

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITÉ de BLIDA 1

Faculté de Technologie

Département de Génie des Procédés



Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de

MASTER EN GENIE DES PROCEDES

Spécialité : Génie de l'environnement

Etude physico-chimique de quelques eaux minérales en Algérie

Présenté par :

KHELIF Smail

REBBOUD Amel

Devant les membres du Jury :

Pr. Naceur

Professeur Université de Blida

Président

Pr. Aouabed

Professeur Université de Blida

Promoteur

Dr. Brahim

Docteur Université de Blida

Examinatrice

Année universitaire 2019/2020

Résumé :

Cette étude a pour objectif l'analyse des caractéristiques physico-chimiques tirées à partir des étiquettes de س bouteilles d'eaux minérales naturelles présentes actuellement sur le marché Algérien, à travers le calcul des concentrations des ions majeurs puis l'étude de la balance ionique, et enfin l'effectuation des diagrammes de Piper et de Schoeller-Berkaloff. De plus, il inclut la mise à jour d'une étude précédemment effectuée traitant le même thème afin d'analyser la stabilité des eaux minérales étudiées.

Les résultats statistiques et graphiques issus de cette recherche ont permis la caractérisation de ces différentes eaux minérales naturelles. Ainsi, permettant leur classification en fonction de leur minéralisation et de leur composition ionique. Par conséquent, l'obtention d'une idée sur l'identification des faciès hydro-chimiques de ces eaux, qui a en effet été déterminée à la fin.

L'interprétation de ces analyses a indiqué que la majorité des eaux étudiées sont faiblement minéralisées, à l'exception des marques: Batna, Manbaa al Ghozlane et Mouzaia, qui sont moyennement minéralisées. De plus, la classification de ces eaux selon leur faciès hydro-chimique a été établie, Le plus abondant est le bicarbonaté calcique à l'exception des marques: Salsabil et El Goléa qui se sont révélées être Bicarbonatées sodiques, et enfin, ce qui a été déduit grâce à cette étude comparative est que Saida est la seule marque ayant une stabilité de 100% à travers les années.

Mots clés : Eau minérale naturelle, ions majeurs, Balance ionique, Piper, Schoeller-Berkaloff, Faciès, Stabilité.

Abstract:

The aim of this study is to analyze the physicochemical characteristics drawn from the labeling of natural mineral water bottles currently present in the Algerian market. The analysis will be conducted through the calculation of the concentrations of major ions, then the study of the ionic balance, and finally the performance of the Piper and Schoeller-Berkaloff diagrams. Moreover, it includes the update of a previously carried out study dealing with the same theme in order to analyze the stability of mineral waters of certain brands.

The statistical and graphical results obtained from this research allowed to characterize these different natural mineral waters. Thus, allowing their classification according to their mineralization and their ionic composition. Consequently, obtaining an idea on the identification of the hydro-chemical faciès of these waters, that was in fact determined by the end.

The interpretation of these analyzes has indicated that the majority of the waters studied are weakly mineralized, with the exception the brands: Batna, Manbaa al Ghozlane and Mouzaia, which are moderately mineralized. Furthermore, The classification of these waters was done according to their hydro-chemical faciès, the most abundant is calcium bicarbonate, except for the brands: Salsabil and El Goléa that emerged to be sodium

bicarbonate. Concerning their stability, Finally what has been deducted; due to our comparative study; is that Saida is the only brand with 100% stability over the years.

Keywords: Natural mineral water, major ions, Ionic balance, Piper, Schoeller-Berkaloff, Faciès, Stability.

ملخص:

الهدف من هذه الدراسة هو تحليل الخصائص الفيزيائية والكيميائية المستمدة من لاصقات قارورات من المياه المعدنية الموجودة حاليا في السوق الجزائري، من خلال حساب تركيزات الأيونات الرئيسية ثم دراسة التوازن الأيوني وأخيرا أداء مخططات بايبر وشولر-بيركالوف. علاوة على ذلك، يتضمن تحديث دراسة أجريت سابقا تناولنا نفس الموضوع من أجل تحليل استقرار المياه المعدنية لبعض العلامات التجارية المدروسة.

لقد مكنت النتائج الإحصائية والرسومية التي تم الحصول عليها من هذا البحث من تمييز هذه المياه المعدنية الطبيعية المختلفة مما يسمح بتصنيفها وفقا لتمعدنها وتكوينها الأيوني، مما يعطي فكرة عن تحديد الوجهات الهيدروكيميائية لهذه المياه، والتي تم تحديده بالفعل في النهاية.

أوضح تفسير هذه التحليلات أن غالبية المياه المدروسة ضعيفة التمعدن باستثناء العلامات التجارية: باتنة، منبع الغزلان وموزاية ذات المعادن المعتدلة، ثم تصنيف هذه المياه وفقا لوجهاتها الهيدروكيميائية. وأكثرها وفرة هو بيكربونات الكالسيوم باستثناء العلامتين التجاريتين سلسبيل والقولية اللتين تبين أنهما بيكربونات الصوديوم، فيما يتعلق باستقرارهن تم استنتاج بفضل هذه الدراسة المقارنة أن سعيدة هي العلامة التجارية الوحيدة التي تتمتع بثبات بنسبة 100% على مر السنين.

الكلمات المفتاحية: المياه المعدنية الطبيعية، الأيونات الرئيسية، التوازن الأيوني، بايبر، شولر-بيركالوف، الثبات.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à saisir cette occasion et adresser nos profonds remerciements et nos profondes reconnaissances à Mr AOUABED Ali, notre encadrant de mémoire de fin d'étude, pour ses précieux conseils et son orientation ficelée tout au long de notre recherche.

A nos familles et nos amis qui par leurs prières et leurs encouragements, on a pu surmonter tous les obstacles.

Nous tenons à remercier, toute personne qui a participé de près ou de loin à l'exécution de ce modeste travail.

DEDICACES

Dédicace 1 :

A mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien tout au long de mon parcours universitaire.

