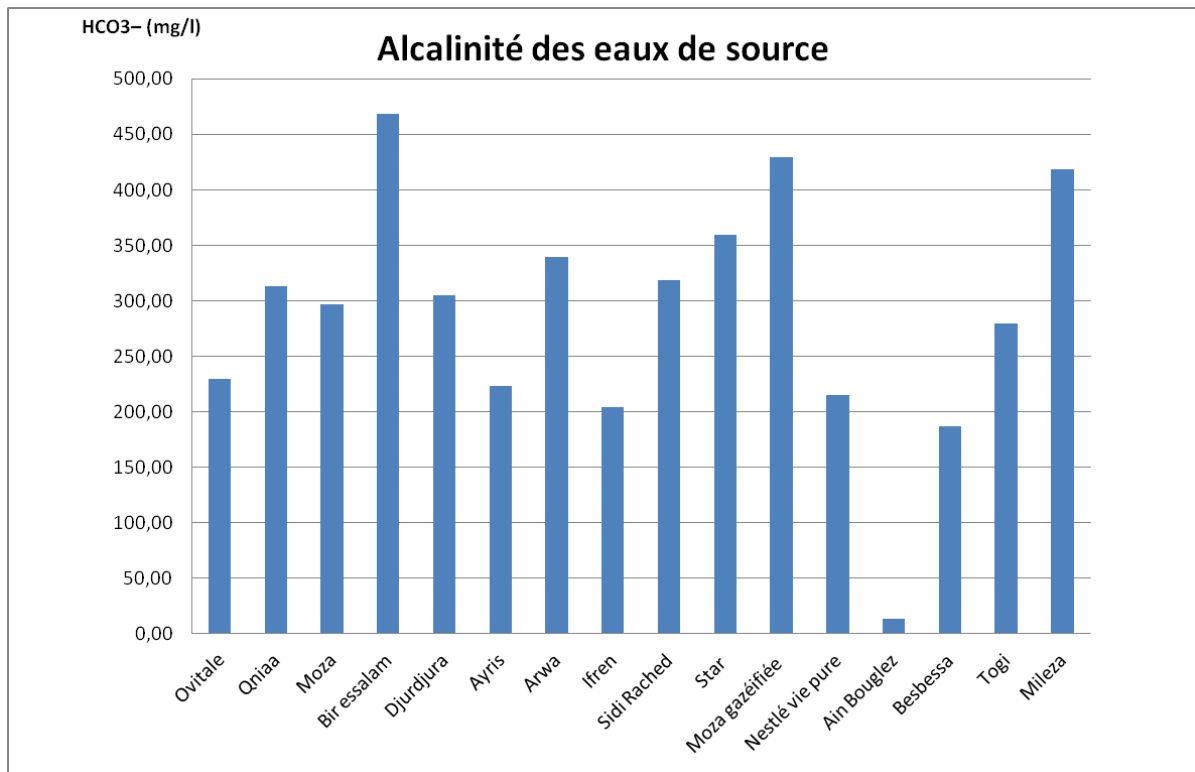


Figure 28 : Les Teneurs en Bicarbonates des eaux de source étudiées (mg/l).

L'alcalinité moyenne des eaux de sources étudiées est de 287,46 mg/l, elle est comprise entre 13,42 mg/l (Ain Bouglez) et 468,48 mg/l (Bir Essalam).

04 marques présentent une alcalinité supérieure à 350 mg/l : Bir essalam (468,48 mg/l), Star (359,90 mg/l), Moza gazéifiée (429,44 mg/l) et Mileza (418,46 mg/l).

La figure 29, présente les TAC en mg/l de Bicarbonates des eaux minérales embouteillées étudiées.

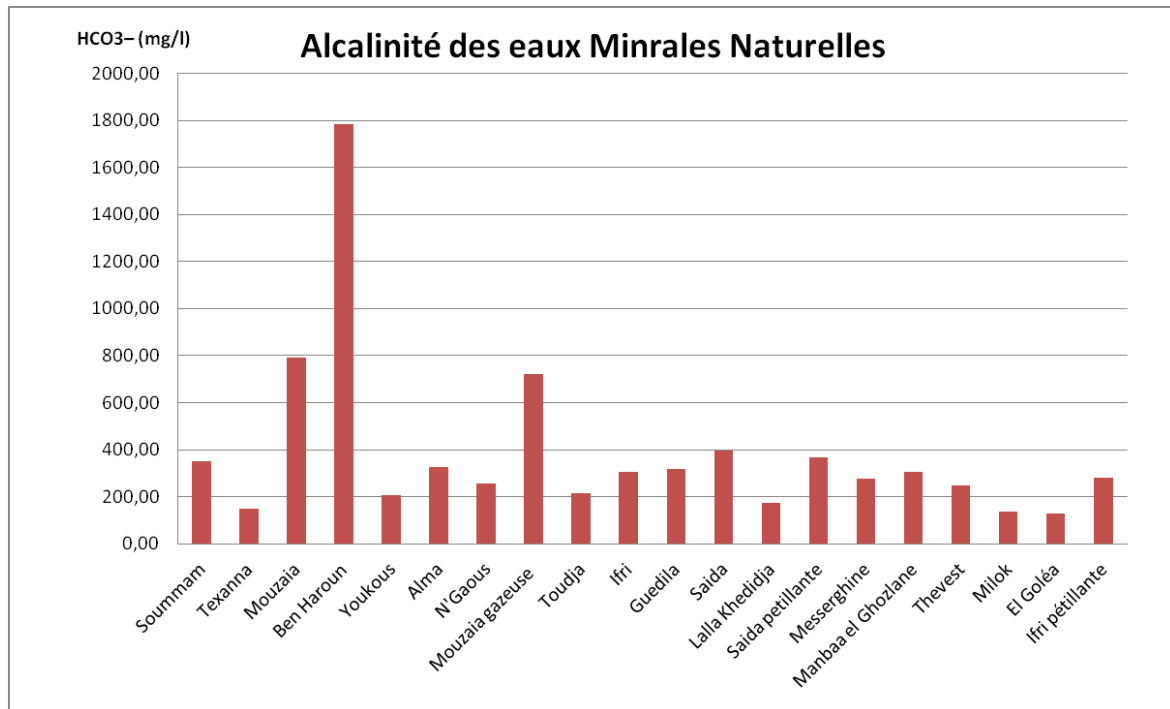


Figure 29 : Les Teneurs en Bicarbonates des eaux minérales étudiées (mg/l).

L'alcalinité moyenne des eaux minérales étudiées est de 386,50 mg/l, elle est comprise entre 129,32 mg/l (El Goléa) et 1782,42 mg/l (Ben Haroun).

05 marques présentent une alcalinité supérieure à 350 mg/l :

Mouzaia (793 mg/l), Mouzaia gazeuse (722,24 mg/l), Ben Haroun (1782,42 mg/l), Saida (395,28 mg/l) et Saida pétillante (367,22 mg/l).

2.3.3. Dureté totale

Selon les normes algériennes de 2006, la dureté des eaux de source doit être comprise entre 10 °HF et 50 °HF [12], la dureté idéale est environ de 25 °HF.

La figure 30, présente la dureté en °HF des eaux de sources embouteillées étudiées.

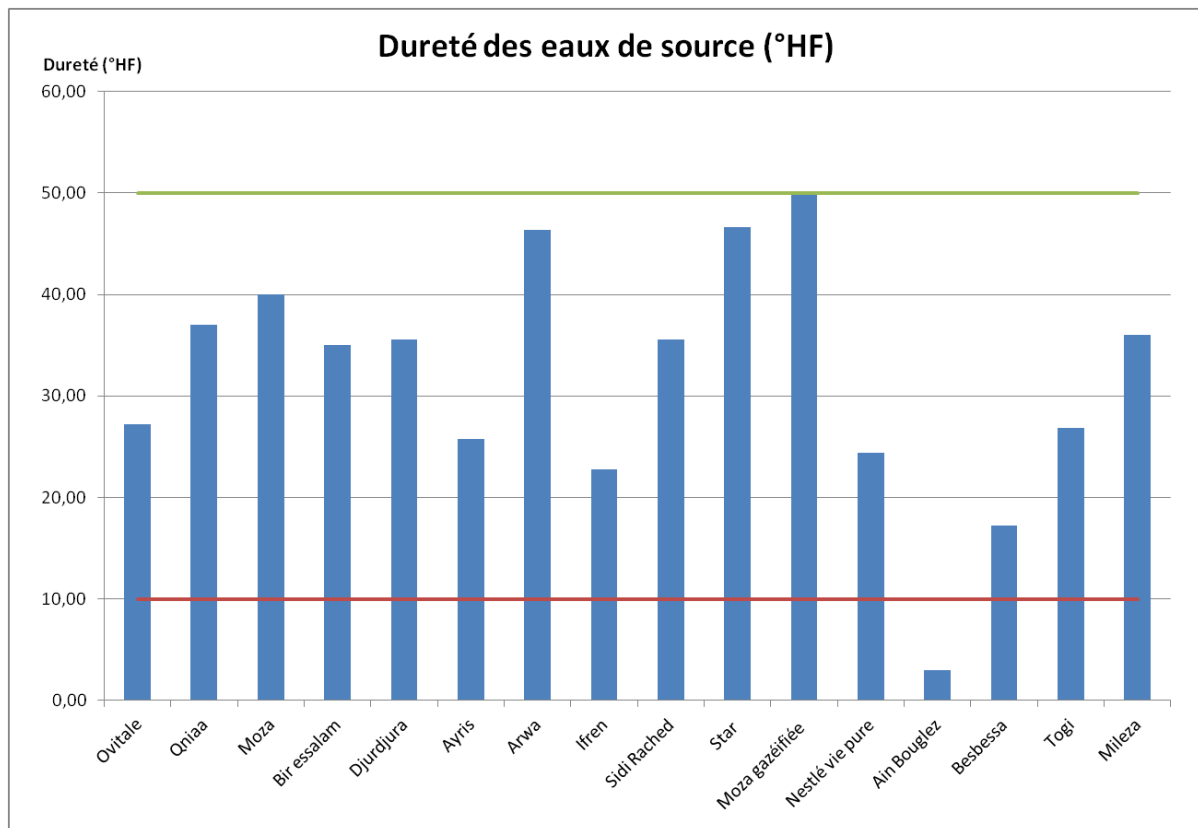


Figure 30 : Dureté des eaux de source étudiées (°HF).

La dureté des eaux de source étudiées varie entre 3 °HF (Ain Bouglez) et 50 °HF (Moza gazéifiée), avec une moyenne de 31,84 °HF.

Les résultats montrent que seule la marque Ain Bouglez (3 °HF) qui est non conforme à la norme algérienne qui fixe la limite inférieure de la dureté des eaux de source à 10 °HF.

La figure 31, présente la dureté en °HF des eaux minérales embouteillées étudiées.

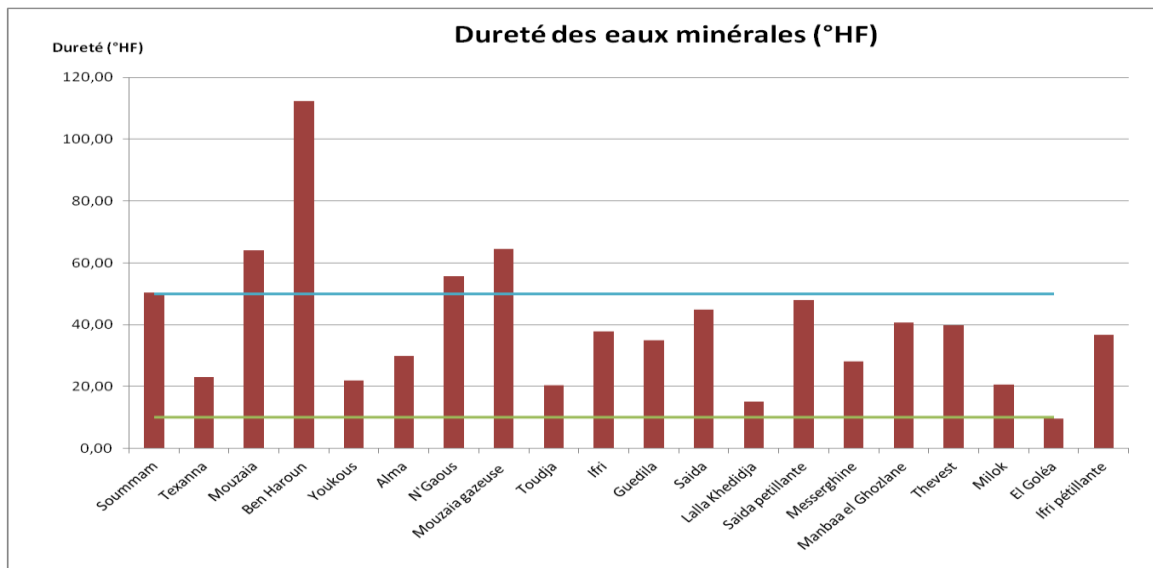


Figure 31 : Dureté des eaux minérales étudiées (°HF).

La dureté des eaux minérales étudiées varie entre 9,60 °HF (El Goléa) et 112,40 °HF (Ben Haroun), avec une moyenne de 39,94 °HF.

Les résultats montre que parmi les eaux minérales étudiées :

01 marque présente une dureté inférieure à 10 °HF : El Goléa (9,60 °HF)

04 marques présentent une dureté supérieur à 50 °HF : Mouzaia (64 °HF), Ben Haroun (112,40 °HF), N'Gaous (55,60 °HF), Mouzaia gazeuse (64,60 °HF).

On peut répartir les eaux naturelles étudiées en différents groupes selon leurs duretés :

- Les eaux douces, dont la dureté est comprise entre 0 et 5 °HF sont : Ain Bouglez (3 °HF).
- Les eaux moyennement dures, dont la dureté est comprise entre 10-15°HF sont: El Goléa (9,60 °HF) et Lalla Khedidja (15,20 °HF). Soit 02 marques d'eaux minérales.
- Les eaux avec une dureté idéale, entre 15 et 35 °HF sont:
 - Ovital (27,20 °HF), Bir essalam (35 °HF), Ayris (25,80 °HF), Ifren (22,80 °HF), Nestlé vie pure (24,40 °HF), Togi (26,80 °HF) et Besbessa (17,20 °HF). Soit un total de 7 marques d'eau de source.
 - Texanna (23 °HF), Youkous (22 °HF), Alma (30 °HF), Toudja (20,40 °HF), Guedila (35 °HF), Messerghine (28,20 °HF) et Milok (20,60 °HF). Soit un total de 7 marques d'eau minérale.
- Les eaux très dures, dont la dureté est >35 °HF sont :

- Qniaa (37 °HF), Moza (40 °HF), Djurdjura (35,60 °HF), Arwa (46,40 °HF), Sidi Rached (35,60 °HF), Star (46,60 °HF), Moza gazéifiée (50 °HF), Mileza (36 °HF), soit 08 marques d'eaux de source.
- Soummam (50,40 °HF), Mouzaia (64 °HF), Ben Haroun (112,40 °HF), N'Gaous (55,60 °HF), Mouzaia gazeuse (64,60 °HF), Ifri (37,80 °HF), Saida (44,80 °HF), Saida pétillante (48,00 °HF), Manbaa el Ghozlane (40,60 °HF), Thevest (39,80 °HF) et Ifri pétillante (36,8 °HF). Soit un total 11 marques d'eau minérale.

2.3.4. Calcium

Selon les normes algériennes de 2006, la concentration en Calcium des eaux de source doit être comprise entre 75 à 200 mg/l [12].

La figure 32, présente la concentration en Calcium des eaux de sources embouteillées étudiées.

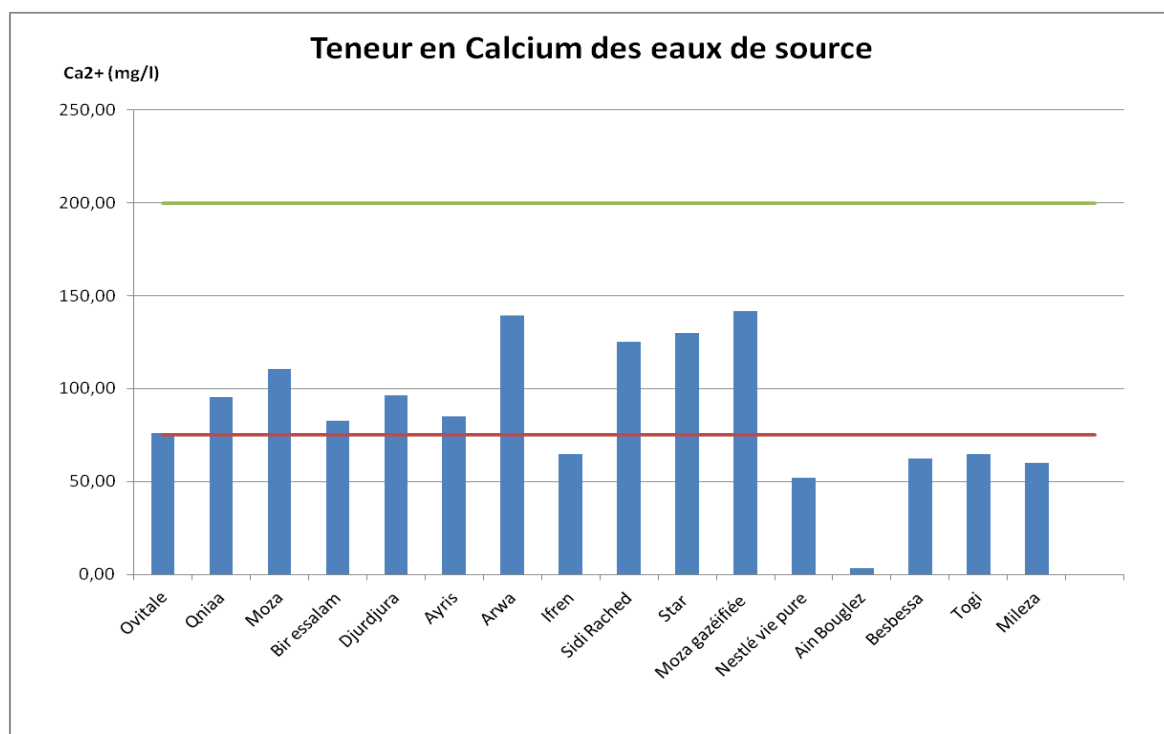


Figure 32 : Les teneurs en Calcium des eaux de source étudiées.

La teneur moyenne des eaux de source étudiées en Ca^{2+} est de 86,87 mg/l. Elle est comprise entre 3,21 mg/l (Ain Bouglez) et 141,88 mg/l (Moza gazéifiée).

Parmi les eaux de source analysées :

06 marques n'atteignent pas la teneur minimale en Calcium (75 mg/l) exigée par la réglementation algérienne :

Ifren (64,93 mg/l), Nestlé vie pure (52,10 mg/l), Ain Bouglez (3,21 mg/l), Besbessa (62,52 mg/l), Togi (64,93 mg/l) et Mileza (60,12 mg/l).

Ces marques ne conviennent pas à une consommation régulière, du fait de leur faible apport en Calcium.

La figure 33, présente la concentration en Calcium des eaux minérales embouteillées étudiées.

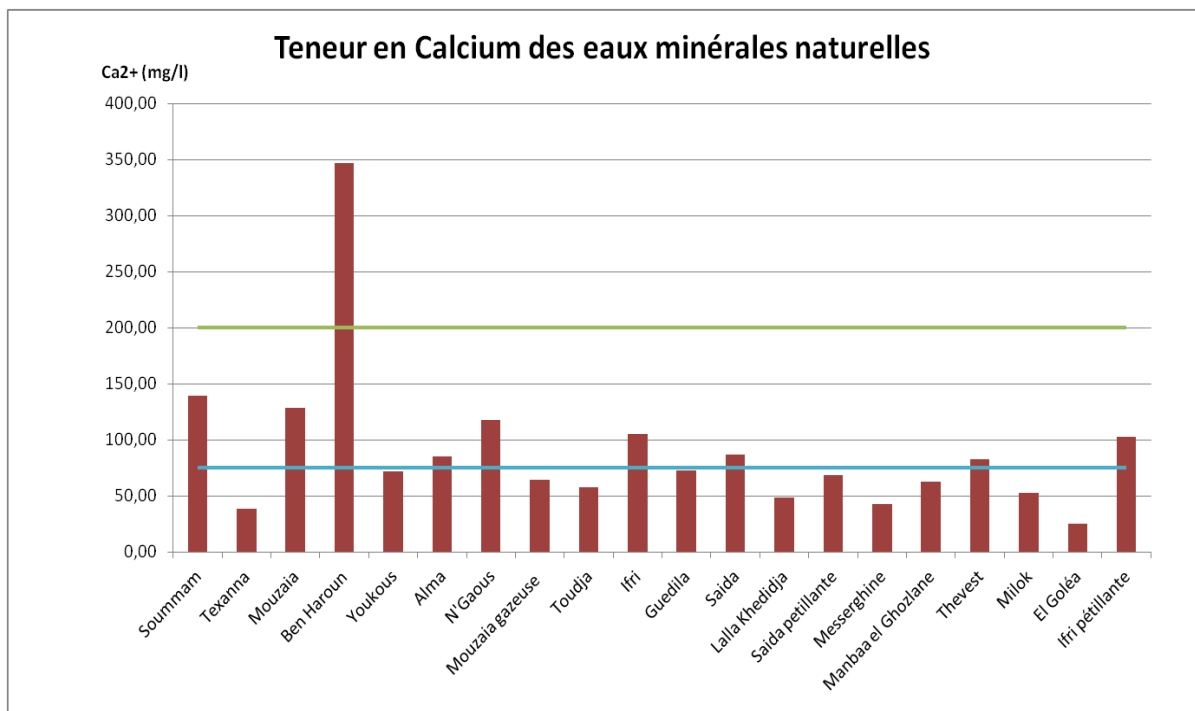


Figure 33 : Les teneurs en Calcium des eaux minérales étudiées.

La teneur moyenne des eaux minérales étudiées en Ca^{2+} est de 89,98 mg/l. Elle est comprise entre 24,85 mg/l (El Goléa) et 347,09 mg/l (Ben Haroun).

Parmi les eaux minérales étudiées :

- 11 marques d'eau minérale présentent une teneur en Calcium inférieur à 75 mg/l :

Texanna (38,48 mg/l), Youkous (72,14 mg/l), Mouzaia gazeuse (64,13 mg/l), Toudja (57,72 mg/l), Guedila (72,95 mg/l), Lalla Khedidja (48,90 mg/l), Saida pétillante (68,14 mg/l), Messerghine (42,48 mg/l), Manbaa el Ghozlane (62,52 mg/l), Milok (52,91 mg/l) et El Goléa (24,85 mg/l).

- Seule la marque Ben Haroun est calcique (dépasse 150 mg/l de Ca^{2+}), et dépasse aussi la norme algérienne des eaux de source (200 mg/l).

2.3.5. Magnésium

La réglementation algérienne de 2006 fixe la concentration en Magnésium des eaux de source à 150 mg/l [12].

La figure 34, présente la concentration en Magnésium des eaux de sources embouteillées étudiées.

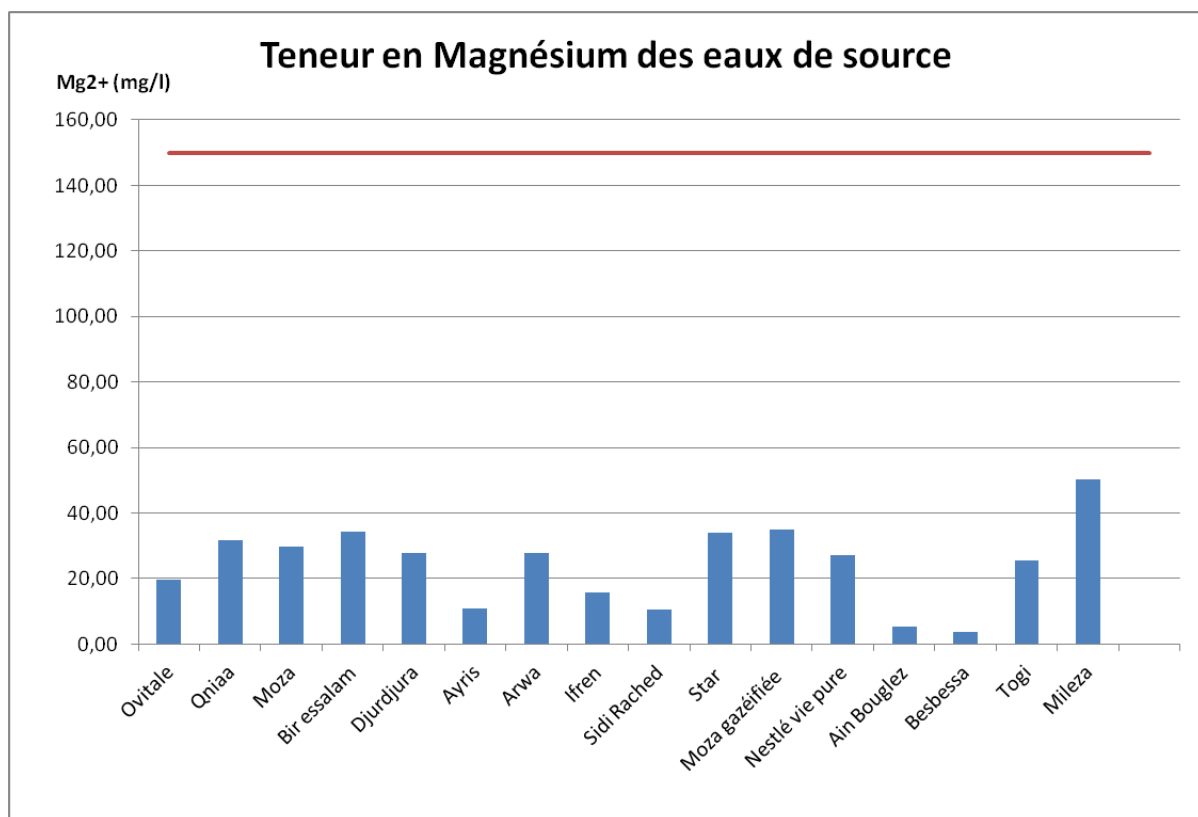


Figure 34 : Les teneurs en Magnésium des eaux de source étudiées.

La teneur moyenne des eaux de source étudiées en Mg^{2+} est de 24,29 mg/l. Elle est comprise entre 3,77 mg/l (Besbessa) et 50,33 mg/l (Mileza).

La figure 35 présente la concentration en Magnésium des eaux minérales embouteillées étudiées.

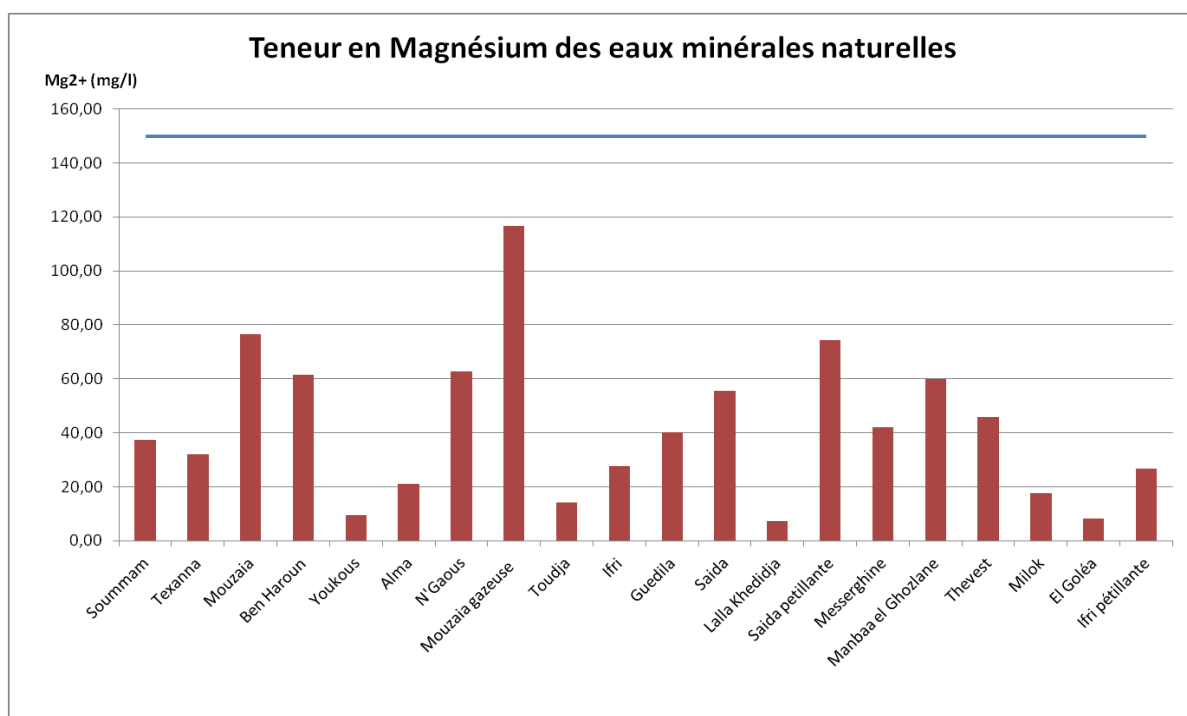


Figure 35 : Les teneurs en Magnésium des eaux minérales étudiées.

La teneur moyenne des eaux minérales étudiées en Mg²⁺ est de 41,87 mg/l. Elle est comprise entre 7,14 mg/l (Lalla Khediéja) et 116,56 mg/l (Mouzaia gazeuse).

07 marques d'eau minérale sont Magnésiennes (teneur supérieure à 50 mg/l) :

Mouzaia (76,65 mg/l), Ben Haroun (61,50 mg/l), N'Gaous (62,74 mg/l),

Mouzaia gazeuse (116,56 mg/l), Saida (55,58 mg/l), Saida pétillante (74,32 mg/l),

Manbaa el Ghozlane (59,93 mg/l).

2.3.6. Sodium

La réglementation algérienne de 2006 fixe la concentration en Sodium des eaux de source à 200 mg/l [12].

La figure 36, présente la concentration en Sodium (mg/l) des eaux de sources embouteillées étudiées.

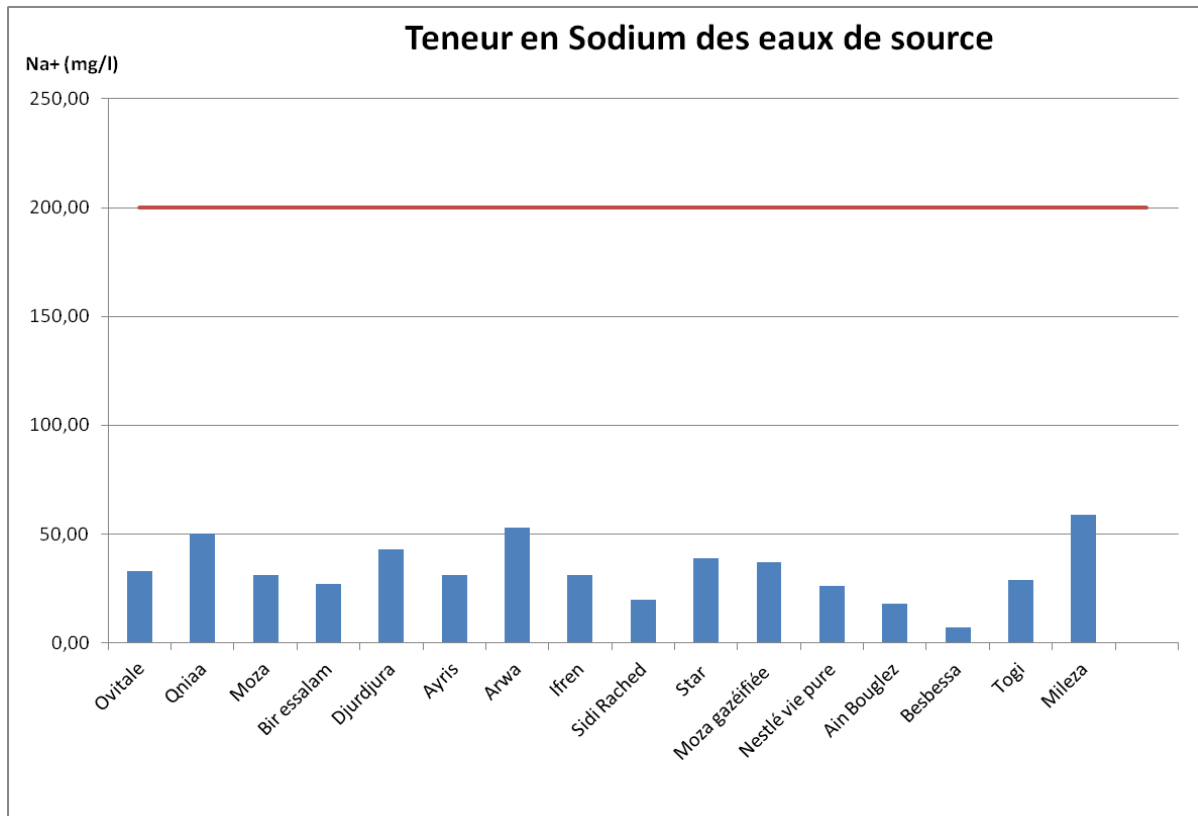


Figure 36 : Les teneurs en Sodium des eaux de source étudiées.

La teneur moyenne des eaux de source étudiées en Na^+ est de 33,37 mg/l. Elle est comprise entre 6,90 mg/l (Besbessa) et 59 mg/l (Mileza).

Toutes les marques d'eau de source respectent la norme algérienne.

La figure 37, présente la concentration en Sodium (mg/l) des eaux minérales embouteillées étudiées.

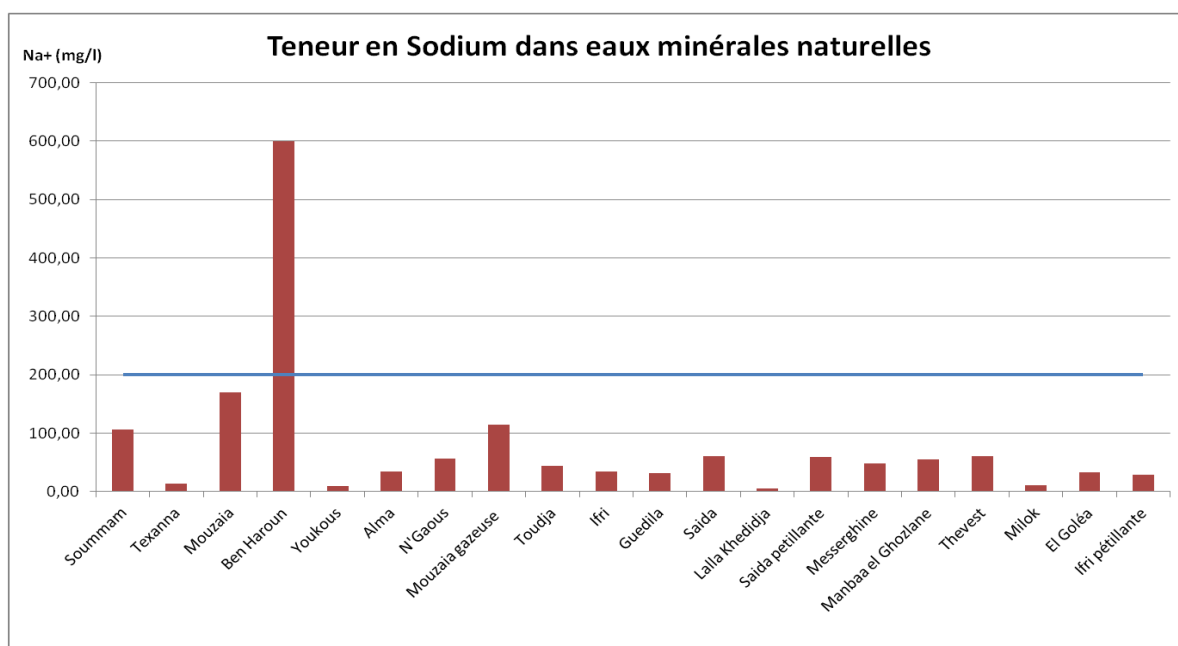


Figure 37 : Les teneurs en Sodium des eaux minérales étudiées.

La teneur moyenne des eaux minérales étudiées en Na^+ est de 78,79 mg/l. Elle est comprise entre 5,30 mg/l (Lalla Khedidja) et 600 mg/l (Ben Haroun).

Seule la marque d'eau minérale Ben Haroun (600 mg/l) dépasse la norme algérienne des eaux de source fixée à 200 mg/l.

2.3.7. Potassium

La réglementation algérienne de 2006 fixe la concentration en Potassium (mg/l) des eaux de source à 20 mg/l [12].

La figure 38, présente la concentration en Potassium (mg/l) des eaux de sources embouteillées étudiées.

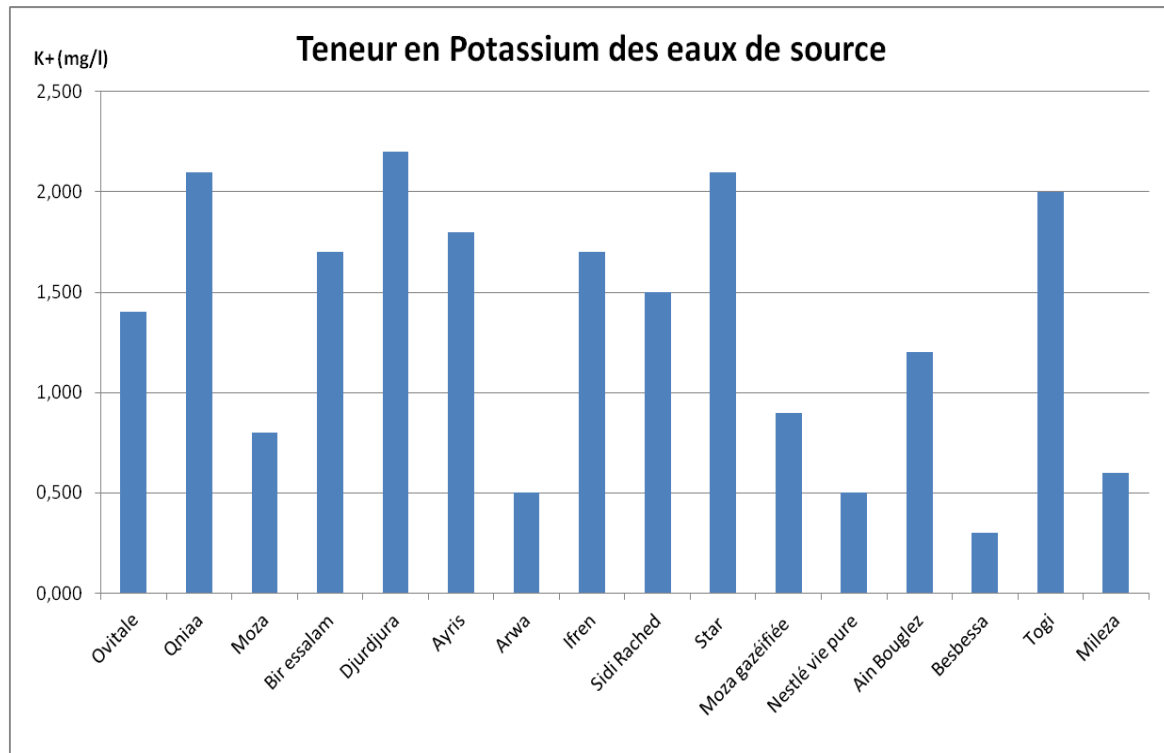


Figure 38 : Les teneurs en Potassium des eaux de source étudiées.

La teneur moyenne des eaux de source étudiées en K^+ est de 1,33 mg/l. Elle est comprise entre 0,3 mg/l (Besbessa) et 2,2 mg/l (Djurdjura).

La figure 39, présente la concentration en Potassium (mg/l) des eaux minérales embouteillées étudiées.

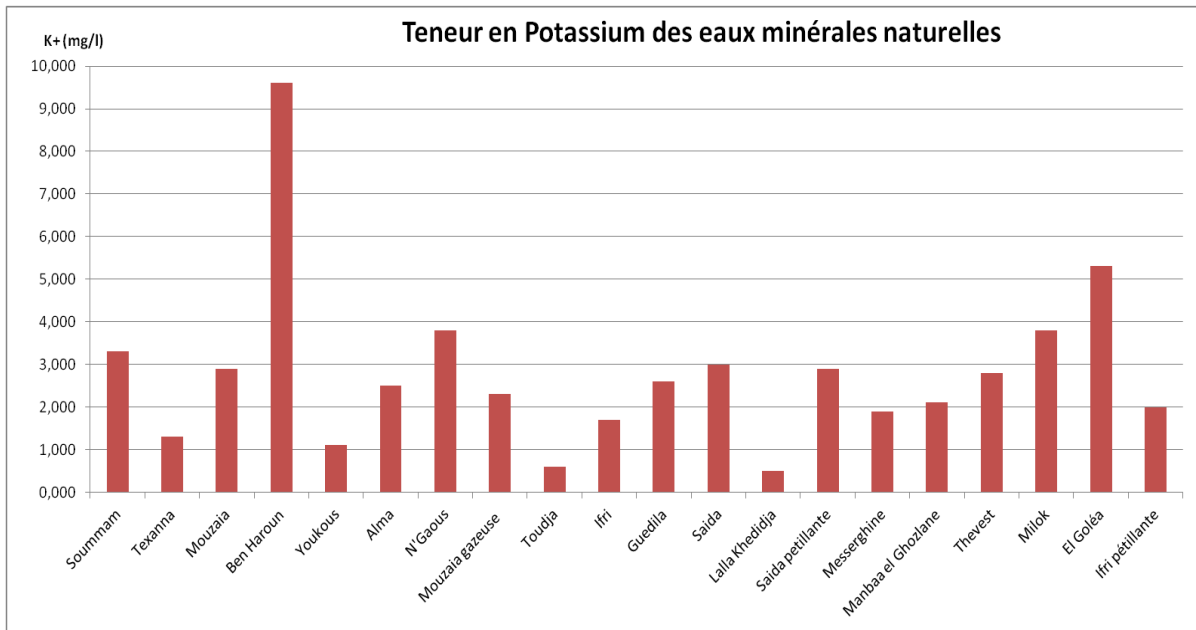


Figure 39 : Les teneurs en Potassium des eaux minérales étudiées.