A ma chère sœur Khadīdja pour son précieux aide lors de la réalisation de ce travail,

A mon cher frère Amine, pour son appui et son encouragement,

A tous mes amis,

Merci d'être toujours là pour moi.

KHELIF Smail

Dédicace 2 :

Je dédie ce modeste travail à :

Mes parents pour leurs sacrifices et encouragements infinis, à ma très chère mère qui est et qui restera pour toujours ma plus grande inspiration et motivation à la fois, à mon père pour son énorme soutien et sa patience avec moi tout au long de mon parcours universitaire.

Mes sœurs Fella, Nesrine, Amira, et enfin Sabrina que j'aime beaucoup et qui m'ont encouragé ainsi qu'aidé tout au long de ce travail que ça soit physiquement en recherchant des eaux minérales naturelles pour moi ou même avec leurs simples paroles et conseils qui valent de l'or à mes yeux, sans oublier mes chères tantes, mon beau-frère Sami et mon adorable neveu Nazim.

Mes chers amis, et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce travail soit possible, je vous dis merci.

REBBOUD Amel

Table des matières

Résumé	
REMERCIEMENTS	
DEDICACES	
Table des matières	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE 1 : PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE	
I. Introduction :.....	2
II. Eaux potables :	2
II.1. Définition :	2
II.2. Types d'eaux potables :	2
II.3. La notion de qualité :	3
III. Classement des eaux minérales et eaux de sources :	3
IV. Les conditions de traitement ou d'adjonction des eaux minérales naturelles et des eaux de sources :.....	4
V. Paramètres de qualité des eaux minérales naturelles et des eaux de source :	4
V.1. Paramètres Physico-chimiques :	5
1. La Température :	5
2. Potentiel d'hydrogène (pH) :	5
3. Conductivité électrique :.....	5
4. Turbidité :	5
5. Dureté TH :.....	5
6. Alcalinité TA et TAC :.....	5
7. Résidus secs :	5
8. Minéralisation globale :	5
V.2. Paramètres microbiologiques :	8
V.3. Paramètres organoleptiques :	9
VI. Pollution des Eaux minérales et des Eaux de sources :.....	9
VII. Démarche règlementaire de protection des eaux minérales en Algérie :	9
VIII. Catégories des eaux minérales naturelles :	10
VIII.1. Propriétés des eaux minérales :.....	11
1. Les eaux sulfurées :	11
2. Les eaux sulfatées :.....	11
3. Les eaux chlorurées sodiques :.....	12

4. Les eaux faiblement minéralisées :	12
5. Les eaux ferrugineuses :	12
6. Les eaux bicarbonatées gazeuses :	13
VIII.2. Embouteillage et étiquetage des eaux minérales :	13
VIII.2.1. Embouteillage :	13
VIII.2.2. Etiquetage :	14
IX. Classification hydro-chimique des eaux minérales :	14
IX.1. Diagramme de Piper :	14
IX.2. Diagramme de Schoeller-Berkaloff :	15
X. Etude des eaux minérales et de sources en Algérie:	16
XI. Conclusion :	18
CHAPITRE 2 : PARTIE EXPERIMENTALE	
I. Introduction :	19
II. Méthodologie de travail :	19
III. Caractéristiques physico-chimiques et catégories des eaux minérales en Algérie :	19
IV. Détermination du faciès des eaux minérales :	22
V. Etude de la balance ionique :	22
1. Données :	22
2. Analyse de la balance ionique :	23
V. Résultats et interprétation :	24
1. Tableaux et données :	24
2. Interprétation de la balance ionique :	25
3. Etude comparative des eaux minérales à travers les années :	25
4. Diagrammes de Piper et Schoeller-Berkaloff :	29
VI. Discussion des résultats :	33
VII. Conclusion :	35
CONCLUSION GENERALE	36
Références bibliographiques	

Liste des tableaux :

Tableau 1: Comparaison des indicateurs de qualité des eaux minérales naturelles	6
Tableau 2 : Comparaison des indicateurs de qualité des eaux de sources	7
Tableau 3: Résultats du premier et second examen.....	8
Tableau 4: Classification des eaux minérales en fonction de la minéralisation.....	10
Tableau 5: Classification des eaux minérales en fonction de la composition ionique	11
Tableau 6: Caractéristiques physico-chimiques des eaux minérales et de sources	17
Tableau 7: Caractéristiques physico-chimiques des eaux minérales en Algérie	20
Tableau 8: Classification des eaux minérales en Algérie selon la minéralisation	21
Tableau 9: Classification des eaux minérales en Algérie selon la composition ionique	21
Tableau 10: Faciès des eaux minérales.....	22
Tableau 11: Calcul des concentrations des ions majeurs en meq/l.....	23
Tableau 12: valeurs des balances ionique et leurs erreurs correspondantes	24
Tableau 13: Caractéristiques physico-chimiques des eaux minérales à travers les années.....	26
Tableau 14: % d'instabilité des concentrations d'anions et des cations des marques d'eaux minérales naturelles à travers les années.	28
Tableau 15: Changement des valeurs des constituants ioniques des eaux minérales entre les années 2014 et 2020.	29
Tableau 16: Faciès et ordre de concentration des anions et des cations des eaux minérales étudiées d'après le diagramme de Schoeller-Berkaloff	32

Liste des figures :

Figure 1: Premier examen microbiologique d'une eau minérale.....	8
Figure 2: Exemple de diagramme de Piper (Eau de source Qniaa)	15
Figure 3: Diagramme de Schoeller Berkaloff.....	16
Figure 4: Diagramme de Piper pour les eaux minérales en 2020	30
Figure 5: Diagramme de Schoeller-Berkaloff pour les eaux minérales en 2020	31

INTRODUCTION GENERALE

Depuis les temps préhistoriques, et au moins dès la plus haute antiquité, les eaux minérales et les eaux thermales ont été reconnues et recherchées par l'homme. Elles font depuis longtemps partie de sa pharmacopée [1]. Cinq siècles avant notre ère, dans la Grèce antique, des médecins recommandaient déjà la consommation des « eaux minérales naturelles » (EMN) et leur usage en cure car ils leur attribuaient des vertus thérapeutiques [2].

L'eau minérale naturelle est une eau exclusivement d'origine souterraine, captée soit à une source, soit par forage. Définie en tant que telle par la réglementation, elle est utilisée pour l'embouteillage. Pure, protégée géologiquement et présentant une composition minérale parfaitement stable, elle ne fait l'objet d'aucun traitement chimique ni désinfection avant son embouteillage ou son utilisation thermique [2].

Favorisé par des mesures d'encouragement à l'investissement initiées par les pouvoirs publics, le secteur de l'eau conditionnée en Algérie a vécu ces dernières années un développement exceptionnel. Ce développement s'est concrétisé par l'implantation de dizaines d'unités d'exploitation et de production des eaux conditionnées à travers l'ensemble du territoire national. Il a été aussi accompagné par une augmentation exceptionnelle de la consommation dont la part par habitant a remarquablement évolué en vingt ans (4 L/habitant/an en 1989 à 22 L/habitant/an en 2007) [3][4][5].

À travers ce développement qui a été dans ses débuts non réglementé, une situation de confusion relative à la nature et à la qualité du produit « eau conditionnée » s'est instaurée. Cette situation a poussé les pouvoirs publics à promulguer une série de textes réglementaires ayant pour objectif l'encadrement de l'exploitation, la production et la commercialisation des eaux embouteillées [6].

L'objectif de notre étude est d'abord celui d'introduire les notions de base sur l'eau potable puis s'approfondir au niveau de l'eau minérale naturelle en s'intéressant à leurs différents critères de qualité et la réglementation stricte qui les entoure, leurs catégories et enfin leurs classification, ensuite vient la partie où on va effectuer une étude comparative entre les différentes eaux minérales présentes sur le marché Algérien à l'aide d'une précédente étude sur le même sujet pour la mettre à jour et pour étudier la stabilité de ces dernières, puis on va faire notre propre étude des caractéristiques physico-chimiques de 12 eaux minérales à l'aide de leurs étiquetages, on va calculer les concentrations de leurs ions majeurs pour étudier leurs balances ioniques puis effectuer leur représentation sur diagramme de piper ainsi que celui de Schoeller-Berkaloff en utilisant le logiciel de DIAGRAMMES, les résultats obtenus sur le faciès et la qualité de ces eaux vont être interprétés, discutés pour en déduire la conclusion de notre mémoire.

CHAPITRE 1 : PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE

I. Introduction :

L'eau est indispensable à la vie car elle est essentielle à notre organisme, notre corps en a besoin. Sans eau, aucun organisme qu'il soit végétal ou animal, ne peut vivre.

La manière dont l'eau est envisagée, valorisée et gérée dépend beaucoup de la culture. La santé et l'éradication de la pauvreté sont liées à la culture, qui peut avoir des effets positifs ou négatifs sur la santé et le bien-être des individus.

Chaque culture possède un système de connaissances et des comportements qui lui sont propres ; c'est pourquoi les techniques de gestion des ressources en eau doivent être adaptées à la culture et tenir pleinement compte de la dimension culturelle [7].

II. Eaux potables :

II.1. Définition :

Selon la définition qui en est donnée par la directive de qualité pour l'eau de boisson de l'OMS, une eau de boisson saine ne présente aucun risque notable pour la santé d'une personne qui la consommerait sur toute la durée de sa vie. On pourrait dire, qu'une eau destinée à la consommation humaine doit :

- Etre raisonnablement minéralisée.
- Assure de ne pouvoir nuire à la santé.

Une eau potable doit être exempte de germe pathogènes (bactéries, virus) et parasites, elle ne doit contenir certaines substances chimiques qu'en quantité limitée. Il s'agit en particulier de substance d'indésirable. A l'inverse, la présence de certaines substances peut être jugée nécessaire comme les oligoéléments indispensables à l'organisme. Une eau potable doit aussi être eau agréable à boire [8].

II.2. Types d'eaux potables :

➤ Eau minérale naturelle :

Une eau minérale naturelle (selon le décret 89-369 du 6 juin 1989) est « une eau possédant un ensemble de caractéristiques qui sont de nature à lui apporter ses propriétés favorables à la santé ... Elle témoigne, dans le cadre des fluctuations naturelles connues, d'une stabilité de ses caractéristiques essentielles, notamment de composition et de température à l'émergence, qui n'est pas affectée par le débit de l'eau prélevée » [9].

➤ Eau de source :

Une eau de source (selon le décret 89-369 du 6 juin 1989 relatif aux eaux minérales naturelles et aux eaux potables pré-emballées) est « une eau d'origine souterraine microbiologiquement saine et protégée contre les risques de pollution, apte à la consommation humaine sans traitement ni adjonction autres, qu'une séparation des éléments instables et d'une sédimentation des matières en suspension par décantation ou filtration et (ou) d'une incorporation de gaz carbonique ... ». Elle doit être autorisée par arrêté préfectoral [9].

➤ Eau du robinet :

Les eaux du robinet sont souvent constituées d'eaux souterraines puisées dans des nappes phréatiques et même dans certains cas dans des sources, ou d'eaux de surface prélevées dans les lacs, rivières, fleuves, retenues, etc. Mais elles peuvent aussi être ou constituées d'un mélange des deux origines selon les disponibilités saisonnières et la situation géographique. +

Avant d'emprunter le réseau de distribution et de parvenir jusqu'au robinet du consommateur, les eaux d'adduction sont majoritairement traitées pour pouvoir répondre aux différents paramètres qui définissent les normes de potabilité définies spécifiquement pour l'eau d'adduction. Pour parvenir potable au robinet, l'eau doit subir un certain nombre de traitements physico-chimiques (mécaniques et chimiques) pour atteindre les normes réglementaires [10].