La teneur moyenne des eaux minérales étudiées en K^+ est de 2,8 mg/l. Elle est comprise entre 0,5 mg/l (Lalla Khedidja) et 9,6 mg/l (Ben Haroun).

Parmi les eaux de source et les eaux minérales étudiées, aucune ne dépasse le seuil de 20 mg/l de K^+ , et respectent ainsi la norme algérienne de potabilité.

2.4. Résultats et discussion de l'analyse des éléments liés à la potabilité des eaux

2.4.1. Les Chlorures

La norme de potabilité algérienne fixe la teneur maximale des eaux de source en chlorures à 500 mg/l [12].

La figure 40 présente les teneurs en chlorures des eaux de source étudiées.

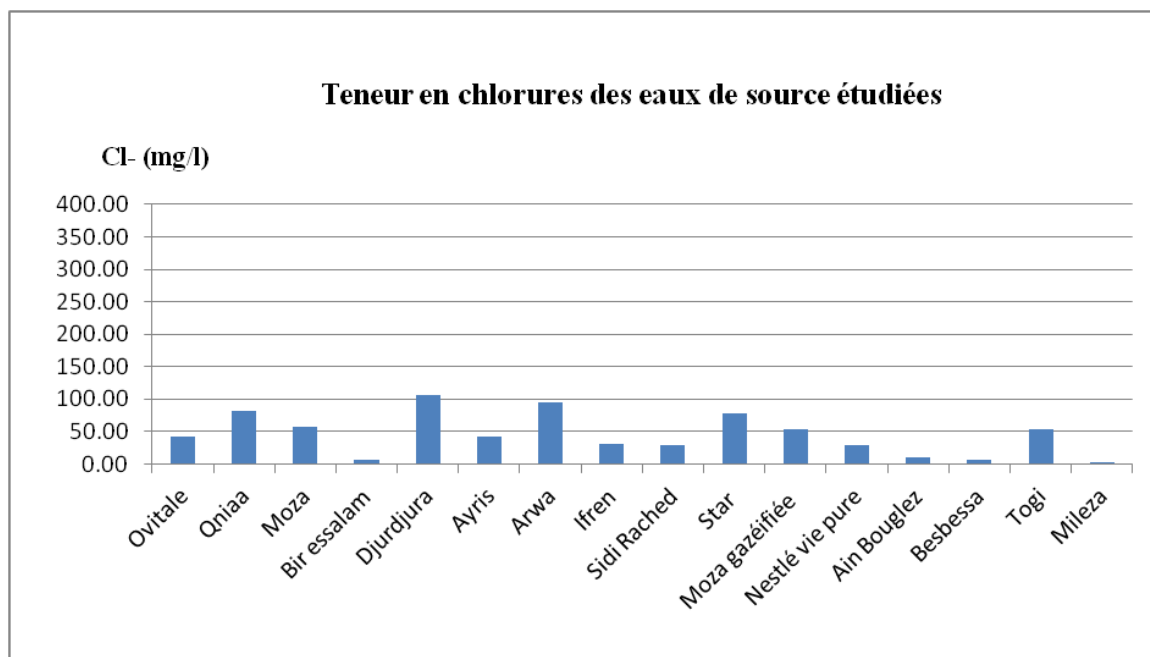


Figure 40 : Les teneurs en chlorures des eaux de source étudiées.

La teneur moyenne des eaux de source étudiées en chlorures est de 45.5 mg/l. Elle est comprise entre 3.55 mg/l (Mileza) et 106.5 mg/l (Djurdjura).

Les résultats de l'étude de la teneur en chlorures des eaux de source montrent que toutes les marques analysées respectent la norme algérienne.

La figure 41 présente les teneurs en chlorures des eaux minérales étudiées.

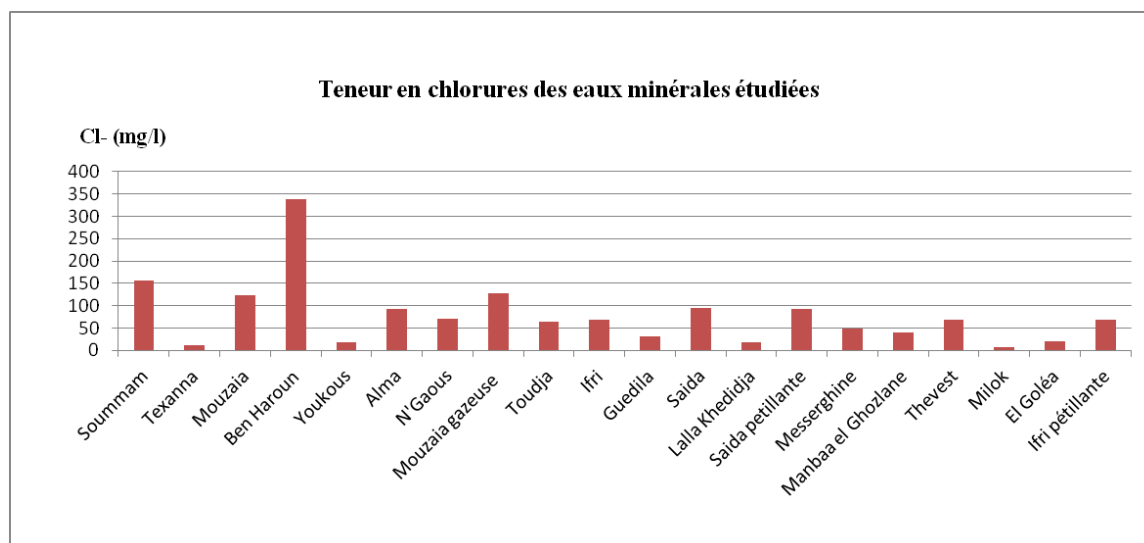


Figure 41 : Les teneurs en chlorures des eaux minérales étudiées.

La teneur moyenne des eaux minérales étudiées en chlorures est de 77.9 mg/l. Elle est comprise entre 7.10mg/l (Milok) et 337.25 mg/l (Ben Haroun).

Il n'y a pas de valeur guide dans la législation algérienne concernant les teneurs en chlorures des eaux minérales. Toute fois, elles respectent la norme de potabilité algérienne des eaux de source [12].

2.4.2. Les Phosphates

Il n'y a pas de valeur guide dans la législation algérienne concernant les teneurs en phosphates des eaux de source et des eaux minérales embouteillées. Certaines marques présentent des teneurs en phosphates à l'état de trace. (Voir le tableau XI).

Les résultats de l'étude montrent que les teneurs en phosphates, des eaux minérales et des eaux de source analysées, sont inférieures à 1 mg/l de PO_4^{3-} , ce qui indique que ces eaux ne sont pas polluées et sont de très bonne qualité.

2.4.3. Les Sulfates

La norme algérienne de potabilité des eaux de source fixe la teneur maximale en sulfates à 400 mg/l [12]. La figure 42 présente les teneurs en sulfates des eaux de source étudiées.

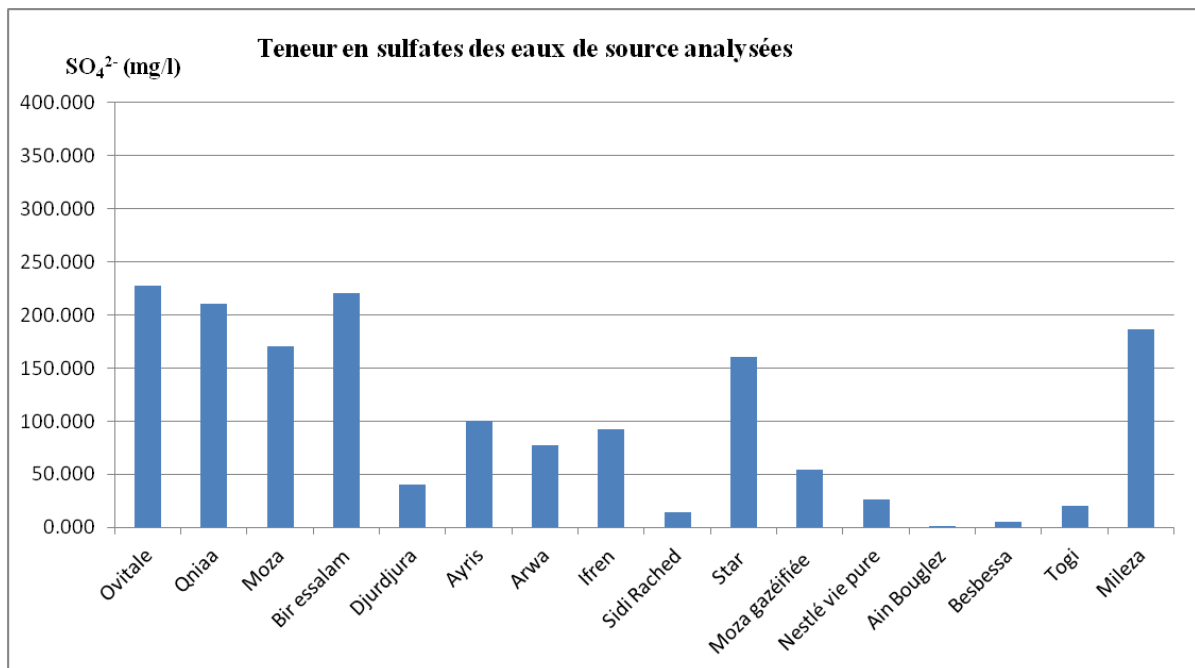


Figure 42 : Les teneurs en sulfates des eaux de source étudiées.

La teneur moyenne des eaux de source étudiées en sulfates est de 100.521 mg/l. Elle est comprise entre 0.83 mg/l (Ain Bouglez) et 227.5 mg/l (Ovitale). Toutes les eaux de source analysées sont conformes à la norme algérienne de potabilité.

La figure 43 présente les teneurs en sulfates des eaux minérales étudiées.

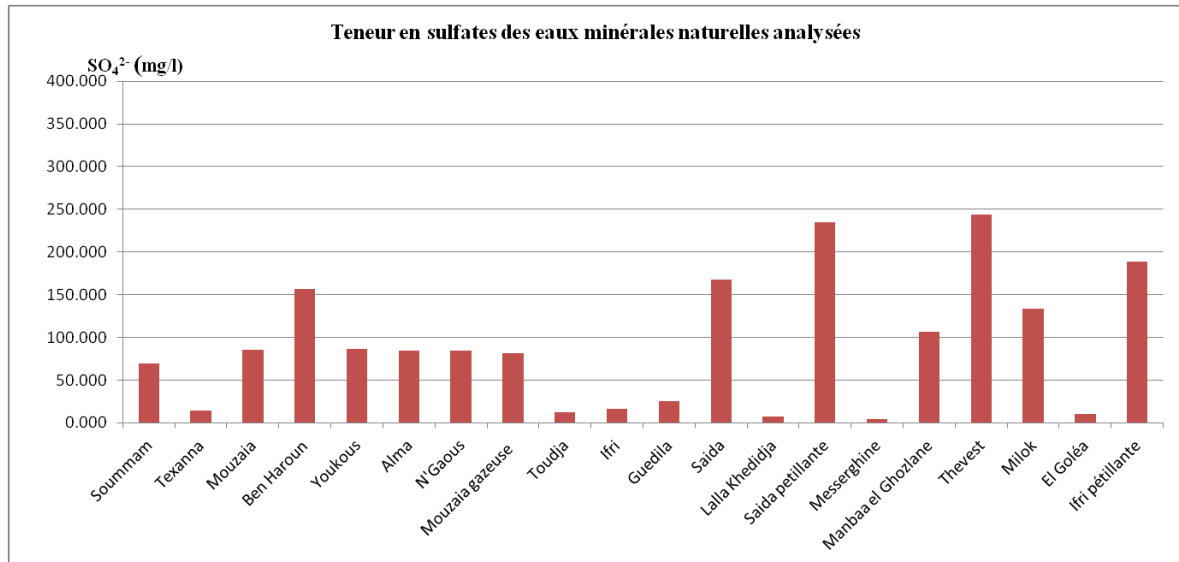


Figure 43 : Les teneurs en sulfates des eaux minérales étudiées.

La teneur moyenne des eaux minérales étudiées en sulfates est de 90.813mg/l. Elle est comprise entre 4.2 mg/l (Messerghine) et 244.2 mg/l (Thevest).

Il n'y a pas de valeur guide fixant les teneurs maximales en sulfates des eaux minérales embouteillées. Néanmoins celles ci sont conformes à la norme algérienne qui fixe la concentration maximale en sulfates des eaux de source sulfates à 400 mg/l.

2.4.4. Les Nitrites

Les résultats de l'étude de la teneur en nitrites des eaux minérales et des eaux de source montrent que toutes les marques analysées ne contiennent pas de nitrites. Elles sont conformes à la norme de potabilité algérienne qui fixe la teneur maximale en nitrites des eaux de source à 0.1 mg/l et des eaux minérales naturelles à 0,02 mg/l [12].

2.4.5. Les Nitrates

La norme de potabilité algérienne fixe la teneur maximale des eaux de source et des eaux minérales naturelles en nitrates à 50 mg/l [12].

La figure 44 présente les teneurs en nitrates des eaux de source étudiées.

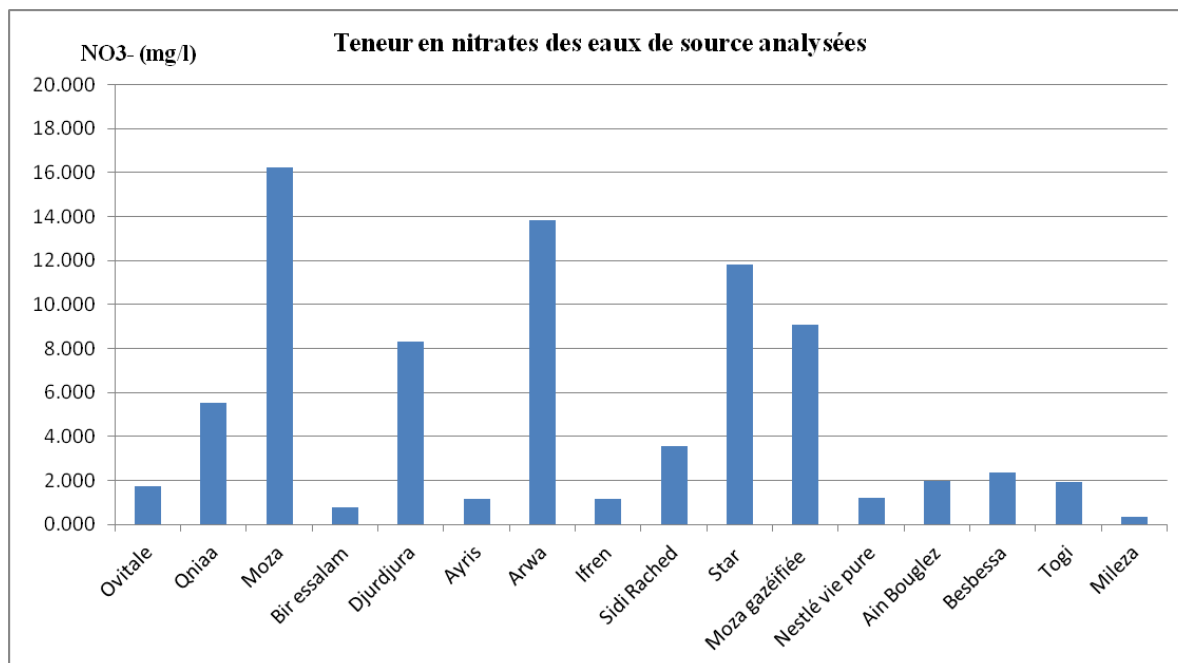


Figure 44 : Les teneurs en nitrates des eaux de source étudiées.

La teneur moyenne des eaux de source étudiées en nitrates est de 5.067 mg/l. Elle est comprise entre 0.3 mg/l (Mileza) et 16.2 mg/l (Moza).

La figure 45 présente les teneurs en nitrates des eaux minérales étudiées.

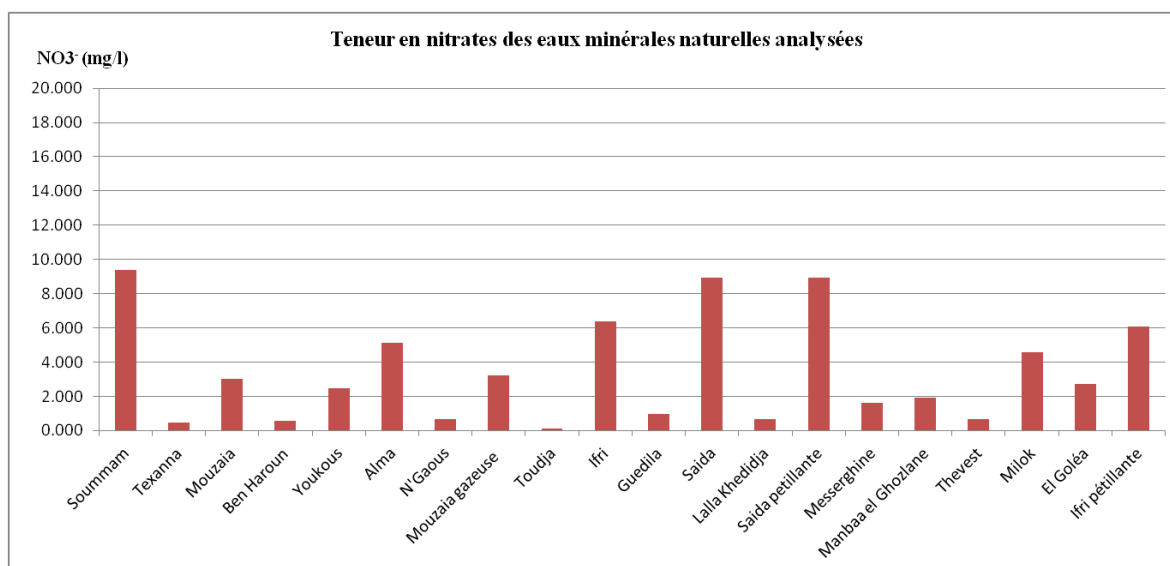


Figure 45 : Les teneurs en nitrates des eaux minérales étudiées.

La teneur moyenne des eaux minérales étudiées en nitrates est de 3.4 mg/l. Elle est comprise entre 0.1 mg/l (Toudja) et 9.4 mg/l (Soummam).

Les teneurs en nitrates des eaux minérales et des eaux de source analysées sont conformes à la norme de potabilité algérienne [12].

2.5. Résultats et discussion de l'analyse des éléments indésirables de l'eau

2.5.1. Les Fluorures

La norme de potabilité algérienne fixe la teneur maximale en fluorures des eaux de source embouteillées à 2 mg/l et des eaux minérales à 5 mg/l [12].

La figure 46 ci-dessous, présente les teneurs en fluorures des eaux de source étudiées.

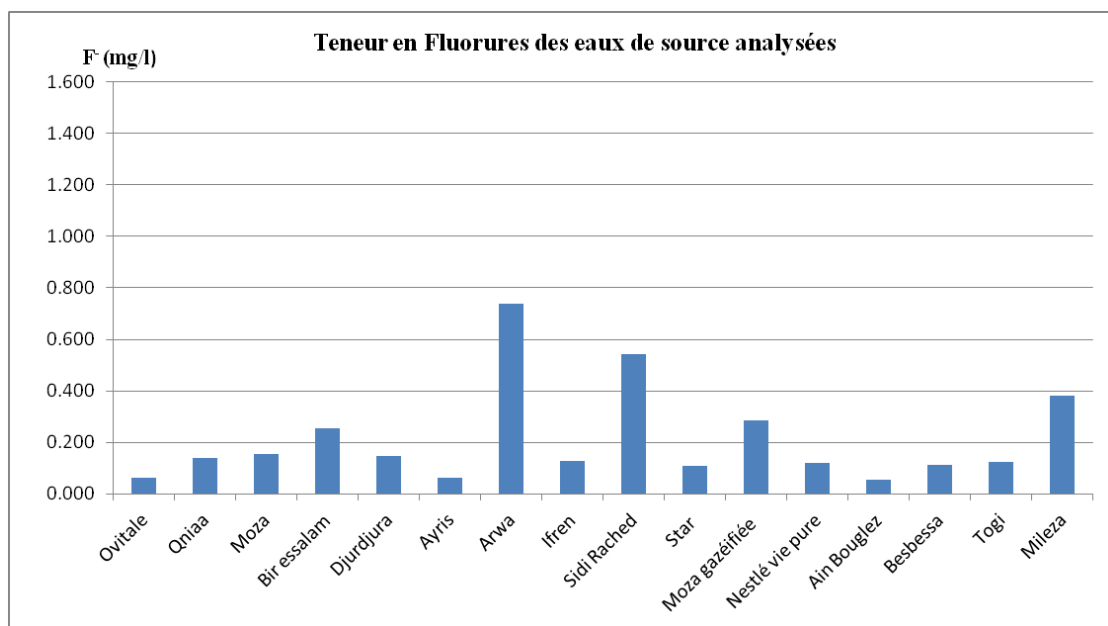


Figure 46 : Teneur en fluorures des eaux de source étudiées.