II.3. La notion de qualité :

Pour une eau potable, la notion de qualité distingue la qualité des eaux brutes (à l'état naturel, à son lieu de captage), de la qualité de l'eau distribuée (qui arrive au robinet du consommateur, après traitement de potabilisation et parcours dans les canalisations). Les normes et paramètres qui caractérisent ces deux « visions » de la qualité de l'eau diffèrent [11].

III. Classement des eaux minérales et eaux de sources :

Les deux eaux sont classées en [12] :

- Eau minérale naturelle non gazeuse :

Une eau minérale naturelle non gazeuse est une eau minérale naturelle qui, à l'état naturel ne contient pas de gaz carbonique libre en proportion supérieure à la quantité nécessaire pour maintenir dissous les sels hydrogéo-carbonatés présents dans l'eau.

- Eau minérale naturelle naturellement gazeuse :

Une eau minérale naturelle naturellement gazeuse est une eau minérale naturelle dont la teneur en gaz carbonique est la même qu'à l'émergence. Il s'agit du gaz carbonique spontanément et visiblement dégagé dans des conditions normales de température et de pression.

- Eau minérale naturelle dégazéifiée :

Une eau minérale naturelle dégazéifiée est une eau minérale naturelle dont la teneur en gaz carbonique, n'est pas la même qu'à l'émergence et qui ne dégage pas visiblement et spontanément de gaz carbonique dans des conditions normales de température et de pression.

- Eau minérale naturelle renforcée au gaz carbonique de la source :

Une eau minérale naturelle renforcée au gaz carbonique de la source est une eau minérale naturelle dont la teneur en gaz carbonique, est supérieure à sa teneur en gaz carbonique à l'émergence.

- Eau minérale naturelle gazéifiée

Une eau minérale naturelle gazéifiée est une eau minérale naturelle rendue gazeuse, par addition de gaz carbonique d'autre provenance.

- Eau de source
- Eau de source gazéifiée :

L'eau de source gazéifiée désigne une eau de source qui, est rendue effervescente par addition de gaz carbonique [13].

IV. Les conditions de traitement ou d'adjonction des eaux minérales naturelles et des eaux de sources :

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

- la séparation des éléments physiques et la sédimentation des matières en suspension par décantation ou filtration,
- l'incorporation de gaz carbonique ou la dégazéification. Les traitements ou adjonctions sont réalisés à l'aide de procédés physiques, mettant en œuvre des matériaux inertes.

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. Les conditions de traitement ou d'adjonction sont fixées par arrêté conjoint des ministres chargés des ressources en eau, de la santé, du commerce, et de la normalisation [14].

V. Paramètres de qualité des eaux minérales naturelles et des eaux de source :

L'eau qui constitue les sources minérales arrive à la surface du sol de profondeurs plus ou moins grandes, après avoir traversé les couches de nature diverse qui constituent l'écorce du globe terrestre. Dans ce passage, cette eau, souvent chargée déjà de principes fournis par les matières en fusion du centre de la terre, à la faveur de sa propriété dissolvante et de certains agents, tels que la température, la pression ou la présence d'acides particuliers, se charge, en quantités plus ou moins grandes, de substances avec lesquelles elle s'est trouvée en contact [15].

Les eaux souterraines sont plus ou moins minéralisées en fonction:

- De la nature des roches traversées et des minéraux rencontrés au cours de l'infiltration;
- Du temps de contact de l'eau avec les minéraux, donc de la vitesse de percolation de l'eau dans le sous-sol;
- Du temps de renouvellement de l'eau de la nappe par l'eau d'infiltration.

On voit l'importance des minéraux solubles des roches et de la perméabilité de l'aquifère dans la minéralisation de l'eau [16].

V.1. Paramètres Physico-chimiques :

1. La Température :

Joue un rôle important dans la solubilité de sels et surtout des gaz, la dissociation des sels dissous donc sur la conductivité électrique [17], le développement et la croissance des organismes vivants dans l'eau et particulièrement les microorganismes [16].

2. Potentiel d'hydrogène (pH) :

Ce paramètre est en relation avec la concentration en ions hydrogène H^+ dans l'eau. Plus simplement, il mesure l'acidité ou l'alcalinité d'une eau [18].

3. Conductivité électrique :

La mesure de la conductivité permet d'apprécier rapidement la minéralisation de l'eau et d'en suivre l'évolution [19].

4. Turbidité :

Elle est liée à sa transparence. Elle est causée dans les eaux par la présence de matière en suspension (MES) [20].

5. Dureté TH :

La dureté ou titre hydrotimétrique d'une eau correspond à la somme des concentrations en cations métalliques à l'exception de ceux des métaux alcalins et de l'ion hydrogène. Dans la plupart des cas la dureté est surtout due aux ions calcium et magnésium auxquels s'ajoutent quelquefois les ions fer, aluminium, manganèse, strontium [21].

6. Alcalinité TA et TAC :

L'alcalinité ou le titre alcalimétrique complet (TAC) d'une eau correspond à sa capacité à réagir avec les ions d'hydrogènes (H^+) [18].

7. Résidus secs :

Le résidu sec donne une information sur la teneur en substances dissoutes et en suspension non volatiles (le taux des éléments minéraux), obtenues après une évaporation d'eau [22].

8. Minéralisation globale :

La minéralisation globale correspond à la concentration de l'ensemble des sels minéraux dissous (la somme des cations et des anions et sels combinés) et dépend de la géologie des terrains traversés [23].

L'arrêté interministériel du 22 janvier 2006 fixe les proportions d'éléments contenus dans les eaux minérales naturelles et de sources ainsi que les conditions de leur traitement et les adjonctions autorisées. L'annexe I associée à cet arrêté donne les seuils de concentration des substances indésirables et toxiques indiqués, pour la qualification des eaux minérales naturelles [24].

Tableau 1: Comparaison des indicateurs de qualité des eaux minérales naturelles [24]

Concentration maximale admissible selon les normes (en mg/l)				
Caractéristiques	Symbole	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 ³⁺	0,005	0,005	0,005
Arsenic	As ³⁺	0,05	0,01	0,01
Baryum	Ba	1	1	0,7
Borates	BO ₃ ³⁻	5	PM	5
Cadmium	Cd ²⁺	0,003	0,003	0,003
Chrome	Cr ³⁺	0,05	0,05	0,05
Cuivre	Cu ²⁺	1	1	1
Cyanure	Cn ⁻	0,07	0,07	0,07
Fluorure	F ⁻	5	5	1–2
Plomb	Pb ²⁺	0,01	0,01	0,01
Manganèse	Mn ²⁺	0,1	0,5	0,5
Mercure	Hg ²⁺	0,001	0,001	0,001
Nickel	Ni ²⁺	0,02	0,02	0,02
Nitrates	NO ₃ ⁻	50	50	50
Nitrites	NO ₂ ⁻	0,02	0,1	0,02
Sélénium	Se ²⁻	0,05	0,01	0,01

Le tableau 1 donne cette comparaison, en fonction des différentes législations, des valeurs seuils pour l'ensemble des éléments indicateurs d'une dégradation éventuelle de la qualité des eaux minérales. 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 [24].

Tableau 2 : Comparaison des indicateurs de qualité des eaux de sources [24]

Valeur maximale admissible selon les normes				
Caractéristiques	Symbole	Unités	Algériennes (Arrêté interministériel du 22 janvier 2006)	Européennes (Directive 98/83/CE du conseil du 3 novembre 1998)
Caractéristiques physico-chimiques				
pH	–	–	6,5–8,5	6,5–9,5
Conductivité à 20 °C	–	µs/cm	2800	2500
Chlorures	Cl ⁻	mg/l	200–500	250
Sulfates	SO ₄ ²⁻	mg/l	200–400	250
Magnésium	Mg ²⁺	mg/l	150	50
Sodium	Na ⁺	mg/l	200	200
Potassium	K ⁺	mg/l	20	12
Aluminium total	Al ³⁺	mg/l	0,2	0,2
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 ²⁺	mg/l	0,3	0,2
Manganèse	Mn ²⁺	mg/l	0,5	0,05
Cuivre	Cu ²⁺	mg/l	1,5	2
Zinc	Zn ²⁺	mg/l	5	3
Argent	Ag ⁺	mg/l	0,05	0,01
Fluorures	F ⁻	mg/l	0,2–2	1,5
Azote	NH ₄ ⁺	mg/l	1	1
Substances toxiques				
Arsenic	As ³⁺	mg/l	0,05	0,01
Cadmium	Cd ²⁺	mg/l	0,01	0,005
Cyanure	Cn ⁻	mg/l	0,05	0,05
Chrome	Cr ³⁺	mg/l	0,05	0,05
Mercure	Hg ²⁺	mg/l	0,001	0,001
Plomb	Pb ²⁺	mg/l	0,055	0,01
Sélénium	Se ²⁻	mg/l	0,01	0,01
Benzo (1, 2,3-cd) pyrène	–	µg/l	0,01	0,01

Le tableau 2 donne cette comparaison et indique que pour ce type d'eau, 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 mentionnés dans les annexes de la directive européenne [24].

V.2. Paramètres microbiologiques :

Au cours de sa commercialisation, l'eau minérale naturelle:

- doit être d'une qualité telle qu'elle ne présente aucun risque pour la santé du consommateur (absence de microorganismes pathogènes);
- doit être en outre conforme aux spécifications microbiologiques ci-après, relatives à la qualité [12].

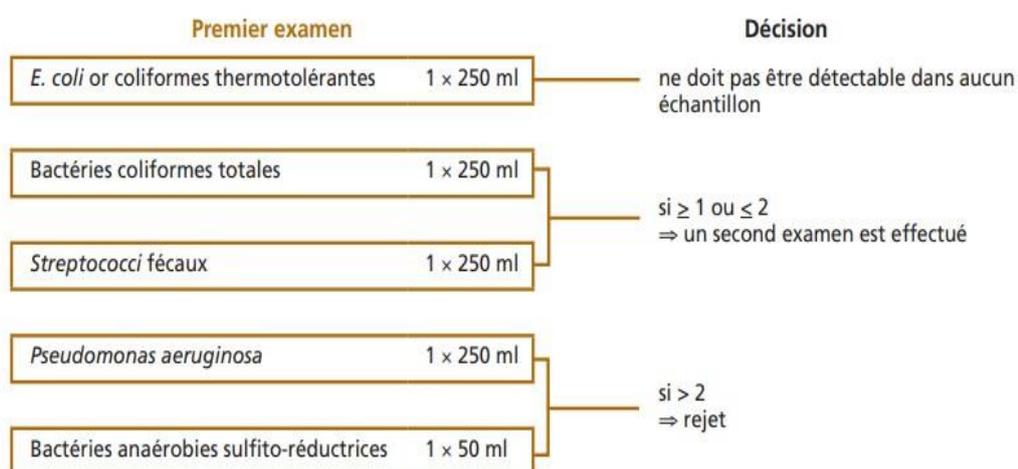


Figure 1: Premier examen microbiologique d'une eau minérale

Tableau 3: Résultats du premier et second examen

Second examen	n	c1	m	M
Bactéries coliformes totales	4	1	0	2
Streptococci fécaux	4	1	0	2
Anaérobies réductrices de sulfite	4	1	0	2
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	4	1	0	2

Le second examen doit être effectué en utilisant les mêmes volumes que pour le premier examen.

n: nombre d'unités d'échantillonnage prélevées dans un lot qui doit être examinée vertu d'un plan d'échantillonnage donné.

c1: nombre maximum admissible d'unités d'échantillonnage pouvant dépasser le critère microbiologique m. Le dépassement de ce nombre entraîne le rejet du lot.

m: nombre ou niveau maximum de bactéries/g; les valeurs supérieures à ce niveau sont soit marginalement admissibles, soit inadmissibles.