La teneur moyenne des eaux de source étudiées en fluorures est de 0.214mg/l. Elle est comprise entre 0.054mg/l (Ain Bouglez) et 0.54 mg/l (Sidi Rached).

Les teneurs en fluorures des eaux de source analysées sont conformes à la norme de potabilité algérienne [12].

La figure 47 présente les teneurs en fluorures des eaux minérales étudiées.

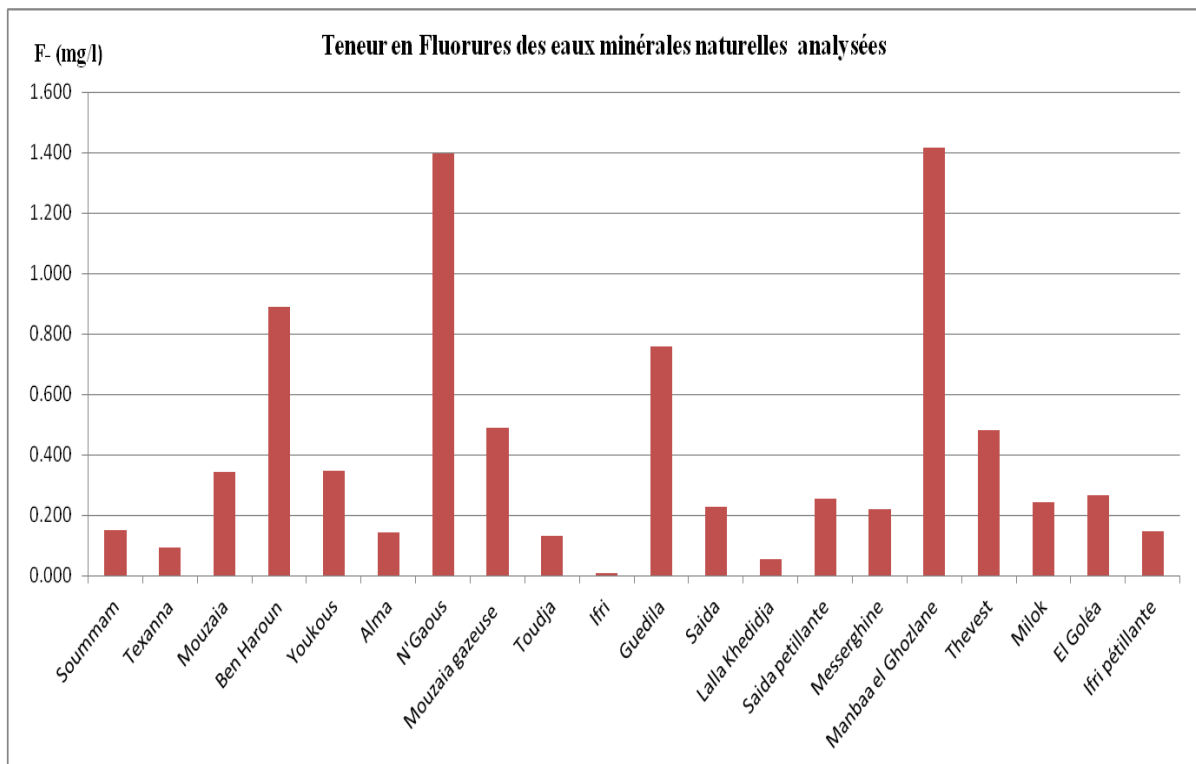


Figure 47 : Teneurs en fluorures des eaux minérales étudiées.

La teneur moyenne des eaux minérales étudiées en fluorures est de 0.4 mg/l. Elle est comprise entre 0.01mg/l (Ifri) et 1.4 mg/l (Manbaa el Ghozlane).

Les teneurs en fluorures des eaux minérales analysées sont conformes à la norme de potabilité algérienne [12].

2.6. Détermination du faciès chimique global et des faciès anionique et cationique des eaux minérales et des eaux de source analysées

➤ Diagramme de Piper des eaux minérales et des eaux de source analysées

La projection des eaux analysées est représentée dans la figure 48.

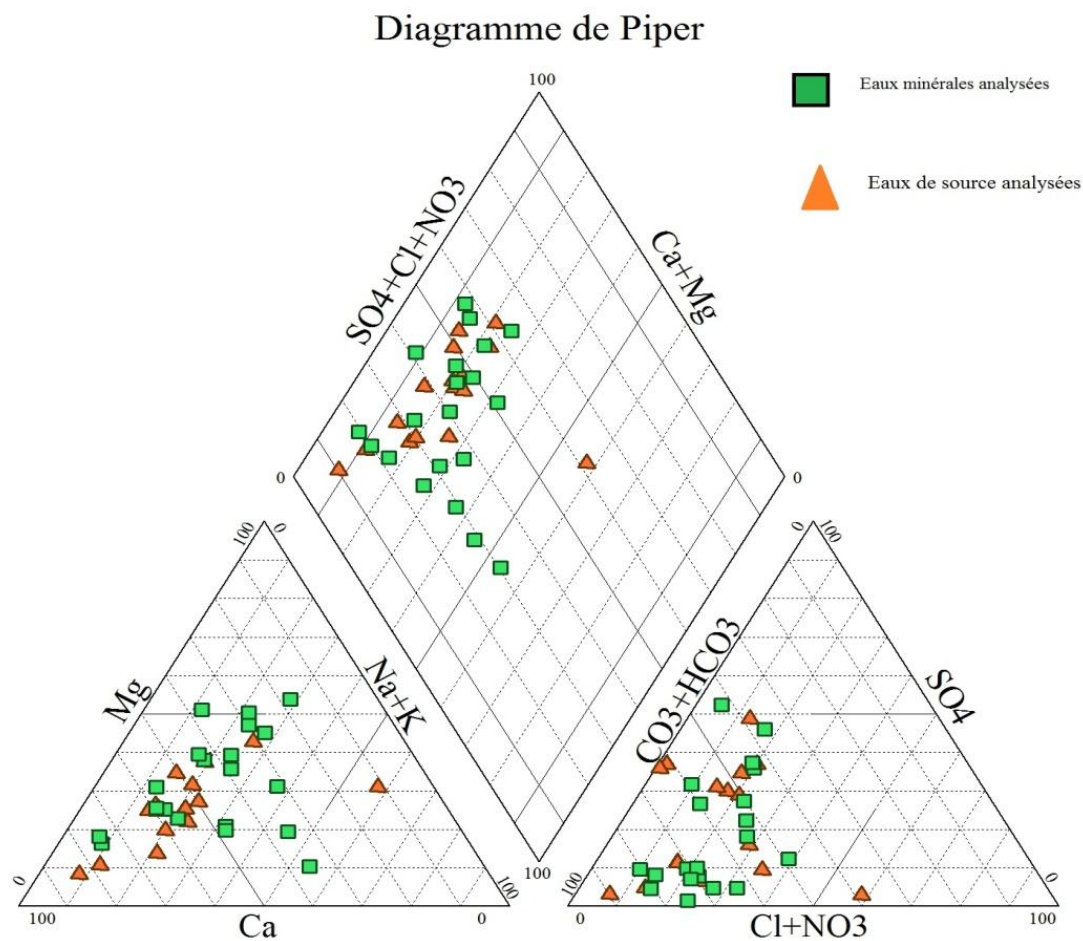


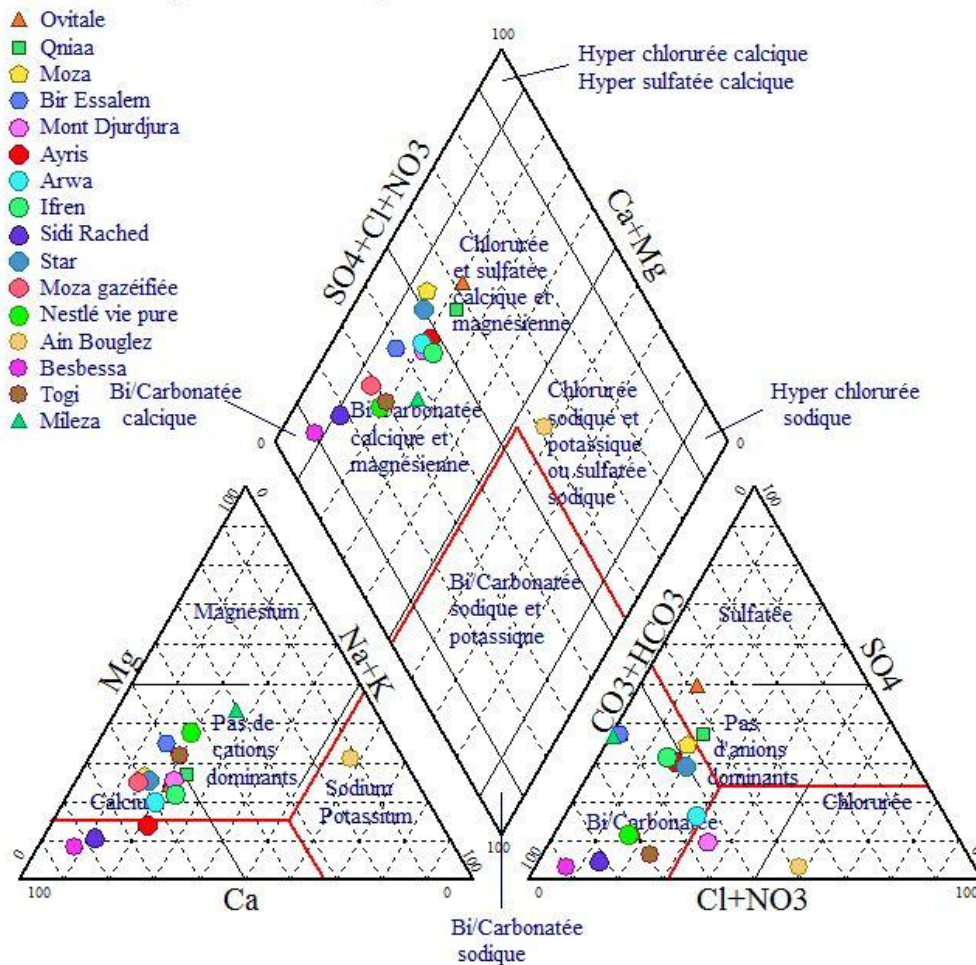
Figure 48 : Diagramme de Piper des eaux minérales et de source analysées.

L'exploitation des données montre que les eaux de source et les eaux minérales embouteillées analysées sont en majorité de faciès bicarbonaté calcique et magnésien.

➤ **Diagramme de Piper des eaux de source analysées**

Le diagramme de Piper des eaux de source analysées est représenté dans la figure 49 ci-dessous.

Diagramme de Piper des eaux de source collectées.

**Figure 49 :** Diagramme de Piper des eaux de source analysées.

A partir du diagramme de piper, nous remarquons que le faciès chimique dominant est le faciès bicarbonaté, calcique et magnésien. On constate aussi qu'une minorité des eaux est de faciès sulfaté calcique et magnésien.

Le diagramme de Piper a permis de classer les eaux de source en quatre groupes distincts.

- Le premier groupe englobe les eaux de source : Moza ; Star ; Ayris ; Arwa ; Ifren ; Mont Djurdjura ; Bir Essalem ; Mileza ; Togi ; Nestlé vie pure ; Moza gazéifiée.

Les eaux de ce premier groupe comprenant 11 marques, sont de faciès chimique global bicarbonaté calcique et magnésien.

- Le deuxième groupe est composé des eaux Qniaa, et Ovitale. Les eaux de ce deuxième groupe sont de faciès chimique global sulfaté calcique et magnésien.

- Le troisième groupe est composé de Ain Bouglez, dont le faciès chimique global est chloruré et sodique.
- Le quatrième groupe est composé de Sidi Rached et de Besbessa, dont le faciès chimique global est bicarbonaté calcique.

➤ **Diagramme de Piper des eaux minérales analysées**

Le diagramme de Piper des eaux minérales analysées est représenté dans la figure 50 ci-dessous.

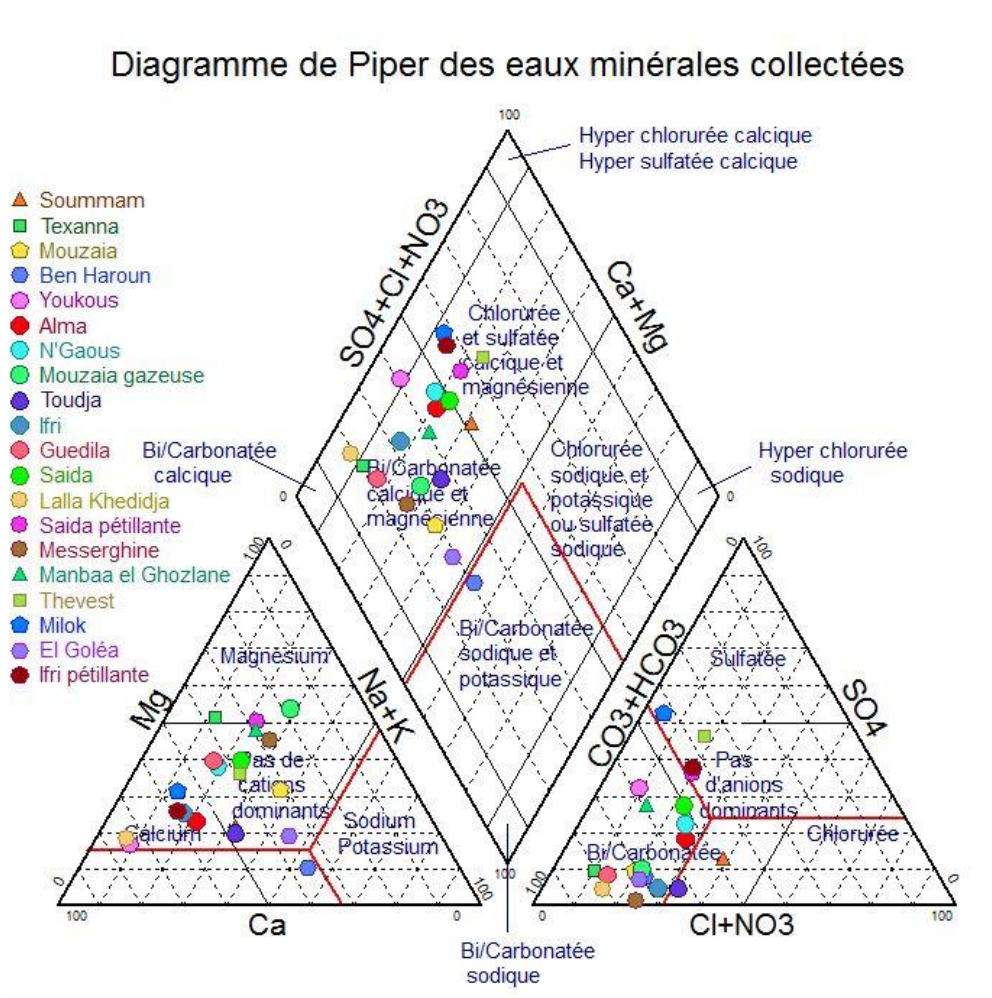


Figure 50 : Diagramme de Piper des eaux minérales analysées.

A partir du diagramme de Piper nous remarquons que le faciès chimique dominant est le calcique magnésien et bicarbonaté. On constate aussi que certaines eaux sont chlorurées et sulfatées.

Le diagramme de Piper a permis de classer les eaux minérales étudiées en trois groupes distincts.

- Le premier groupe englobe les eaux minérales : Soummam ; Saida; N'Gaous ; Alma ; Youkous ; Manbaa El Ghozlane ; Ifri ; Toudja ; Mouzaia gazeuse; El Goléa ; Mouzaia ; Messerghine ; Guedila ; Texanna ; Lalla Khedidja.

Les eaux de ce premier groupe comprenant 15 marques, sont de faciès chimique global bicarbonaté calcique et magnésien.

- Le deuxième groupe est composé des eaux Saida pétillante ; Ifri pétillante ; Milok et Thevest. Les eaux de ce deuxième groupe sont de faciès chimique global sulfaté calcique et magnésien
- Le troisième groupe est composé de Ben Haroun, dont le faciès chimique global est bicarbonaté et sodique.

2.7. Classification des eaux minérales et des eaux de source analysées

2.7.1. Selon la minéralisation globale

On peut classer les eaux minérales et les eaux de source analysées de la manière suivante :

- ✓ Eaux très faiblement minéralisées, dont la minéralisation est inférieure à 50 mg/l :
 - Aucune marque d'eau de source parmi les marques étudiées.
 - Aucune marque d'eau minérale parmi les marques étudiées.
- ✓ Eaux faiblement minéralisées ou oligo-minérales, dont la minéralisation est comprise entre 50 et 500 mg/l :
 - Ayris(490.5 mg/l) ; Ifren (448.3mg/l) ; Nestlé vie pure (387 mg/l) ; Ain Bouglez (109 mg/l) ; Besbessa (281.9 mg/l) . Soit un total de 5 marques d'eaux de source.
 - Texanna (252.5 mg/l) ; Youkous (350.9 mg/l) ; Toudja (465.7 mg/l) ; Lalla Khedidja (249.2 mg/l) ; Milok (339.1 mg/l) ; El Goléa (273 mg/l). Soit un total de 6 marques d'eau minérale.
- ✓ Eaux moyennement minéralisées, dont la minéralisation est comprise entre 500 et 1000 mg/l :
 - Ovitale (519.6 mg/l) ; Qniaa (742.3mg/l) ; Moza (723.5 mg/l); Bir Essalem (717.8 mg/l); Djurdjura (749 mg/l); Arwa (907.5 mg/l) ; Sidi Rached (602.7 mg/l) ; Star (854.7 mg/l) ;

Moza gazéifiée (859 mg/l); Togi (521 mg/l) ; Mileza (743 mg/l). Soit un total de 11 marques d'eaux de source.

- Alma (795 mg/l) ; Ifri (705.5 mg/l) ; Guedila (621.3 mg/l) ; Saida (898.9 mg/l) ; Saida pétillante (897.4 mg/l) ; Messerghine (580.4 mg/l) ; Manbaa el Ghazlane (756.1mg/l) ; Thevest (771 mg/l); ; Ifri pétillante (661.8 mg/l). Soit un total de 9 marques d'eau minérale.

✓ Eaux minéralisées, dont la minéralisation est comprise entre 1 000 et 1 500 mg/l :

- Aucune marque d'eau de source parmi les marques étudiées.
- Soummam (1108.5 mg/l); (Mouzaia gazeuse (1325.5mg/l) ; Mouzaia (1346.4mg/l) ; N'Gaous (1050.2 mg/l). Soit un total de 4 marques d'eau minérale.

✓ Eaux fortement minéralisées, dont la minéralisation est supérieure à 1 500 mg/l :

- Aucune marque d'eau de source parmi les marques étudiées.
- Ben Haroun (3239.8mg/l). Soit une seule marque d'eau minérale.

La figure ci-dessous présente la classification selon la minéralisation globale des eaux de source analysées.

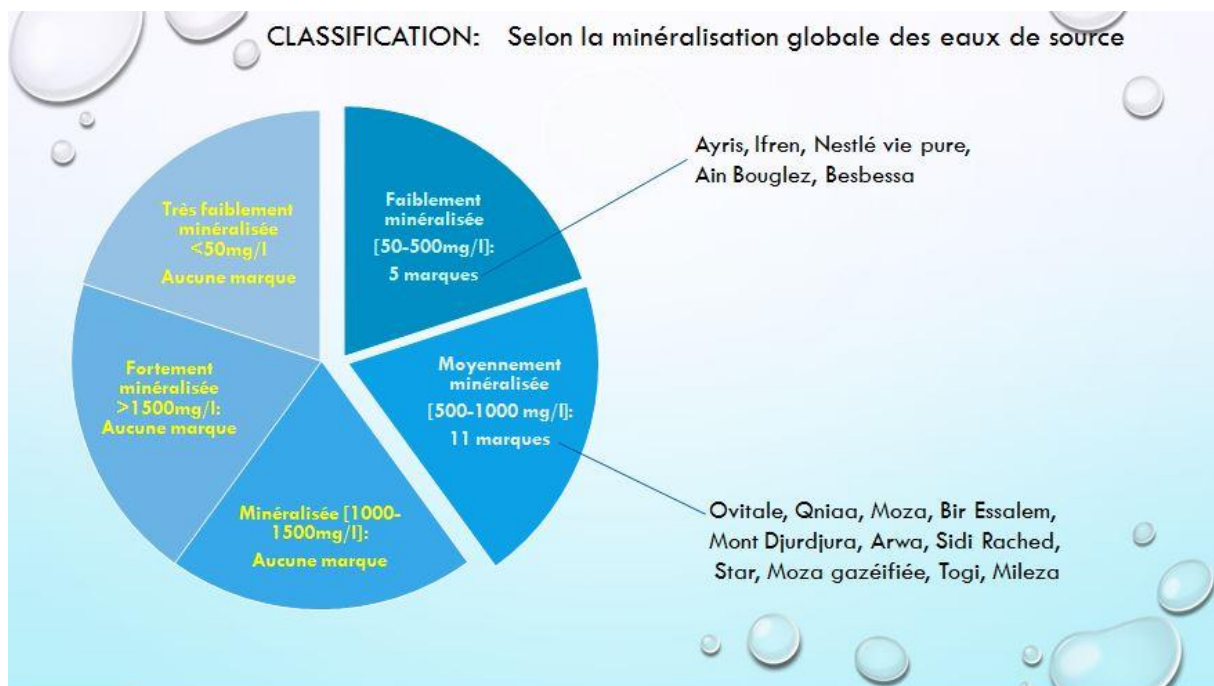


Figure 51: Classification selon la minéralisation globale des eaux de source analysées.