M: quantité servant à distinguer les aliments d'une qualité admissible de ceux d'une qualité inadmissible. Les valeurs égales ou supérieures à M dans l'un quelconque des échantillons sont inadmissibles à cause des risques qu'elles présentent pour la santé, des indicateurs sanitaires ou des risques de détérioration [12].

V.3. Paramètres organoleptiques :

L'eau ne doit pas présenter de :

- coloration
- de trouble d'odeur
- de trouble de saveur.

Ces paramètres sont les seuls directement accessibles au consommateur [25].

VI. Pollution des Eaux minérales et des Eaux de sources :

Les polluants que l'on peut retrouver dans les eaux souterraines sont très variés. On peut distinguer :

- les contaminants inorganiques, parmi lesquels :
 - les fertilisants (nitrates, phosphates) utilisés en agriculture [26].
 - les sels dans des contextes de nappes littorales surexploitées ou de remontées d'eaux profondes [27].
 - les métaux (cadmium, mercure, plomb, manganèse, arsenic par exemple) qui sont fréquemment retrouvés dans les eaux souterraines. Ils peuvent avoir une origine naturelle ou anthropique [27].
- les contaminants organiques, parmi lesquels :
 - les produits phytosanitaires (ou pesticides) qui sont utilisés pour protéger les végétaux contre les organismes nuisibles. Plus de 200 molécules différentes ont été retrouvées dans les eaux souterraines entre 2007 et 2009 [28].
 - les produits pharmaceutiques, qui ne font pas l'objet, à ce jour, de suivis réguliers.
 - les hydrocarbures et huiles minérales, qui ont généralement une présence localisée résultant d'une pollution accidentelle [27].
 - les produits organiques industriels (HAP, solvants chlorés, phtalates par exemple) très peu dégradables et très toxiques [27].

VII. Démarche réglementaire de protection des eaux minérales en Algérie :

Caractérisée par quelques imperfections et une situation de pseudo vide-juridique pour un traitement spécifique recommandé, la législation appliquée en Algérie jusqu'à juillet 2004, en matière d'exploitation et de production des eaux conditionnées, a engendré une situation de non contrôle et de confusion, notamment en matière de qualité. Cette situation a poussé les pouvoirs publics à adopter une série de textes relatifs à l'exploitation et à la protection des eaux minérales naturelles et des eaux de sources embouteillées. Ces textes reflètent bien la volonté des pouvoirs publics de concrétiser la mise à niveau de l'ensemble du dispositif réglementaire aux normes internationales. Les textes adoptés répondent à deux objectifs fondamentaux, à savoir le respect des qualifications requises pour la sélection de ces types d'eaux et pour leur consommation et le respect de l'environnement.

Ainsi, et conformément aux dispositions des derniers textes adoptés (Arrêté interministériel du 22 janvier 2006), (Décret exécutif no 04-196 du 15 juillet 2004), l'autorisation des pouvoirs publics centraux est devenue incontournable pour l'exploitation, la production et la commercialisation des eaux minérales et des eaux de sources. Auparavant, et en application du décret relatif à la concession des travaux de recherche et de captage d'eau (Décret no 86-227 du 2 Septembre 1986), cette autorisation s'effectuait au niveau local. Avec les nouveaux textes, cette démarche n'est devenue qu'une étape pour l'obtention de l'autorisation d'exploitation. Celle-ci est désormais subordonnée à l'étude et à l'analyse de la nature de l'eau à exploiter, aux études environnementales et aux études d'impacts, rendues obligatoires par la nouvelle réglementation. Ces études sont suffisantes pour l'appellation eau de source. La dénomination d'eau minérale n'est toutefois accordée qu'après un suivi rigoureux de la qualité de l'eau produite. Ce suivi est réalisé pour une période d'une année et doit prouver la stabilité des caractéristiques physico-chimiques de l'eau mise en exploitation. Quant à la commercialisation du produit conditionné, elle est subordonnée au respect d'un nouvel étiquetage qui comporte obligatoirement l'indication des éléments contenus dans les eaux commercialisées. Ces précautions réglementaires visent à protéger le consommateur et à l'aider dans son choix d'une eau minérale appropriée selon le goût et éventuellement les vertus thérapeutiques recherchées [24].

VIII. Catégories des eaux minérales naturelles :

Pour la classification des eaux minérales, plusieurs méthodes peuvent être appliquées. En se basant sur une combinaison des propriétés géologiques, hydrochimiques, et aspects thérapeutiques.

Selon les normes Algériennes [29], et selon le protocole proposé par A. Hazzab [24] deux types de classification sont considérés. La première classification est basée sur la valeur du résidu sec. La seconde classification tient compte de la teneur des constituants ioniques (calcium [Ca²⁺], magnésium [Mg²⁺], chlorures [Cl⁻], sulfates [SO₄²⁻]. . .). Les dites classifications sont données respectivement dans les Tableaux 4 et 5 [24].

Tableau 4: Classification des eaux minérales en fonction de la minéralisation

Classe d'eau	
Eaux faiblement minéralisées	Résidu sec ≤ 50 mg/l
Eaux oligo-minérales	50 mg/l < Résidu sec ≤ 500 mg/l
Eaux modérément minéralisées	500 mg/l < Résidu sec ≤ 1500 mg/l
Eaux riches en sels minéraux.	Résidu sec > 1500 mg/l

Tableau 5: Classification des eaux minérales en fonction de la composition ionique

Catégories d'eau	
Eaux calciques	Teneur en calcium > 150 mg/l
Eaux sulfatées	Teneur en sulfates > 200 mg/l
Eaux magnésiennes	Teneur en magnésium > 50 mg/l
Eaux bicarbonatées	Teneur en bicarbonate > 600 mg/l
Eaux pauvres en sodium	Teneur en sodium < 20 mg/l
Eaux chlorurées	Teneur en chloruré > 200 mg/l

VIII.1. Propriétés des eaux minérales :

1. Les eaux sulfurées :

Les eaux minérales sulfurées, caractérisées par la présence de soufre réduit, constituent des systèmes redox en équilibre remis en question dès le contact avec l'atmosphère. Leur analyse étant souvent difficile [30].