La figure ci-dessous présente la classification selon la minéralisation globale des eaux minérales analysées.

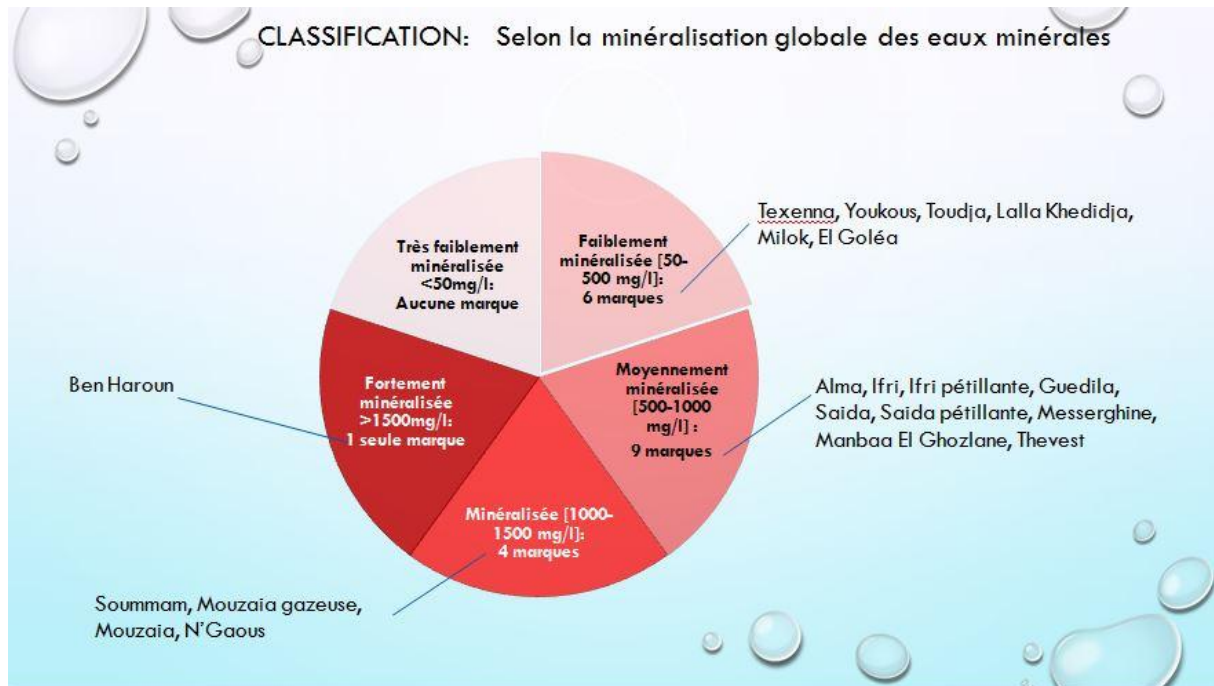


Figure 52 : La classification selon la composition minéralisation globales des eaux minérales analysées.

2.7.2. Selon la composition physicochimique

✓ Les eaux minérales calciques (Ca^{2+})

Parmi les eaux minérales étudiées, seule la marque Ben Haroun est calcique ($\text{Ca}^{2+} > 150$ mg/l). Ces eaux sont déconseillées aux personnes souffrant de calculs rénaux.

✓ Les eaux minérales sodiques (Na^+)

Parmi les eaux minérales étudiées, seule la marque Ben Haroun qui dépasse les 200 mg/l (600 mg/l), elle est dite « riche en sodium ». Ces eaux sont déconseillées chez les patients ayant tendance à faire de la rétention d'eau (formation d'œdèmes), souffrant d'hypertension artérielle, d'insuffisance cardiaque ou rénale.

✓ Les eaux minérales magnésiennes (Mg^{2+})

Parmi les eaux minérales étudiées, 07 marques sont magnésiennes: Mouzaia (76,65 mg/l), Ben Haroun (61,50 mg/l), N'Gaous (62,74 mg/l), Mouzaia gazeuse (116,56 mg/l), Saida (55,58 mg/l), Saida pétillante (74,32 mg/l), Manbaa el Ghozlane (59,93 mg/l).

Ces eaux peuvent être indiquées en cas de stress et de fatigue.

✓ Les eaux minérales bicarbonatées (HCO_3^-)

Mouzaia, Mouzaia gazeuse et Ben Haroun sont des eaux minérales bicarbonatées (HCO_3^- >600 mg/l), peuvent alors être indiquées en cas de digestion difficile.

✓ Les eaux minérales fluorées (F)

Deux marques d'eau minérale sont fluorées, dont la teneur en fluor est supérieure à 1 mg/l : N'Gaous (1.395 mg/l) et Manbaa el Ghozlane (1.415 mg/l). Elles ne conviennent pas aux nourrissons ni aux enfants de moins de 7 ans pour une consommation régulière et ceci doit être mentionnée sur l'étiquette obligatoirement [12].

✓ Les eaux minérales sulfatées (SO_4^{2-})

Ce sont les eaux dont la teneur en sulfates est supérieure à 200 mg/l.

Parmi les eaux minérales analysées 2 marques sont sulfatées. Leurs teneurs en sulfates est supérieure à 200 mg/l: Thevest (244.2 mg/l) ; Saida pétillante (235 mg/l).

✓ Les eaux minérales chlorurées (Cl^-)

Une seule marque d'eau minérale est chlorurée, dont la teneur en Cl^- est supérieure à 200 mg/L : Ben Haroun (337.25 mg/l).

✓ Les eaux minérales pauvres en sodium (Na^+)

Ce sont les eaux dont la teneur en sodium est inférieure à 20 mg/l :

Texanna (13,20 mg/l), Youkous (9 mg/l), Lalla Khedidja (5,30 mg/l) et Milok (11,20 mg/l). Soit un total de 04 marques d'eau minérale.

La figure ci-dessous présente la classification selon la composition physicochimique des eaux minérales analysées.

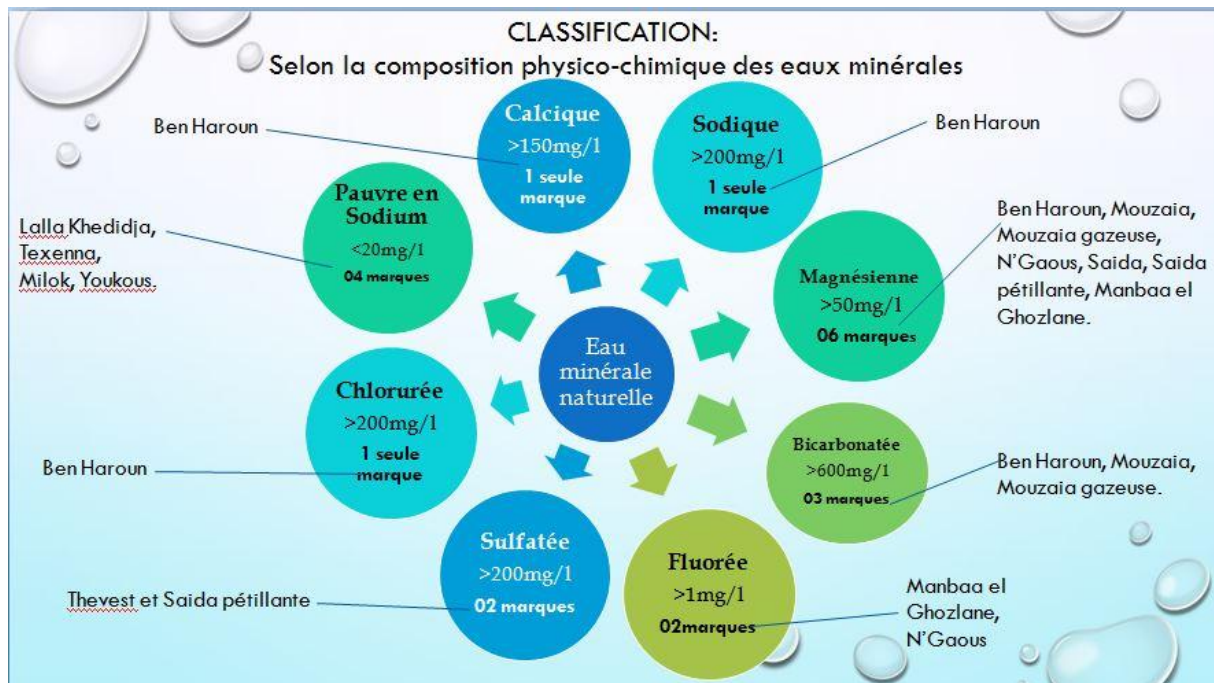


Figure 53: la classification selon la composition physicochimique des eaux minérales analysées.

2.8. Détermination des marques d'eaux minérales et de source adaptées aux différentes populations cibles

2.8.1. L'eau pour les nourrissons et les enfants de moins de 3 ans

Il est conseillé de choisir une eau pauvre en nitrates (< 10 mg/l) et à faible teneur en minéraux (résidu sec < 500 mg/l).

Parmi les eaux de source étudiées on peut conseiller les marques suivantes: Ayris ; Ifren; Nestlé vie pure ; Ain Bouglez ; Besbessa.

Parmi les eaux minérales étudiées on peut conseiller les marques suivantes : Texanna (252.5 mg/l) ; Youkous (350.9 mg/l) ; Toudja (465.7 mg/l) ; Lalla Khedidja (249.2 mg/l) ; Milok (339.1 mg/l) ; El Goléa (273 mg/l).

Notons que 02 marques d'eau minérale sont fluorées, dont la teneur en fluor est supérieure à 1 mg/l : N'Gaous (1.395 mg/l) et Manbaa el Ghozlane (1.415 mg/l). Elles ne conviennent pas aux nourrissons ni aux enfants de moins de 7 ans pour une consommation régulière.

2.8.2. L'eau pour les enfants de plus de 3ans et les adolescents

Il est conseillé de choisir une eau calcique (> 150 mg/l) afin de contribuer à la couverture des besoins journaliers en calcium. Les eaux chlorurées favorisent la croissance.

Parmi les eaux étudiées, seule l'eau minérale Ben Haroun est calcique ($\text{Ca}^{2+} > 150$ mg/l) et chlorurée (337.25 mg/l de Cl).

2.8.3. L'eau pour les personnes stressées et fatiguées

Il est conseillé de boire une eau naturelle magnésienne (> 50 mg/L) afin de contribuer à satisfaire les besoins quotidiens journaliers en magnésium. Ces eaux peuvent être indiquée en cas de stress et de fatigue.

Parmi les eaux minérales étudiées, 07 marques sont magnésiennes: Mouzaia (76,65 mg/l), Ben Haroun (61,50 mg/l), N'Gaous (62,74 mg/l), Mouzaia gazeuse (116,56 mg/l), Saida (55,58 mg/l), Saida pétillante (74,32 mg/l), Manbaa el Ghozlane (59,93 mg/l).

2.8.4. L'eau pour les personnes âgées

Certaines eaux minérales calciques ou magnésiennes permettent de contribuer à la couverture des besoins journaliers recommandés en ces minéraux et ainsi d'aider à diminuer les risques de déminéralisation osseuse liée à l'âge, comme l'ostéoporose.

Parmi les eaux minérales étudiées, seule la marque Ben Haroun est calcique ($\text{Ca}^{2+} > 150$ mg/l).

Parmi les eaux minérales étudiées, 07 marques sont magnésiennes ($\text{Mg}^{2+} > 50$ mg/l) : Mouzaia (76,65 mg/l), Ben Haroun (61,50 mg/l), N'Gaous (62,74 mg/l), Mouzaia gazeuse (116,56 mg/l), Saida (55,58 mg/l), Saida pétillante (74,32 mg/l), Manbaa el Ghozlane (59,93 mg/l).

2.8.5. L'eau pour les femmes enceintes ou allaitantes

Les besoins en calcium et magnésium augmentant à cette période de la vie, les eaux calciques et magnésiennes peuvent être recommandées. Parmi les eaux minérales étudiées, seule la marque Ben Haroun est calcique ($\text{Ca}^{2+} > 150$ mg/l).

Parmi les eaux minérales étudiées, 07 marques sont magnésiennes: Mouzaia (76,65 mg/l), Ben Haroun (61,50 mg/l), N'Gaous (62,74 mg/l), Mouzaia gazeuse (116,56 mg/l), Saida (55,58 mg/l), Saida pétillante (74,32 mg/l), Manbaa el Ghozlane (59,93 mg/l).

2.8.6. L'eau pour les femmes ménopausées

Une eau riche en calcium (plus de 150mg/l) contribue à maintenir la densité osseuse. Parmi les eaux minérales étudiées, seule la marque Ben Haroun est calcique ($\text{Ca}^{2+} > 150 \text{ mg/l}$).

2.8.7. L'eau pour l'hydratation des sportifs

Il convient de préférer une eau minérale naturelle riche en minéraux, bicarbonatée ($\text{HCO}_3^- > 600 \text{ mg/l}$) et sodique ($\text{Na}^+ > 200 \text{ mg/l}$).

Seule la marque Ben Haroun réunit ces trois critères.

Néanmoins on peut conseiller de boire aussi :

- Mouzaia, Mouzaia gazeuse qui sont des eaux minérales bicarbonatées ($\text{HCO}_3^- > 600 \text{ mg/l}$) et minéralisées.

2.8.8. L'eau pour un régime

Il peut être recommandé de consommer des eaux minérales naturelles magnésiennes ($> 50 \text{ mg/l}$) et/ou calciques ($> 150 \text{ mg/l}$) pour contribuer à la bonne couverture de leurs besoins quotidiens.

Parmi les eaux minérales étudiées, seule la marque Ben Haroun est calcique ($\text{Ca}^{2+} > 150 \text{ mg/l}$).

Parmi les eaux minérales étudiées, 07 marques sont magnésiennes: Mouzaia (76,65 mg/l), Ben Haroun (61,50 mg/l), N'Gaous (62,74 mg/l), Mouzaia gazeuse (116,56 mg/l), Saida (55,58 mg/l), Saida pétillante (74,32 mg/l), Manbaa el Ghozlane (59,93 mg/l).

2.8.9. L'eau pour les adultes

Les personnes en bonne santé peuvent généralement consommer de l'eau minérale sans problème, à condition d'en prendre à l'occasion et de ne pas en abuser.

Consommée régulièrement et en grande quantité, l'eau minérale peut avoir des effets nocifs sur les reins et entraîner la formation de calculs [32].

Au quotidien, il faut privilégier une eau très faiblement minéralisée (aucune marque analysée) ou faiblement minéralisée (Minéralisation compris entre 50 et 500 mg/l) [33], comme les eaux de source Ayris (490.5 mg/l) ; Ifren (448.3mg/l) ; Nestlé vie pure (387 mg/l) ; Ain Bouglez (109 mg/l) ; Besbessa (281.9 mg/l) et les eaux minérales Texanna (252.5

mg/l) ; Youkous (350.9 mg/l) ; Toudja (465.7 mg/l) ; Lalla Khedidja (249.2 mg/l) ; Milok (339.1 mg/l) ; El Goléa (273 mg/l). Ces dernières respectent les la réglementation en vigueur qui régit les eaux de source.

Il faut privilégier aussi les eaux dont la dureté est comprise entre 20 et 25 °HF comme les eaux de source Ayris (25,80 °HF), Ifren (22,80 °HF), Nestlé vie pure (24,40 °HF), Besbessa (17,20 °HF) et les eaux minérales Texanna (23 °HF), Youkous (22 °HF), Toudja (20,40 °HF), et Milok (20,60 °HF).

Il convient de réserver à des occasions particulières et ponctuelles (par exemple en cas de carences) les eaux ci-dessous [33]:

- Les eaux moyennement minéralisées (Minéralisation compris entre 500 et 1000 mg/l) comme les eaux de source Ovitale (519.6 mg/l) ; Qniaa (742.3mg/l) ; Moza (723.5 mg/l) ; Bir Essalam (717.8 mg/l) ; Djurdjura (749 mg/l); Arwa (907.5 mg/l) ; Sidi Rached (602.7 mg/l) ; Star (854.7 mg/l) ; Moza gazéifiée (859 mg/l); Togi (521 mg/l) ; Mileza (743 mg/l) et les eaux minérales Alma (795 mg/l) ; Ifri (705.5 mg/l) ; Guedila (621.3 mg/l) ; Saida (898.9 mg/l) ; Saida pétillante (897.4 mg/l) ; Messerghine (580.4 mg/l) ; Manbaa el Ghozlane (756.1mg/l) ; Thevest (771 mg/l); ; Ifri pétillante (661.8 mg/l).

- Les eaux minéralisées, dont la minéralisation est comprise entre 1 000 et 1 500 mg/l comme les eaux minérales Soummam (1108.5 mg/l); Mouzaia gazeuse (1325.5mg/l) ; Mouzaia (1346.4mg/l) ; N'Gaous (1050.2 mg/l).

- Les eaux fortement minéralisées, dont la minéralisation est supérieure à 1 500 mg/l comme l'eau minérale Ben Haroun (3239.8mg/l).

En effet, les eaux minéralisées peuvent constituer un bon complément alimentaire lors de carences en minéraux [23]. Parmi ces eaux on distingue :

- Les eaux riches en calcium (plus de 150 mg de calcium/litre) comme : Ben Haroun
- Les eaux riches en magnésium (plus de 50 mg de magnésium/litre) : Mouzaia (76,65 mg/l), Ben Haroun (61,50 mg/l), N'Gaous (62,74 mg/l), Mouzaia gazeuse (116,56 mg/l), Saida (55,58 mg/l), Saida pétillante (74,32 mg/l), Manbaa el Ghozlane (59,93 mg/l).
- Les eaux riches en sodium (plus de 200 mg de sodium/litre) : Ben Haroun.
- Les eaux riches en bicarbonates : comme les eaux minérales Mouzaia, Mouzaia gazeuse et

Ben Haroun.

- Les eaux riches en fluor comme l'eau minérale : Manbaa El Ghozlane

2.8.10. L'eau pour les personnes atteintes de cancer

Il est conseillé de choisir une eau pauvre en nitrates (< 10 mg/l).

Parmi les les eaux de source étudiées on peut recommander de boire : Ovitale ; Qniaa ; Bir essalam ; Djurdjura ; Ayris ; Ifren ; Sidi Rached ; Moza gazéifiée ; Nestlé vie pure ; Ain Bouglez ; Besbessa ; Togi ; Mileza.

Toutes les marques d'eaux minérales analysées conviennent pour les personnes atteintes de cancer.

2.8.11. L'eau pour les personnes atteintes de calculs rénaux

Il est conseillé de boire chaque jour, 2 litres d'eau [37]. Le type d'eau indiqué dépend de la nature des calculs :

- En cas de calculs d'acide urique, il faut boire des eaux riches en bicarbonates de sodium afin d'alcaliniser les urines [38,39], comme les eaux de source Mileza (418.5 mg/l), Bir Essalem (468.5 mg/l), Moza gazéifiée(429.5 mg/l), et les eaux minérales Mouzaia(793 mg/l), Mouzaia gazeuse(722.3 mg/l), Saida(395.3 mg/l), Saida pétillante (367.2 mg/l).
- Chez les patients atteints de lithiase calcique, l'apport optimal en calcium par jour est de 600 à 800 mg sous forme d'eau de boisson et de produits laitiers [41] :
 - Chez un patient préférant une eau très pauvre en calcium, comme l'eau de source Ain Bouglez (3.2 mg/l) un apport d'au moins 600 à 800 mg de calcium par jour doit être assuré sous forme de produits laitiers, au choix du patient.
 - Chez un patient amateur de fromages, on conseillera la consommation d'une eau pauvre en calcium comme l'eau de source Ain Bouglez (3.2 mg/l) et l'eau minérale El Goléa (24.8 mg/l)
 - Chez un patient n'aimant pas les produits laitiers, on conseillera une eau plus riche en calcium de manière à assurer un apport calcique suffisant comme l'eau minérale Ben Haroun (347 mg/l). Cette eau doit être consommée avec prudence car elle contient des quantités d'ions élevée si bien qu'elle est contre-indiquée chez certains patients. De plus cette eau ne respecte pas les normes de potabilité algérienne des eaux.