Les eaux sulfurées ont un taux élevé en soufre qui exerce une action curative sur les muqueuses. Elles constituent une catégorie d'eau ayant d'importantes propriétés dans le traitement des voies respiratoires [31].

Utilisées dans les Spa (Sana Per Aquam) ou centre d'hydrothérapie, pour traiter principalement [32] :

- Les rhinorrhées mucopurulentes chroniques avec écoulement postérieur ;
- Les sinusites chroniques, purulentes ou hypertrophiques.
- Les rhinites hypertrophiques et croûteuses de type ozène (rares), mais surtout beaucoup plus fréquentes d'origine iatrogène (séquelles de multiples chirurgies nasales endoscopiques qui ont bouleversé la physiologie nasale) ;
- Les angines à répétition chez l'enfant lorsque l'amygdalectomie est contre-indiquée
- Les amygdalites chroniques cryptocaséuses de l'adulte ;
- Les pharyngites granuleuses ou atrophiques ;
- Les otites chroniques non cholestéatomateuses ou les otites séromuqueuses (à condition que nous soyons dans la psore)

2. Les eaux sulfatées :

Les eaux sulfatées ont une forte concentration en sulfates, et sont classées en eaux sulfatées calciques et eaux sulfatées mixtes (calciques et magnésiennes).

Selon la nature et l'abondance relative des cations associés, les eaux seront dites **sulfatées calciques** lorsque leur teneur en calcium est élevée par rapport à celle du sodium, **sulfatées sodiques** lorsque la concentration en sodium est dominante ou sulfatées mixtes lorsque leur minéralisation résulte d'un apport simultané de sulfates, de sodium et de calcium [1].

Les eaux sulfatées calciques sont utilisées pour les troubles urinaires et les maladies métaboliques, alors que les eaux sulfatées mixtes sont utilisées en dermatologie [31].

Au-delà de 300 mg/l sulfates, elles ont une action reconnue d'accélération du transit intestinal. Toutes les mamans savent qu'un ou deux biberons reconstitués avec de l'eau très riche en sulfates, peut suffire à réduire une constipation du bébé. L'utilisation au long cours est, en revanche, déconseillée.

Chez l'adulte, une eau sulfatée peut avoir les mêmes effets bénéfiques, mais aussi les mêmes inconvénients si elle est consommée au long cours [33].

3. Les eaux chlorurées sodiques :

Elles proviennent de la dissolution du sel gemme, le NaCl est en concentration parfois très importante, proche de la saturation (-300g/l) ; ces sources ont été exploitées pour l'extraction du sel de cuisine [34].Elles sont aussi exploitées en rhumatologie dans les établissements thermaux en raison de leur température optimale et d'une densité importante que les eaux de distribution publique.

Il existe deux sous-catégories :

- Les eaux chlorurées sodiques froides et très minéralisées :

Elles résultent de la dissolution naturelle dans le sous-sol de chlorure de sodium (halite) et sont très corrosives aussi vis-à-vis des installations métalliques et ne sont généralement jamais utilisées en bains ou douches à l'état pur.

- Les eaux chlorurées sodiques chaudes et moyennement minéralisées :

Leur minéralisation totale est généralement inférieure à quelques grammes par litre mais ces eaux sont corrosives aussi vis-à-vis des installations métalliques [35].

4. Les eaux faiblement minéralisées :

Appelées aussi eaux oligo-minérales, aucun élément n'y est prédominant. Ces eaux sont faiblement minéralisées, leur richesse réside dans leur thermalité et/ou leur radioactivité [34].

Il est difficile d'attribuer une activité thérapeutique à des éléments traces contenus dans l'eau à des teneurs de l'ordre du microgramme par litre [35].

Cependant cette catégorie d'eau est légère, et ne présente aucun danger pour les malades, elle est d'ailleurs recommandée pour les nourrissons et les enfants, à condition qu'elle soit pauvre en Fluor avec une teneur inférieure à 0.4 mg/L, et qu'elle réponde des exigences supplémentaires par rapport à l'eau potable : nitrates inférieure à 15 mg/L, et nitrites inférieure à 0,5 mg/L, ainsi que l'absence de micro-organismes pathogènes [36].

5. Les eaux ferrugineuses :

Elles contiennent du fer sous la forme soluble Fe^{2+} à des teneurs variant de 0,5 et 20 mg/L. Cet élément se rencontre principalement dans les eaux souterraines pauvres en oxygène et se trouve souvent associé, en faible quantité, à du manganèse soluble sous la forme Mn^{2+} [1]

Les eaux minérales ferrugineuses sont utilisées dans des maladies, ou dans des états simplement constitutionnels, où le sang présente un appauvrissement de son élément

ferreux ou globulaire [37].Cependant, une consommation excessive de ces eaux est dangereuse pour les personnes atteintes d'Hémochromatose ; une maladie génétique qui se caractérise par une hyper-absorption du fer avec des dépôts secondaires au niveau du foie, cœur, pancréas, glandes endocrines, articulations et peau [38].

Bien que le fer soit essentiel à la nutrition humaine, l'eau de boisson n'est pas considérée comme une source importante de cet élément. A des concentrations de l'ordre de 0,3 mg/litre, le fer tache le linge et les installations sanitaires domestiques et donne mauvais goût aux boissons [39].Sa présence en grande quantité est surtout indésirable pour des raisons esthétiques car la précipitation du fer en excès teinte l'eau d'un rouge brun désagréable.