➤ La consommation d'une eau de teneur moyenne en calcium, de l'ordre de 100 mg/l, permet un apport de produits laitiers en quantité modérée comme les eaux de source Qniaa (95.4 mg/l), Moza(110.6 mg/l), Mont Djurdjura (96.2 mg/l), Arwa (139.5 mg/l), Sidi Rached (125 mg/l) , Moza gazéifiée (141.9 mg/l) et les eaux minérales Soummam (139.5 mg/l) , Mouzaia (128.3 mg/l) , N'Gaous (117.8 mg/l), Ifri (105 mg/l) , Ifri pétillante (102.6 mg/l).

2.8.12. L'eau pour les personnes atteintes d'hypertension artérielle, d'insuffisance cardiaque ou rénale

Il est conseillé de choisir une eau pauvre en sodium (< 20 mg/l). Parmi les eaux étudiées on peut recommander de boire les eaux de source Ain Bouglez (18 mg/l) et/ou Besbessa (6,90 mg/l) ou bien les eaux minérales Texanna (13,20 mg/l), Youkous (9 mg/l), Lalla Khedidja (5,30 mg/l) et Milok (11,20 mg/l).

Parmi les eaux minérales analysées 2 marques sont sulfatées: Thevest (244.2 mg/l) ; Saida pétillante (235 mg/l). Elles sont diurétiques.

Parmi les eaux minérales étudiées, seule la marque Ben Haroun (600 mg/l de Na⁺), est dite « riche en sodium ». Ce type d'eau est déconseillé chez les patients ayant tendance à faire de la rétention d'eau (formation d'œdèmes), souffrant d'hypertension artérielle, d'insuffisance cardiaque ou rénale.

2.8.13. L'eau pour les personnes souffrantes de digestion difficile

Il est conseillé de choisir une eau bicarbonatées ($\text{HCO}_3^- > 600 \text{ mg/l}$).

Parmi les eaux étudiés seules les eaux minérales Mouzaia, Mouzaia gazeuse et Ben Haroun sont bicarbonatées et peuvent être indiquées en cas de digestion difficile.

2.8.14. L'eau pour les personnes souffrantes de constipation

Les eaux riches en sulfates (>200 mg/L) ont des effets laxatifs. Elles seront donc préconisées lors d'épisodes de constipation.

Parmi les eaux minérales analysées 2 marques sont sulfatées: Thevest (244.2 mg/l) ; Saida pétillante (235 mg/l).

Le magnésium a un effet laxatif à forte dose. Parmi les eaux minérales analysées seule Mouzaia gazeuse (116,56 mg/l), pourrait prétendre avoir un effet laxatif.

2.9. Etat des lieux sur l'étiquetage

Les étiquettes apportent des renseignements importants sur la composition physico-chimique et permettent de choisir l'eau la plus adaptée à l'état physiopathologique des consommateurs. Néanmoins ces informations ne peuvent être interprétées correctement par tous les citoyens. Pour cela il serait judicieux de clarifier les étiquettes et d'y ajouter des recommandations claires. Ce manque de clarté des étiquettes peut induire les consommateurs en erreur.

L'état algérien doit penser à émettre de nouvelles normes d'étiquetage et à multiplier les contrôles physico-chimiques d'autant plus qu'il existe une cinquantaine de marque d'eau embouteillée en Algérie.

L'eau fluorée Manbaa El Ghozlane ne convient pas aux nourrissons ni aux enfants de moins de 7 ans pour une consommation régulière et ceci doit être mentionnée sur l'étiquette obligatoirement conformément à la réglementation en vigueur [12].

Pour les nourrissons et les enfants de moins de 3 ans, il est conseillé de choisir une eau pauvre en nitrates (< 10 mg/l) et de faible teneur en minéraux (résidu sec < 500 mg/l). Seule la marque Saida a inclus cette mention sur son étiquetage.

Recommandations

-Les recommandations européennes préconisent chez l'adulte un apport de 1,75 l/jour d'eau pour les hommes et 1,4 l/jour pour les femmes [28,29].

-Les eaux de source sont naturellement pures et aptes à la consommation humaine. Elles ne subissent aucun traitement de désinfection contrairement à l'eau de robinet qui est obligatoirement traitée afin de la rendre potable.

- Les eaux de source répondent à des normes de potabilité sur le plan bactériologique et physico-chimique. Elles peuvent être consommées quotidiennement sans risque pour la santé du consommateur.

-L'eau minérale, bien que thérapeutique, ne peut être consommée quotidiennement mais en cure thérapeutique, selon l'état physiopathologique des personnes.

-Boire toujours la même eau minérale entraîne un déséquilibre en minéraux dans l'organisme qui seront alors toujours les mêmes. C'est pourquoi il est recommandé de varier les eaux minérales.

-Lire attentivement la composition physico-chimique sur les étiquettes afin de choisir l'eau la plus adaptée à vos besoins.

-Le TDS renseigne sur la minéralisation globale de l'eau. Il est possible de savoir si l'eau est faiblement, moyennement ou fortement minéralisée.

-La teneur des différents minéraux permet de classer les eaux minérales selon l'élément chimique prédominant (eau calcique, magnésienne, chlorurée, sodique, bicarbonatée, sulfatée, pauvre en sodium ou fluorurée).

-Les eaux fluorée (F^- à 1 mg/l) ne convient pas aux nourrissons ni aux enfants de moins de 7 ans pour une consommation régulière et ceci doit être mentionnée sur l'étiquette obligatoirement.

-Pour les nourrissons et les enfants de moins de 3 ans, il est conseillé de choisir une eau pauvre en nitrates (< 10 mg/l) et de faible teneur en minéraux (résidu sec < 500 mg/l).

-Pour préserver la qualité de l'eau embouteillée et en tirer le maximum de bienfaits, on recommande de:

- Acheter des bouteilles que si le sceau est intact. Vérifiez la clarté de l'eau et la présence de débris.
- Conserver l'eau embouteillée dans un endroit propre et frais. Une bouteille d'eau ouverte et conservée rebouchée au réfrigérateur, peut se conserver une semaine. Evitez de boire au goulot de la bouteille sinon le délai de conservation se réduit à 24 h [22].

CONCLUSION

CONCLUSION

L'analyse physico-chimique des eaux minérales et des eaux de sources embouteillées collectées, disponible dans les commerces algériens, montre que toutes les eaux respectent les normes de potabilité sauf l'eau minérale Ben Haroun qui contient des quantités d'ions telles qu'elle devrait être contre-indiquées chez certains patients. Néanmoins l'eau minérale n'est pas soumise aux critères de qualité physico-chimique, contrairement aux eaux de source qui doivent respecter les normes en vigueur.

Les eaux analysées sont en majorité de faciès chimique global bicarbonaté calcique et magnésien. La minéralisation moyenne des eaux de source étudiées est de 603.5 mg/l. Elle est comprise entre 108.9 mg/l et 907.5 mg/l.

La minéralisation moyenne des eaux minérales étudiées est de 834.4 mg/l. Elle est comprise entre 249.20mg/l et 3239.8 mg/l.

L'étude comparative de la minéralisation des eaux analysées montre que certaines eaux de source sont plus minéralisées que certaines eaux minérales.

-La classification des eaux analysées selon leur minéralisation globale à permis de mettre en évidence l'absence d'eau très faiblement minéralisées parmi les marques étudiées.

11 marques d'eaux de source sont moyennement minéralisées et seulement 05 marques sont oligo-minérales (Ayris, Ifren, Nestlé vie pure, Ain Bouglez, Besbessa). Ces dernières sont à privilégier pour une consommation quotidienne.

Parmi les eaux minérales analysées 09 marques sont moyennement minéralisées, 04 marques sont minéralisée, une seule marque est fortement minéralisée, 06 marques sont oligo-minérales (Texanna ; Youkous ; Toudja ; Lalla Khedidja ; Milok ; El Goléa). Ces dernières peuvent être consommées quotidiennement.

-La classification des eaux minérales analysées selon la composition physico-chimique à permis de les classer en eaux minérales calciques, sodique, magnésiennes, bicarbonatées, fluorurées, sulfatées, chlorurées, pauvres en sodium. Soit 08 catégories différentes.

Parmi les marques analysées, seule l'eau minérale Ben Haroun jouit de propriétés diverses et variées. Elle est calcique, sulfatée, magnésienne, bicarbonatée, chlorurée et sodique. C'est aussi la seule eau fortement minéralisée.

La classification des eaux analysées montre la richesse et la diversité des eaux naturelles algériennes disponible sur le marché et, nous a permis de déterminer les marques d'eaux

CONCLUSION

minérales et de source adaptées à 14 catégories différentes de personnes comme les nourrissons, femmes enceintes et allaitantes, sportifs, personnes âgées ou encore les personnes souffrants de calculs urinaires, d'hypertension artérielle et d'œdèmes, afin d'aider les citoyen à mieux choisir leur eau en fonction de leur état physiologique et/ou pathologique.

BIBLIOGRAPHIE

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Eau potable : Normes. Centre National de Recherche Scientifique (CNRS).France. [En ligne]. Disponible sur: <http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/doseau/decouv/potable/potableNor.html>
2. Directive n° 98/83/CE du 03/11/98 relative à la qualité des eaux destinées à la consommation humaine.
3. L'eau en Poitou-Charentes : Qu'est ce qu'une eau potable ? Observatoire Regional de l'Environnement (ORE); 2016.
4. Chambre Syndicale des Eaux Minérales (CSEM). [En ligne]. Disponible sur: <http://eaumineralenaturelle.fr/>
5. Pr Hadjoudj, Dr Saoud, Dr Iboukhouléf S, Dr benchekroun A. Traitement des eaux potables. 2010.
6. Article 2 du Décret exécutif n° 04-196 du 27 Joumada El Oula 1425 correspondant au 15 juillet 2004 relatif à l'exploitation et la protection des eaux minérales naturelles et des eaux de source.
7. Eau minérale, eau de source, eau du robinet, quelles différences ? - Wattwiller - Eau minérale naturelle [En ligne]. Disponible sur: <http://www.wattwiller.com/Eau-minerale-eau-de-source-eau-du>
8. Blavoux B. La formation des gisements d'eau minérale. Ann MINES. 1998;
9. Lignes directrices pour l'évaluation des eaux minérales naturelles au regard de la sécurité sanitaire. Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments (AFSSA); 2008.
10. Beauchamp J. L'eau souterraine, éléments d'hydrogéologie [En ligne]. Disponible sur: <https://www.u-picardie.fr/beauchamp/mst/hydrogeo.htm>
11. Système d'information pour la gestion des eaux souterraines en Bretagne.(SIGES) [En ligne]. Disponible sur: <http://sigesbre.brgm.fr/-Forages-et-points-d-eau-.html>
12. Arrêté interministériel du 22 Dhou El Hidja 1426 correspondant au 22 janvier 2006 fixant les proportions d'éléments contenus dans les eaux minérales naturelles et les eaux de source ainsi que les conditions de leur traitement ou les adjonctions autorisées.
13. Bilan national de la qualité des eaux conditionnées en 2011 (sur la base du contrôle sanitaire assuré par les agences régionales de santé). Direction Générale du Ministère des affaires sociales et de la santé. France.; 2012.
14. Cahiers de Nutrition et de Diététique sur les eaux minérales naturelles [En ligne]. 2015. Disponible sur: <http://www.emn-sante.com/>
15. Nestlé Waters France - Belgique [En ligne]. Disponible sur: <https://www.nestle-waters.fr/>
16. Institut Régional de Biologie et de Médecine du Sport (IRBMS).Nord-Pas-de-Calais. [En ligne]. IRBMS. Disponible sur: <http://www.irbms.com/>

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

17. Dr Vatiez J. Activité antiacide des eaux minérales. *Annales de gastro-entérologie*; 1998.
18. Gouvernement du Canada SC. La nutrition du nourrisson né à terme et en santé : Recommandations de la naissance à six mois - Santé Canada [En ligne]. 2012. Disponible sur: <http://www.hc-sc.gc.ca/fn-an/nutrition/infant-nourisson/recom/index-fra.php>
19. Breton M. Eau minérale et eau pétillante: des vertus santé ? [En ligne]. Disponible sur: <http://www.coupdepouce.com/sante-et-vitalite/nutrition/article/eau-minerale-et-eau-petillante-des-vertus-sante>
20. Choisir son eau minérale pour chaque besoin [En ligne]. <https://www.nestle-waters.fr>. Disponible sur: <https://www.nestle-waters.fr/boire-plus-boire-mieux/a-chacun-son-eau-minerale>
21. Composition minérale unique des eaux Nestlé Waters France [En ligne]. Disponible sur: <https://www.nestle-waters.fr/boire-plus-boire-mieux/mineraux-essentiels-en-bouteille/decouvrir-la-composition-des-eaux-nestle-waters>
22. Quelle eau choisir ? [En ligne]. LeDiet - La Clinique du Poids. Disponible sur: http://www.lediet.fr/site_clinique_article_lediet.html?cas1=dossiers_contenu&cas2=123&cas3=2&cas4=dossiers_categories&cas5=14
23. Besoins et conseils d'hydratation chez les adultes et seniors | Nutripro [En ligne]. Disponible sur: <https://www.nutripro.nestle.fr/dossier/nutrition-generale/hydratation/besoins-et-conseils-adultes-seniors/articles/besoins-et-conseils-dhydratation-chez-les-adultes-0>
24. Martin A. Apports nutritionnels conseillés pour la population française. 3ème édition. 3e éd. Paris: Tec et Doc Lavoisier; 2000.
25. Scientific Opinion on Dietary Reference Values for water. *EFSA J* [En ligne]. 2010; Disponible sur: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.2903/j.efsa.2010.1459/abstract>
26. Oxygizer [En ligne]. Disponible sur: <http://www.oxygizer.com/Spirit-of-the-bottle>
27. Les bienfaits de l'eau minérale sur la santé - Contrex. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.contrex.fr/bienfaits-mineraux>
28. Grandjean A, Campbell S. Hydration: Fluids for Life. A monograph by the North American Branch of the International Life Science Institute. Washington DC: ILSI North America.; 2004.
29. Jequier E, Constant F. Pourquoi faut-il boire de l'eau ? Pour maintenir la balance hydrique. *Cah Nutr Diététique* [En ligne]. 2009;190-7. Disponible sur: <http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsidt=21955288>
30. Ghisolfi J. Institut national de prévention et d'éducation pour la santé (INPES). Le guide nutrition des enfants et ados pour tous les parents. 2015.
31. Lesourd B. Institut national de prévention et d'éducation pour la santé (INPES). Le guide nutrition à partir de 55 ans. 2015.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

32. Gouvernement du Canada. Foire aux questions sur l'eau embouteillée - Santé Canada [En ligne]. 2000. Disponible sur: http://www.hc-sc.gc.ca/fn-an/securit/facts-faits/faqs_bottle_water-eau_embouteillee-fra.php
33. Menthéour E. Comment bien choisir son eau? [En ligne]. Disponible sur: <https://www.fitnext.com/fr/conseils/alimentation/comment-bien-choisir-son-eau/>
34. L'eau potable et le cancer [En ligne]. 2009. Disponible sur: <http://www.guerir.org/>
35. Dr Ragon. Les personnes malades peuvent-elles boire de l'eau en bouteille en toute sécurité? [En ligne]. Association Santé Environnement France (ASEF); 2013. Disponible sur: <http://www.asef-asso.fr/>
36. Qualité requise de l'eau de boisson pour les patients immunodéprimés. [En ligne]. 2015. Disponible sur: www.oncologik.fr
37. Boire de l'eau et protéger ses reins [En ligne]. Fondation du rein. Disponible sur: <http://www.fondation-du-rein.org/comprendre-votre-maladie/boire-de-leau-et-protoger-ses-reins.html>
38. Savatovsky I. Les Calculs urinaires: Comment les soigner, comment les prévenir -. 2012.
39. Interview du Dr Ilya Savatovsky, urologue. Récidive de calculs urinaires: quelle eau boire pour éviter la récidive? [En ligne]. Disponible sur: <http://www.onmeda.fr/dossiers-sante/recidive-de-calculs-urinaires-quelle-eau-boire-607-6.html>
40. Calculs urinaires, la solution est dans l'assiette. Association Française d'Urologie (AFU). décembre 2015;
41. Hubert J, Hubert C, Jungers P, Daudon M, Hartemann P. Eaux de boisson et lithiase calcique urinaire idiopathique. Quelles eaux de boisson et quelle cure de diurèse? 2002.
42. Eau minérale - Eau de source - Réglementation [En ligne]. Disponible sur: <http://www.viticulture-oenologie-formation.fr/vitioenofomlycee/boissontcbvs20052006/eau/reglementation-eau.htm>
43. questions eau embouteillée. [En ligne]. Disponible sur: <http://eausecours.org>
44. Direction des aliments de Santé Canada [En ligne]. Disponible sur: www.hc-sc.gc.ca
45. Rodier J, Legube B, Merlet N, Brunet R. L'analyse de l'eau - 9e éd. : Eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer. Dunod; 2009.
46. Queneau P, Hubert J. Place des eaux minérales dans l'alimentation. 2009 [cité 27 avr 2017];p.178. Disponible sur: <http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsidt=21984359>
47. Sfihi SH. Suivi de l'évolution physico-chimique et bactériologique de l'eau de consommation de la région de Betrouna de la Wilaya de Tizi-Ouzou [Mémoire]. Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou; 2013.
48. Institut national de santé publique Québec (INSPQ). Eau potable : turbidité [En ligne]. 2013. Disponible sur: <https://www.inspq.qc.ca/eau-potable/turbidite>

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

49. Syndicat Intercommunal d’Alimentation en Eau Potable de la Faye. Petites définitions pour mieux comprendre les mots de l’eau : pH [En ligne]. 2017. Disponible sur: siaep.faye.free.fr/services/diceau/diceaup.html
50. Office International de l’Eau (OIEau).Analyse physico-chimique : Conductivité électrique [En ligne]. Disponible sur: http://www.oieau.org/ReFEA/fiches/AnalyseEau/Physico_chimie_PresGen.htm
51. Tardat-Henry M, Beaudry J-P. Chimie des eaux. Sainte-Foy: Griffon d’Argile; 1992. 537 p.
52. Pironin B. L’eau et le CO2 [En ligne]. Disponible sur: <http://bernard.pironin.pagesperso-orange.fr/aquatech/eau-co2.htm>
53. Ollagnier S. Contrôle de surveillance de la qualité des masses d’eau souterraines de la Martinique relatif aux prescriptions de la Directive Cadre européenne sur l’eau : campagne de saison sèche 2007. 2007 Décembre.
54. Syndicat Intercommunal d’Alimentation en Eau Potable de la Faye. NORMES DE L’EAU [En ligne]. 2017. Disponible sur: http://siaep.faye.free.fr/qualite_de_leau/normes_de_leau/normes_de_leau.html
55. Barbier J, Chéry L. Le phosphore dans les eaux souterraines en France. 2000.
56. Labanowski J. Matière organique naturelle et anthropique : vers une meilleure compréhension de sa réactivité et de sa caractérisation. Limoges; 2004.
57. Bardon E, Novince n. Concentration en matières azotées (hors nitrate) dans les cours d’eau : méthode et analyse. Observatoire de l’eau en Bretagne; 2016.
58. Commission de Protection des Eaux de Franche-Comté (CPE-FC). [En ligne]. 2004. Disponible sur: <http://www.cpepesc.org/La-CPE-Franche-Comte-dans-le.html>
59. Recommandations pour la qualité de l’eau potable au Canada : document technique – les sulfates. Santé Canada; 1994.
60. Détermination des sulfates dans l’eau : méthode colorimétrique automatisée à la calmagite. Centre d’expertise en analyse environnementale du Québec; 2006.
61. Hazzab A. Eaux minérales naturelles et eaux de sources en Algérie. Comptes Rendus Geosci. janv 2011;p.20-31.
62. Dosage des fluorures » Analytical Toxicology [En ligne]. Analytical Toxicology. 2015. Disponible sur: <https://www.analyticaltoxicology.com/dosage-des-fluorures/>
63. Excel [En ligne]. Disponible sur: <https://products.office.com/fr/excel>
64. Dominique V. Etudes de données physico-chimiques des eaux du secteur Nord du Piton des Neiges. Ile de La Réunion. Office de l’eau – Réunion; 2009.
65. Simler R. Manuel pour DIAGRAMMES. 2012.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

66. Évaluation de l'état chimique des masses d'eau souterraine 2000-2007 France.
67. Sekiou F, Kellil A. Caractérisation et classification empirique, Graphique et statistique multivariable d'eaux de Source embouteillées de l'algerie. Département d'Hydraulique, Université d'Oum EL Bouaghi.Faculté des Sciences et des Sciences Appliquées, Université de Blida.; 2014.

ANNEXES

Annexe I : Traitements appliqués en vue de la potabilité de l'eau du robinet

Les principaux traitements sont : le dégrillage, la coagulation, la floculation par addition de sels de fer ou d'aluminium, la décantation, filtration sur sable, ozonation et filtration sur charbon actif. La dernière étape de traitement est en général une chloration, indispensable pour protéger l'eau du robinet et pour éviter le développement d'épidémies majeures.

La potabilisation permet la consommation de l'eau du robinet à la plupart des personnes. Toutefois, elle peut laisser des traces de résidus de désinfection ou d'autres molécules, contrairement aux eaux en bouteille. L'idéal serait de pouvoir traiter l'eau sans avoir recours à des réactifs chimiques : c'est ce que permettent en partie aujourd'hui les procédés de filtration sur membranes tel que l'ultrafiltration et la nanofiltration. Le seul inconvénient de ces nouveaux traitements est leur coût élevé.

Traitement appliqués à l'eau potable

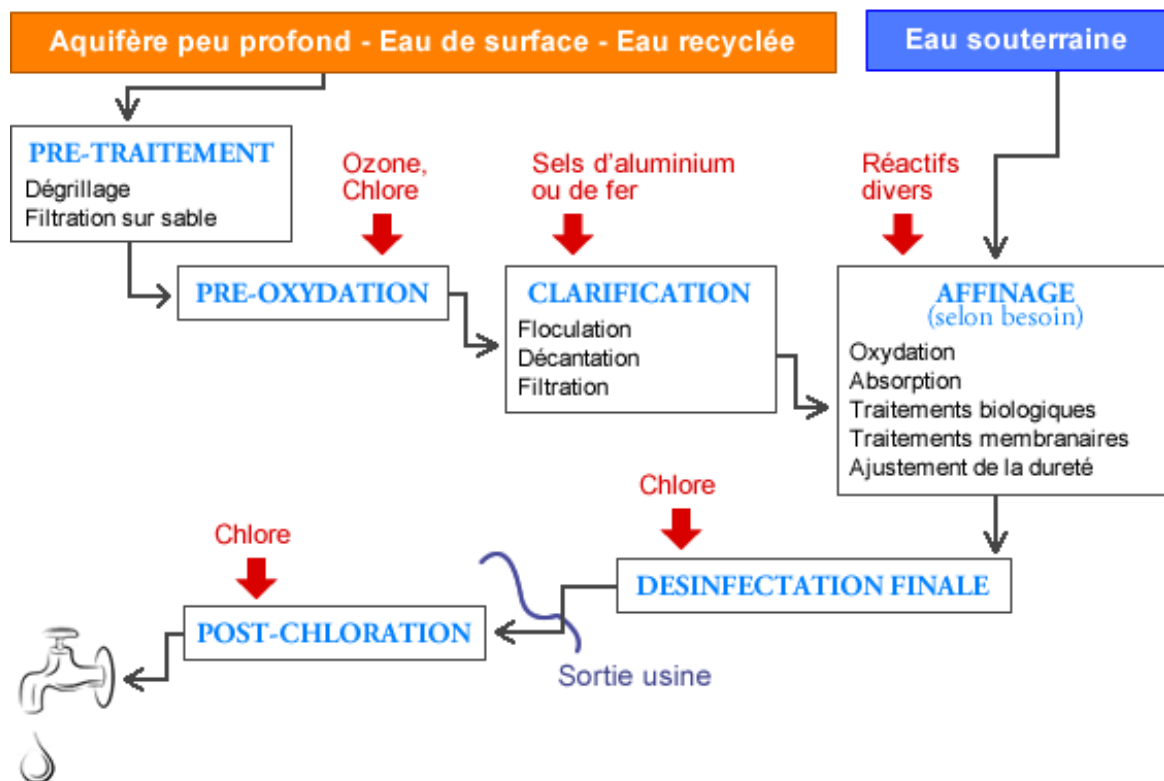


Schéma 1: Les différents traitements appliqués à l'eau potable.

Annexe II : Définitions relatives à l'origine hydrogéologique des sources d'eau souterraine et à leur conditions d'exploitation à l'étranger

1. Définition d'une aquifère :

L'eau souterraine exploitée par les hydrogéologues est contenue et se déplace selon les gradients d'élévation et de pression dans les formations géologiques poreuses et perméables (à des degrés divers). L'ensemble formation-eau souterraine est appelé aquifère. D'après le dictionnaire de Castany-Margat, on appelle *aquifère* un corps de roche perméable comportant une zone saturée - ensemble du milieu solide et de l'eau contenue - suffisamment conductrice d'eau souterraine pour permettre l'écoulement significatif d'une nappe souterraine et le captage de quantités d'eau appréciables.

Dans les aquifères de grande taille, l'eau peut provenir de périodes où le climat était différent et peut donc servir d'indicateur de paléoclimats.

2. Définition d'une nappe d'eau souterraine :

La nappe d'eau souterraine est constituée par l'ensemble des eaux comprises dans la zone saturée d'un aquifère dont toutes les parties sont en continuité hydraulique. Le mouvement de l'eau est fonction des gradients d'élévation et de pression. Ce type de réservoir peut être exploité et peut approvisionner les réseaux de distribution d'eau potable.

2.1. Différents types de nappe d'eau souterraine : On distingue plusieurs types de nappes :

La nappe phréatique : est l'aquifère souterrain que l'on rencontre à faible profondeur et qui alimente traditionnellement les puits et les sources en eau potable. C'est la nappe la plus exposée à la pollution en provenance de la surface.

La nappe captive : une nappe est dite captive si elle est surmontée par une formation peu perméable. L'eau est comprimée à une pression supérieure à la pression atmosphérique. A la suite d'un forage au travers du toit imperméable, l'eau remonte et peut jaillir: la nappe est artésienne.

Elles sont mieux protégées de la pollution.

Une nappe alluviale, Une nappe alluviale est la nappe d'accompagnement d'un cours d'eau, avec lequel elle communique.

Une nappe karstique c'est l'eau circulant dans des systèmes complexes particuliers associant une zone superficielle plus ou moins fissurée et insaturée (en eau) servant de zone d'infiltration, et une zone inférieure fissurée, présentant également des conduits, grottes etc.

3. Conditions de captage des eaux souterraines

- 3.1 Selon la législation canadienne (D. 696-2002) :

_ Tout aménagement d'ouvrage de captage est subordonné à l'autorisation de la municipalité locale ou régionale sur le territoire de laquelle l'ouvrage sera aménagé. La demande doit notamment indiquer la localisation de l'ouvrage et sa capacité.

_ Les travaux d'aménagement ou de modification d'un ouvrage de captage doivent être réalisés de manière à empêcher toute contamination des eaux souterraines. L'ouvrage de captage doit être constitué de matériaux appropriés à l'alimentation en eau potable.

Il est interdit d'aménager un ouvrage de captage à moins de:

- 30 m de tout système non étanche de traitement d'eaux usées. Toutefois, lorsque cette distance ne peut être respectée, il est permis d'aménager, à une distance d'au moins 15 m d'un système non étanche de traitement d'eaux usées, un puits tubulaire conforme aux normes prévues par la réglementation en vigueur;
- 15 m d'un système étanche de traitement d'eaux usées.

_ Il est interdit d'aménager un ouvrage de captage d'eau souterraine à des fins de consommation humaine à moins de 30 m d'une parcelle en culture.

_ Celui qui aménage un puits de surface doit observer les normes suivantes:

- ✓ Les matériaux utilisés doivent être neufs;
- ✓ L'espace intérieur du puits doit être supérieur à 60 cm et la profondeur doit être d'au plus 9 m à partir de la surface du sol;
- ✓ Le tubage doit être fait soit de cylindres de béton revêtus de la marque de conformité NQ 2622-126, soit de maçonnerie de pierres ou de béton poreux ou de plastique;
- ✓ Les joints de raccordement doivent être étanches;
- ✓ Le puits doit excéder d'au moins 30 cm la surface du sol;
- ✓ L'espace annulaire doit être rempli selon les règles de l'art au moyen d'un matériau qui assure, sur un espace d'au moins 5 cm, un scellement étanche et durable, tel un mélange ciment-bentonite, jusqu'à 1 m de profondeur à partir de la surface du sol.

_ Celui qui effectue les raccordements souterrains au tubage d'un ouvrage de captage doit s'assurer que ces raccordements sont étanches.

_ Celui qui aménage un ouvrage de captage doit le couvrir, de façon sécuritaire, de manière à empêcher l'infiltration de contaminants.

_ Il appartient au propriétaire de l'ouvrage de veiller à ce que l'intégrité du couvert soit constamment maintenue. Il doit veiller à ce que la finition du sol, dans un rayon de 1 m d'un ouvrage de captage, soit réalisée de façon à éviter la présence d'eau stagnante et à empêcher l'infiltration d'eau dans le sol et à ce que l'intégrité de cette finition soit constamment maintenue.

_ Le propriétaire d'un ouvrage de captage doit, entre le deuxième et le trentième jour suivant la mise en marche de l'équipement de pompage, faire prélever des échantillons d'eau souterraine et les faire analyser par un laboratoire accrédité par le ministre en vertu de l'article 118.6 de la Loi sur la qualité de l'environnement (chapitre Q-2)[...] et doit s'assurer que l'eau destinée à la consommation humaine respecte les dispositions de l'article 3 du Règlement sur la qualité de l'eau potable (chapitre Q-2, r. 40).

_ Le propriétaire d'un ouvrage de captage en condition artésienne doit le faire aménager et l'entretenir de façon à empêcher tout jaillissement.

_ Les propriétaires de lieux de captage d'eau de source, d'eau minérale ou d'eau souterraine alimentant plus de 20 personnes doivent prendre les mesures nécessaires pour conserver la qualité de l'eau souterraine, notamment par la délimitation d'une aire de protection immédiate établie dans un rayon d'au moins 30 m de l'ouvrage de captage. Cette aire peut présenter une superficie moindre si une étude hydrogéologique [...] démontre la présence d'une barrière naturelle de protection, par exemple la présence d'une couche d'argile.

_ L'épandage de déjections animales, de compost de ferme, d'engrais minéraux et de matières résiduelles fertilisantes est interdit à moins de 30 m de tout ouvrage de captage d'eau souterraine destinée à la consommation humaine. Cette distance est toutefois portée à 100 m lorsqu'il s'agit de boues provenant d'ouvrages municipaux d'assainissement des eaux usées ou de tout autre système de traitement ou d'accumulation d'eaux usées sanitaires, ou de matières contenant de telles boues, et que ces boues ou matières ne sont pas certifiées conformes à la norme CAN/BNQ 0413-200 ou CAN/BNQ 0413-400.

_ L'épandage de déjections animales, de compost de ferme, de matières résiduelles fertilisantes, sauf les matières résiduelles fertilisantes certifiées conformes à la norme CAN/BNQ 0413-200, CAN/BNQ 0413-400 ou BNQ 0419-090 en périphérie des zones d'interdiction prescrites par le présent article doit être réalisé de manière à en prévenir le ruissellement dans ces mêmes zones.

Annexe III : Quelques marques d'eau embouteillées dans le monde :

- **1. Les marques américaines d'eaux minérales :** Il existe plus de 115 marques d'eau minérale sur le marché américain, dont :

1. Alaska Glacier Cap

L'eau Alaska Glacier Cap est née dans les montagnes de Chugach en Alaska il y a plus de 23.000 ans. Le glacier Eklutna a conservé la plus pure des eaux depuis des siècles.

2. Earth2O

Earth2O provient de la légendaire source d'Opale. Elle a été une source pour les Amérindiens dans le centre de l'Oregon pendant des siècles. Son aquifère est plus de 1600 pieds au-dessous du banc vallée et s'écoule à environ 108,000 gallons par minute à 53,8 ° F sans aucune variation saisonnière.

3. Hawaiian Springs Water

Hawaiian Springs Water s'infiltre à travers le filtre idéal de la nature à travers 13.000 pieds de lave poreuse.

4. HiOsilver Oxygen Water

HiOsilver Oxygen Water d'eau est riche en magnésium, Puis il est ajouté de l'oxygène pur, soit environ 60 mg / l, soit 10 fois le montant dans l'eau typique.

5. Ice Mountain

L'eau Ice Mountain Spring provient de sources protégées du Nord-Est américain et du Midwest, à Jefferson County, au Tennessee. Ice Mountain a été officiellement reconnue comme la meilleure eau de dégustation dans le monde en 1997 par la Berkeley Springs International Dégustation water.

6. Kona Deep

Kona Deep est une eau captée dans l'État de Hawaï et puisée dans l'océan à 900 mètres au-dessous de la surface de la mer.

7. Saratoga Springs

A Saratoga Springs, au 14ème siècle les Indiens Iroquois ont découvert dans les contreforts sud des montagnes Adirondack de New York la valeur thérapeutique de la source Saratoga Springs. En 1872, la première usine d'embouteillage de Saratoga Springs a été ouverte.

8. Summit Spring

Summit Spring est un phénomène géologique extrêmement rare. La source a un écoulement libre situé sur le plus haut terrain du comté de Cumberland, dans le Maine, sur une fracture du substratum rocheux.

9. Walnut Grove

La source Walnut Grove s'est formée il y a des millénaires. Le terrain portant la source est formé par l'écoulement d'un ancien fleuve que coupe une vallée. Géologues et professionnels ont théorisé que la formation de la source est d'environ 15.000 ans, et produit 1,000 gallons par minute en profondeur sous la surface de la terre.

10. Zephyrhills

L'eau de source naturelle Zephyrhills est située en Floride près de la ville de Zephyrhills. Il provient de la Haute Pasco, une formation géologique profonde en sous-sol et est entouré par 500 acres de terre écologiquement préservée.

➤ **2. Les marques canadiennes d'eaux minérales** : Il en existe plusieurs parmi les quelle on distingue :

- 10 Thousand BC

L'eau 10 Thousand BC, enfermée dans une voûte de glace de plus de 10.000 ans, provient d'un glacier. La source possède un débit moyen journalier de 365 millions de gallons et se situe dans les glaciers côtiers vierges en Colombie-Britannique, au Canada à environ 200 miles au nord de Vancouver.

- 1 litre

Avec 1 litre au Canada et 1 Litre aux Usa, la société s'est procuré la plus belle des sources d'eau artésienne dans le monde. 1 Litre Canada est le premier produit de l'entreprise qui vient de la région d'Oak Ridges. 1 Litre Etats-Unis, plus récent, provient de la forêt domaniale Northumberland. 1 litre est distribué dans plus de 30 pays.

- Aquadeco

L'aquifère qui fournit l'eau Aquadeco a été créé au cours du dernier âge glaciaire il y a 18.000 ans. Cette source bénéficie du label "Spring Water", en vertu de nouveaux règlements stricts du gouvernement canadien.

- Cedar Springs

Chaque goutte d'eau Cedar Springs provient des sources naturelles profondes de Oro Montagne, à l'est du centre de villégiature Horseshoe Valley. L'eau Cedar Springs circule à travers le sable naturel et des formations rocheuses qui purifient et filtrent l'eau sans produits chimiques.

- Gize

Gize est une eau minérale filtrée dont la source est située dans la partie la plus orientale du Canada à Spa Springs, en Nouvelle-Écosse. L'eau est remplie dans des bouteilles spécialement conçues, après avoir été raffinée à la perfection en utilisant des filtres d'or. L'eau minérale d'or-filtrée est l'une des 30 eaux minérales provenant de l'extérieur d'Allemagne et la seule d'Amérique du Nord à avoir été officiellement certifiées comme une eau minérale naturelle.

- Iceberg Water

Iceberg Water est issue d'icebergs âgée de 12.000 ans. Iceberg Water est la plus pure et la plus fraîche eau de la planète. Elle est produite et mise en bouteille par Canada Original Iceberg

Water Corporation à St John's Newfoundland sous des normes très strictes pour préserver son absolue pureté.

- Naya

L'eau Naya est originaire du désert, au pied des montagnes, sous des couches et des couches de filtres naturels de limon, de sable et de roches qui protègent l'eau de source de bactéries nocives et polluantes. L'eau Naya vient de deux sources canadiennes: Mirabel et Saint-André-d'Argenteuil, Québec.

- O

L'eau de source O provient de la source de Saint-Elie situé dans la région de la Mauricie dans la province de Québec. O eau est filtrée naturellement pendant plus de 60 ans dans les roches cristallines dures, ce qui lui donne un grand niveau de pureté.

- Saint-Élie

Le source Saint-Elie-de-Caxton est située au bord d'un très vaste territoire couvrant plus d'un million de kilomètres carrés au Nord du Québec. L'eau Saint-Élie est filtrée naturellement pendant 60 ans au milieu de roches de plus de 600 millions d'années. L'eau Saint-Élie a une température de 41 ° F. et est mise en bouteille à la source.

➤ **3. Les marques suisses d'eaux minérales :** parmi lesquelles on peut citer :

- Henniez

L'eau minérale naturelle Henniez jaillit à mi-chemin entre Lausanne et Berne, au cœur de la forêt d'Henniez située dans la Broye vaudoise.

- SwissMountain

L'eau Swiss Mountain jaillit, depuis plus de 500 ans d'une source artésienne dans la montagne de Suisse centrale. Elle est disponible dans une élégante bouteille bleue.

- Valser

L'eau minérale naturelle Valser jaillit de la source Saint-Paul, dans les montagnes rocheuses des Grisons à 1815 mètres d'altitude, au-dessus de la vallée de Vals.

➤ **4. Les marques espagnoles d'eaux minérales:** Aguas Font Vella et Lanjaron dominant les ventes d'eau embouteillée en Espagne, avec 16% de part en valeur en 2014. Il y a environ 100 entreprises d'embouteillage d'eau en Espagne, dont :

- Font D'or

Font D'or une marque d'eau minérale naturelle. La source émerge à une hauteur de 1000 mètres d'altitude dans le Macizo del Montseny-Guilleries, Gérone.

- Genuina

L'eau minérale Genuina créée en 1965, s'est imposée comme la première société à produire de l'eau minérale mise dans des bouteilles en plastique jetables.

- Les Creus

Les Creus est une eau minérale naturelle originaire de la fonte des neiges de la chaîne granitique axiale des Pyrénées, à 2 000 mètres d'altitude. Sa source, située à Maçanet de Cabrenys, Gérone, offre une eau idéale pour les gourmets en raison de son extrême finesse au palais et de sa grande pureté.

- Liviana

L'eau minérale naturelle Liviana, issue d'un environnement privilégié, se jette dans la Serrania de Cuenca, à 1300 mètres d'altitude.

- Lunares

Lunares est une eau minérale espagnole située dans la vallée de Mesa, à 763 mètres d'altitude, à proximité de l'enclave naturelle de Monasterio de Piedra, un écosystème unique.

- Peñaclara 22

La source de Peñaclara 22 se trouve au coeur de la Sierra de Cameros dans la région de La Rioja au nord de l'Espagne. Profond de plus de 550 mètres, la source émerge sous la montagne Peñaseto. En raison des strates géologiques, et d'un processus d'absorption très lent s'étendant sur 150 ans, la source Peñaclara 22, a un débit inchangé par toutes saisons et l'eau sort à une température constante de 22 ° C.

- Sant Aniol

Aigua de Sant Aniol provient d'une source formée il y a 40.000 années, protégée par 600 hectares de terres dans la vallée de la Garrotxa Llémena Parc des Volcans, Gérone.

- Vichy Catalan

L'eau minérale Vichy Catalan, est la plus reconnue d'Espagne.

- Vilas del Turbón

La source Vilas del Turbon est située dans une vallée qui s'étend aux pieds du mont Turbón, dans le Nord-Est de la province de Huesca, dans le village de Las Vilas, entre les vallées d'Esera et Isábena, à quelques 1975 mètres d'altitude.

Annexe IV : Caractéristiques de qualité eaux minérales et des eaux de source : Arrêté interministériel du 22 Dhou El Hidja 1426 correspondant au 22 janvier 2006 fixant les proportions d'éléments contenus dans les eaux minérales naturelles et les eaux de source ainsi que les conditions de leur traitement ou les adjonctions autorisées.

**CARACTERISTIQUES DE QUALITE
DES EAUX MINERALES NATURELLES**

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

Antimoine	0,005 mg/l
Arsenic	0,05 mg/l, exprimé en As total
Baryum	1 mg/l
Borates	5 mg/l, exprimé en B
Cadmium	0,003 mg/l
Chrome	0,05 mg/l, exprimé en Cr total
Cuivre	1mg/l
Cyanures	0,07 mg/l
Fluorure	5 mg/l, exprimé en F
Plomb	0,01 mg/l
Manganèse	0,1 mg/l
Mercure	0,001 mg/l
Nickel	0,02 mg/l
Nitrates	50 mg/l, exprimé en NO ₃
Nitrites	0,02 mg/l en tant que nitrite
Sélénium	0,05 mg/l

II. - La présence des contaminants suivants ne doit pas être décelée :

- Agents tensioactifs
- Pesticides
- Diphényles polychlorés
- Huile minérale
- Hydrocarbures aromatiques polycycliques

CARACTERISTIQUES DE QUALITE DES EAUX DE SOURCE

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

(1) N de NO₃ et NO₂ exclus.

Annexe V : Préparation des réactifs nécessaire au dosage des paramètres physico-chimique des eaux embouteillées.

■ Réactifs nécessaires pour le dosage titrimétrique de dosage du TA et du TAC

- Acide chlorhydrique ou sulfurique 0,02 N.
- Solution de phénolphtaléine dans l'alcool à 0,5 %.
- Solution de vert de bromocrésol et de rouge de méthyle :

Vert de bromocrésol	0,2 g
Rouge de méthyle	0,015 g
Éthanol à 90 % q.s.p.	100 cm ³

- Eau déionisée exempte d'anhydride carbonique libre (par ébullition de 15 min).

■ Réactifs nécessaires au dosage de dureté totale par titrimétrie à l'EDTA

- Solution de noir ériochrome T à 0,5 % :
sel de sodium de l'acide [(hydroxy-1-naphtylazo-2) nitro-6-naphtol-2-sulfonique-4)] 0,5 g
triéthanolamine *q.s.p.* 100 mL

- Solution tampon pH 10 :
chlorure d'ammonium (NH₄Cl) 67,5 g
ammoniaque (*d* = 0,925) 570 mL
eau déionisée *q.s.p.* 1 L

Conserver la solution en flacon de polyéthylène.

Vérifier le pH qui doit être égal à 10 sur une dilution au 1/10 de la solution avec de l'eau déionisée.

- Solution d'EDTA 0,02 N (0,01 M):
sel disodique de l'acide éthylène diamine tétracétique 3,725 g
eau déionisée *q.s.p.* 1 L

Conserver la solution en flacon de polyéthylène.

■ Réactifs nécessaires au dosage du calcium par titrimétrie à l'EDTA

- Solution d'EDTA 0,02 N (0,01 M).

Dissoudre 3,721 g de sel disodique de l'acide éthylène-diamine tétracétique (cristallisé,

2 H₂O) dans un litre d'eau déionisée.

1 mL d'EDTA 0,02 N correspond à 0,4008 mg de calcium, soit 1 mg de carbonate de calcium.

À conserver dans des flacons en polyéthylène.

– Solution d'hydroxyde de sodium 2 N.

– Indicateur : acide calcone carboxylique :

Acide [hydroxy-2-(hydroxyl-2-sulfo-4-naphtyl-azo-1)-1 naphtalène carboxylique] 0,2 g

Chlorure de sodium ou sulfate de sodium 100 g

Pulvériser l'indicateur et mélanger intimement avec le chlorure ou le sulfate de sodium.

▪ Dosage du sodium et du potassium par spectrophotométrie de flamme

La loi de distribution de Maxwell-Boltzman permet de calculer la population sur chaque niveau énergétique en fonction du potentiel d'excitation et de la température et elle indique que, même pour des températures élevées, l'énorme majorité des atomes se trouve à l'état fondamental, surtout si l'écart énergétique est élevé. L'expérience montre que l'utilisation de l'émission de flamme est possible principalement pour le dosage des métaux alcalins dont les potentiels d'excitation sont faibles, et sous certaines conditions avec quelques alcalinoterreux. Si N_0 est le nombre d'atomes à l'état fondamental et N_j le nombre d'atomes à l'état excité E_j , on sait que :

$$N_j = N_0 \frac{g_j}{g_0} e^{-\frac{E_j}{kT}}$$

g_j et g_0 sont les poids statistiques des niveaux E_j et E_0 ($g = 2J + 1$) ;

k : constante de Boltzmann = 1.38×10^{-23} J/K ;

E_j : énergie de l'état excité en J ;

T : température absolue en K.

Le rapport N_j / N_0 dépend du potentiel d'excitation de l'atome considéré mais aussi de la température de la flamme. Dans le meilleur des cas, le rapport est de l'ordre de 10^{-4} à 10^{-6} .

Préparations des solutions standards de sodium et de potassium pour leur dosage par spectrophotométrie de flamme

➤ Sodium

Pesez avec précision 0,634 g de NaCl de qualité analytique.

Dissoudre dans de l'eau pure déionisée dans une fiole volumétrique de 500 ml.

Pour préparer la solution standard qui sera utiliser par le photomètre à flamme, cette solution devra être diluée 1/50 et la garder en stock.

Calcul:

Poids atomique Na = 23,0

Poids moléculaire NaCl = 58,46

Par conséquent 0,634 g de NaCl contient $0,634 \times 23/58.46 = 0,25$ g de Na

Ainsi, dans 500 ml de solution, il y a 250 mg de Na ou 50 mg de Na / 100 ml soit 500mg/l.

En Diluant 1/50, on obtient un standard de 1 mg Na / 100 ml = 10mg/l de Na = 10 ppm de Na.

➤ Potassium

Pesez avec précision 0,477 g de KCl de qualité analytique.

Dissoudre dans de l'eau pure déionisée dans une fiole volumétrique de 500 ml.

Pour préparer la solution standard qui sera utilisé par le photomètre à flamme, cette solution devra être diluée 1/50 et la garder en stock.

Calcul:

Poids atomique K = 39,1

Poids moléculaire KCl = 74,56

Par conséquent, 0.477g KCl contient $0.477 \times 39.1/74.56 = 0.25$ g K

Ainsi, dans 500 ml de solution, il y a 250 mg K ou 50 mg K / 100 ml soit 500mg K/l

En diluant 1/50 on obtient un standard de 1mg K / 100ml = 10mg/l de K= 10ppm K.

➤ Stockage

Pour le stockage des solutions, éviter la lumière, l'idéal est de les placer dans un endroit frais, ne dépassant pas une température de 25°C.

Les récipients en verre ne doivent pas être utilisés pour le stockage car ils peuvent affecter la concentration de sodium.

Les standards devraient être stockés dans des récipients scellés en plastique. Le stockage à long terme des solutions standards de faible concentration n'est pas recommandé en raison de la dégradation des espèces ioniques.

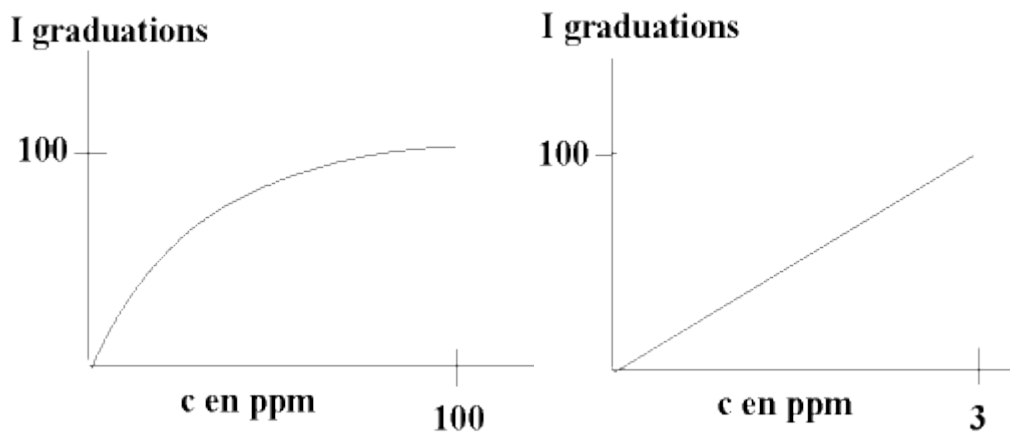
Établissement de la gamme d'étalonnage :

Préparer à partir de chacune des solutions étalons au minimum quatre dilutions couvrant

la gamme des concentrations souhaitées.

Il est important de comprendre que les principes de la photométrie de la flamme sont basés sur le fait qu'au delà de certaines concentrations, la lumière émise par la flamme est directement proportionnelle à la concentration du produit aspiré.

Le graphique ci-dessous montre que la relation directe entre les émissions de flamme et La concentration est vraie à des concentrations relativement faibles. Au-dessus de ces niveaux bas, la flamme commence à se saturer et l'émission de flamme cesse d'augmenter de façon linéaire à la concentration.



Entre 0 et 100 ppm la courbe n'est pas linéaire

entre 0 et 10 ppm la courbe est linéaire

■ Mode opératoire

Nébuliser l'échantillon dans une flamme air-propane en intercalant de l'eau distillée entre chaque solution. Effectuer les lectures au spectromètre de flamme à la longueur d'onde de 589 nm pour le sodium et 766,5 nm pour le potassium. 1. Régler le zéro de l'appareil en aspirant le blanc et régler la lecture à 000, comme le montre la figure 5 ci-dessous.



Figure 5: Réglage du zéro du photomètre de flamme et la flamme bleue obtenue en aspirant le blanc.

2. Aspirez la solution standard la plus élevée en fixant la lecture appropriée en utilisant les boutons de sensibilité fine « FINE » et grossière « COARSE ». Vérifiez de nouveau le réglage du blanc et ajustez si nécessaire.
3. Aspirez les solutions standard restantes pour construire la courbe d'étalonnage et notez les résultats. La figure 6 ci-dessous illustre le passage d'une solution standard de potassium lors de l'étalonnage de l'appareil.



Figure 6 : Aspiration de la solution standard de potassium à 3 mg/l et la flamme violette caractéristique du potassium.

4. Lorsque le blanc et les standards sont définis, des échantillons inconnus peuvent être aspirés et les résultats notés, soit directement à partir de la lecture de l'instrument, soit en dérivant leurs concentrations de la courbe d'étalonnage.

- Les échantillons dont la concentration en sodium mentionnée sur l'étiquette était supérieure à 25 mg/l ont été dilués au 1/4 voir 1/50.
- Les échantillons dont la concentration en potassium mentionnée sur l'étiquette était supérieure à 5 mg/l ont été dilués au 1/4.

5. L'étalonnage doit être vérifié en aspirant le blanc et la solution standards la plus concentrée. Ce contrôle devrait être effectué après chaque 10 échantillon.

6. Le bouton du point décimal (d.p) peut être utilisé pour illuminer le point décimal à n'importe quelle position significative. Ce choix est fait pour donner une précision pour le test désiré.

■ Réactifs nécessaires au dosage des chlorures par la méthode de Charpentier-Volhard

- Acide nitrique pur.

- Solution de nitrate d'argent 0,1 N.
- Solution de thiocyanate de potassium ou d'ammonium 0,1 N.
- Alun ferrique ammoniacal en solution saturée, décolorée par quelques gouttes d'acide nitrique.

▪ Détermination de la teneur en phosphates

→ Solution A :

- Molybdate d'ammonium tétra-hydraté 10 g.
- Eau distillée q.s.p. 100 ml.

→ Solution B :

- Acide sulfurique pure 150ml.
- Eau distillée 150ml.

Verser l'acide sulfurique dans l'eau, laisser refroidir et mélanger des 2 solutions A et B.

→ Solution d'acide ascorbique à 20 g/L :

- Acide ascorbique 1 g.
- Eau distillée q.s.p. 50ml.

→ Solution mère étalon à 50 mg/L de phosphore :

- Dihydrogénophosphate de potassium 219,7 mg
- Eau distillée q.s.p. 100 ml

Acidifier la solution par 1 ml d'acide sulfurique à 15 % avant d'ajuster le volume.

→ Solution fille étalon à 1 mg/L de phosphore :

Diluer au 1/50 la solution précédente avec de l'eau distillée au moment de l'emploi.

▪ Détermination de la teneur en nitrates

→ Solution de salicylate de sodium à 0.5%

- Salicylate de sodium 0,5g
- Eau distillée 100ml

→ Acide sulfurique concentré (d= 1.84)

→ Solution d'hydroxyde de sodium et de tartrate double de sodium et de potassium

- Hydroxyde de sodium 400 g
- Tartrate double de sodium et de potassium 60 g

- Eau distillée q.s.p 1000 ml

Faire refroidir les sels dans l'eau. Laisser refroidir et compléter à 1000 ml.

→ **Solution mère étalon d'azote nitrique à 0.1 g/l**

- Nitrate de sodium anhydre 0.722 g
- Eau distillée q.s.p 1000 ml
- Chloroforme (pour conserver) 1 ml

→ **Solution fille étalon d'azote nitrique à 0.005 g/l**

Amener 50 ml de la solution mère à 1000 ml avec de l'eau distillée.

▪ Détermination de la teneur en nitrites

→ **Ammoniaque pure (d= 0.925)**

→ **Réactif de Zambelli :**

- Acide chlorhydrique pur (d=1.19) 260 ml
- Acide sulfanilique 5 g
- Phénol cristallisé 7.5 g
- Chlorure d'ammonium 135 g
- Eau distillée 625 ml

Dans une fiole jaugée d'un litre, verser l'acide chlorhydrique dans l'eau distillée. Puis y dissoudre l'acide sulfanilique et le phénol en chauffant légèrement au bain- marie. Après dissolution complète ajouter le chlorure d'ammonium et agiter jusqu'à dissolution. Après refroidissement ajuster s'il y a lieu le volume de la solution à 1 litre avec de l'eau distillée.

→ **Solution mère étalon de NO_2^- à 0.23 g/l**

- Nitrite de sodium 0.345 g
- Eau distillée 1000 ml

Cette solution se conserve mieux si l'on prend la précaution d'y ajouter 1 ml de chloroforme.

→ **Solution fille étalon d'ions NO_2^- à 0.0023 g/l**

Amener 1ml de la solution mère à 100 ml avec de l'eau distillée.

▪ Détermination de la teneur en sulfates

→ **Solution stabilisante :**

- Acide chlorhydrique 10ml
- Ethanol 100ml

- Chlorure de sodium 75ml
- Glycérol 50ml
- Eau distillée q.s.p. 500ml
- **Solution de chlorure de Baryum :**
- Chlorure de Baryum 150g
- Acide chlorhydrique 5ml
- Eau distillée 500ml
- **Solution mère de sulfate à 1g/l :**
- Sulfate de sodium (Na_2SO_4) 1,48g
- Eau distillée 1000ml
- **Détermination de la teneur en fluorures**
- **Solution tampon :**
- Acide acétique 17ml
- Acétate de Sodium anhydre 9,405g
- Eau distillée q.s.p. 500ml
- **Solution d'Alizarine complexone à 10^{-3} M :**
- Alizarine complexone 0,1925ml
- 1-2 pastilles de NaOH
- Solution tampon q.s.p. 500ml
- **Solution de Nitrate de Lanthane 2×10^{-3} M :**
- Nitrate de lanthane 0,433g
- Acétate de Sodium anhydre 51,25g
- Acide acétique 111ml
- Acide chlorhydrique 25ml
- Eau distillée q.s.p. 500ml
- **Solution mère étalon de fluor à 100 mg/l :**
- fluorure de sodium 0,221g
- Eau distillée q.s.p. 50ml
- Solution d'Hydroxyde de Sodium 0,1N 1ml
- Eau distillée q.s.p. 1000ml
- **Solution fille à 10mg/l :**
- Prélever 100ml de la solution mère et compléter à 1000ml avec de l'eau distillée.

Annexe VI : Tableau spécial pour la correction de la conductivité en fonction de la température. Analyse de l'eau. J Rodier et all. 9^e édition.

Tableau
Facteur de correction de température f_{25}

θ °C	f_{25}									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1,918	1,912	1,906	1,899	1,893	1,887	1,881	1,875	1,869	1,863
1	1,857	1,851	1,845	1,840	1,834	1,829	1,822	1,817	1,811	1,805
2	1,800	1,794	1,788	1,783	1,777	1,772	1,766	1,761	1,756	1,750
3	1,745	1,740	1,734	1,729	1,724	1,719	1,713	1,708	1,703	1,698
4	1,693	1,688	1,683	1,678	1,673	1,668	1,663	1,658	1,653	1,648
5	1,643	1,638	1,634	1,629	1,624	1,619	1,615	1,610	1,605	1,601
6	1,596	1,591	1,587	1,582	1,578	1,573	1,569	1,564	1,560	1,555
7	1,551	1,547	1,542	1,538	1,534	1,529	1,525	1,521	1,516	1,512
8	1,508	1,504	1,500	1,496	1,491	1,487	1,483	1,479	1,475	1,471
9	1,467	1,463	1,459	1,455	1,451	1,447	1,443	1,439	1,436	1,432
10	1,428	1,424	1,420	1,416	1,413	1,409	1,405	1,401	1,398	1,394
11	1,390	1,387	1,383	1,379	1,376	1,372	1,369	1,365	1,362	1,358
12	1,354	1,351	1,347	1,344	1,341	1,337	1,334	1,330	1,327	1,323
13	1,320	1,317	1,313	1,310	1,307	1,303	1,300	1,297	1,294	1,290
14	1,287	1,284	1,281	1,278	1,274	1,271	1,268	1,265	1,262	1,259
15	1,256	1,253	1,249	1,246	1,243	1,240	1,237	1,234	1,231	1,228
16	1,225	1,222	1,219	1,216	1,214	1,211	1,208	1,205	1,202	1,199
17	1,196	1,193	1,191	1,188	1,185	1,182	1,179	1,177	1,174	1,171

Tableau (suite)
Facteur de correction de température f_{25}

θ °C	f_{25}									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
18	1,168	1,166	1,163	1,160	1,157	1,155	1,152	1,149	1,147	1,144
19	1,141	1,139	1,136	1,134	1,131	1,128	1,126	1,123	1,121	1,118
20	1,116	1,113	1,111	1,108	1,105	1,103	1,101	1,098	1,096	1,093
21	1,091	1,088	1,086	1,083	1,081	1,079	1,076	1,074	1,071	1,069
22	1,067	1,064	1,062	1,060	1,057	1,055	1,053	1,051	1,048	1,046
23	1,044	1,041	1,039	1,037	1,035	1,032	1,030	1,028	1,026	1,024
24	1,021	1,019	1,017	1,015	1,013	1,011	1,008	1,006	1,004	1,002
25	1,000	0,998	0,996	0,994	0,992	0,990	0,987	0,985	0,983	0,981
26	0,979	0,977	0,975	0,973	0,971	0,969	0,967	0,965	0,963	0,961
27	0,959	0,957	0,955	0,953	0,952	0,950	0,948	0,946	0,944	0,942
28	0,940	0,938	0,936	0,934	0,933	0,931	0,929	0,927	0,925	0,923
29	0,921	0,920	0,918	0,916	0,914	0,912	0,911	0,909	0,907	0,905
30	0,903	0,902	0,900	0,898	0,896	0,895	0,893	0,891	0,889	0,888
31	0,886	0,884	0,883	0,881	0,879	0,877	0,876	0,874	0,872	0,871
32	0,869	0,867	0,866	0,864	0,863	0,861	0,859	0,858	0,856	0,854
33	0,853	0,851	0,850	0,848	0,846	0,845	0,843	0,842	0,840	0,839
34	0,837	0,835	0,834	0,832	0,831	0,829	0,828	0,826	0,825	0,823
35	0,822	0,820	0,819	0,817	0,816	0,814	0,813	0,811	0,810	0,808

Résumé :

La consommation des eaux embouteillées s'est considérablement accrue ces dernières années. Cette étude a pour objectif d'effectuer une caractérisation physico-chimique des eaux minérales et des eaux de source embouteillées, disponibles dans les commerces. Pour cela 592 analyses (méthodes titrimétriques, spectroscopie d'absorption, photométrie de flamme) ont été effectuées, avec 16 paramètres déterminés pour les 36 marques collectées dont certains ne figurent pas sur l'étiquetage. Les résultats obtenus pour chaque paramètre étudié ont été confrontés aux normes algériennes et ont permis de les classer selon leur minéralisation globale et selon leur composition physico-chimique. Le logiciel Diagramme intégrant le diagramme de Piper a permis de déterminer le faciès chimique global des eaux analysées. Cette étude met en valeur la richesse, la diversité des eaux naturelles algériennes et la nécessité d'adapter leur consommation en fonction de l'état physiologique et/ou pathologique des personnes. Ainsi cette étude détermine les marques d'eaux embouteillées adaptées à 14 catégories différentes de personnes comme les nourrissons, femmes enceintes, sportifs, personnes âgées ou encore les personnes souffrant de calculs urinaires ou d'hypertension artérielle.

Mots clés : Eau minérale, eau de source, paramètres, minéralisation, Piper, réglementation, classification.

Abstract:

Consumption of bottled water has increased considerably these last years. This study aims to perform a physico-chemical characterization of bottled water available in Algerian shops. For this, 592 analyzes were carried out (Titrimetric methods, absorption spectrophotometry, flame photometry), with 16 parameters determined for the 36 marks collected, some of them are not on the label. The results obtained for each parameter studied were compared with the Algerian norms and helped to classify them according to their global mineralization and according to their physico-chemical composition. The « Diagrammes » software incorporating the Piper diagram allowed to determine the global chemical facies of the analyzed waters. This study highlights the abundance, the diversity of Algerian natural waters and the necessity to adapt their consumption according to the physiological and / or pathological state of the people. This study determines the marks of mineral and spring waters adapted to 14 different categories of people such as infants, pregnant women, sportsmen, senior citizen, or those suffering from urinary calculi or high blood pressure.

Keywords: Mineral water, spring water, parameters, mineralization, Piper, legislation, classification.