6. Les eaux bicarbonatées gazeuses :

Lorsque les eaux minérales présentent des concentrations particulièrement élevées en ions hydrogénocarbonates (plus de 600 mg/L en HCO_3^-) et qu'elles contiennent du dioxyde de carbone libre en excès (plus de 250 mg/L), elles sont dénommées « eaux bicarbonatées gazeuses ». Ces eaux peuvent être « bicarbonatées » sodiques, calciques, ou mixtes [1].

Les eaux riches en bicarbonates pourraient permettre une meilleure vidange de l'estomac, elles modifieraient également la sensation de lourdeur après le repas, mais peu de recherches scientifiques confirment ces effets bénéfiques. Les résultats dont disposent les médecins sont souvent issus d'enquêtes de satisfaction menées par les industriels eux-mêmes.[40]

VIII.2. Embouteillage et étiquetage des eaux minérales :

VIII.2.1. Embouteillage :

La mise en bouteille des eaux minérales passe par plusieurs tâches qu'on cite :

- Le captage : l'eau minérale naturelle est puisée dans les profondeurs, à l'usine d'embouteillage, il est alimenté par des forages.
- L'acheminement : l'eau est ensuite acheminée de la source à l'usine d'embouteillage dans des conduits d'eau.
- Le remplissage : comprend le rinçage et le remplissage des bouteilles de l'eau traitée, ainsi que l'étiquetage et l'indication de la date de fabrication et d'expiration.
- L'emballage : les bouteilles sont empaquetées et stockées dans un endroit aéré, et expédiées après l'autorisation du laboratoire.

Les locaux doivent comporter un laboratoire de contrôle qualité, hygiène, nettoyage et désinfection ; Une salle de traitement d'eau ; des ateliers de maintenance ; et un magasin de stockage [41].

VIII.2.2. Etiquetage :

L'étiquète est placée directement sur la bouteille d'eau. Un marquage au laser permet d'y inscrire la date limite optimale de l'eau et le numéro du lot auquel elle appartient afin d'en assurer la traçabilité.

Les mentions obligatoires qui doivent être indiqués sur l'étiquetage sont [42]:

- La dénomination de vente, comme par exemple : « Eau minérale Naturelle, Eau de source ».
- Le volume net.
- La mention « à consommer de préférence avant le : » suivie de la date limite optimale ou de l'indication du lieu où elle est sur l'emballage.
- Les conditions particulières de conservation et d'utilisation.
- Le nom et l'adresse du fabricant ou du conditionneur.
- Le lot de fabrication.
- La mention de la composition physico-chimique, précisant les constituants caractéristiques.
- Le lieu où sont exploités la source et le nom de celle-ci.
- L'indication des traitements éventuels.

IX. Classification hydro-chimique des eaux minérales :

IX.1. Diagramme de Piper :

Le diagramme de Piper permet une représentation des anions et des cations sur deux triangles spécifiques dont les côtés témoignent des teneurs relatives en chacun des ions majeurs par rapport au total de ces ions (cations pour le triangle de gauche et anions pour le triangle de droite). La position relative d'un résultat analytique sur chacun de ces deux triangles permet de préciser en premier lieu la dominance cationique et anionique.

A ces deux triangles, est associé un losange sur lequel est reportée l'intersection des deux lignes issues des points identifiés sur chaque triangle (Figure 2). Ce point d'intersection représente l'analyse globale de l'échantillon, sa position relative permet de préciser le faciès de l'eau concernée [43].

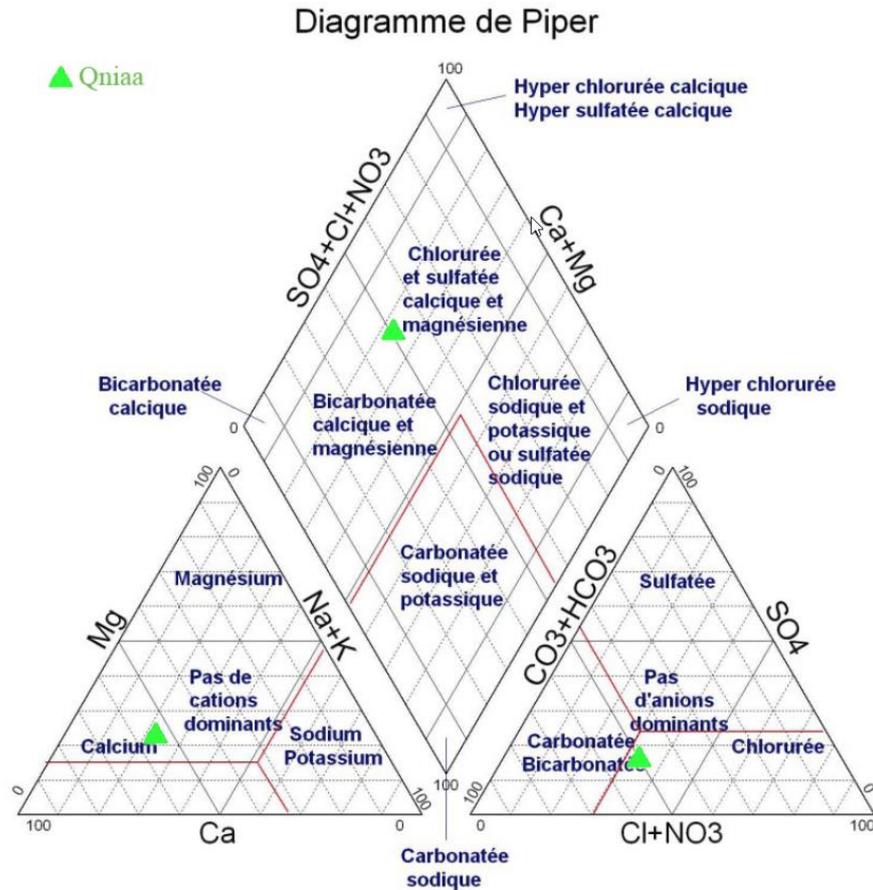


Figure 2: Exemple de diagramme de Piper (Eau de source Qniaa)

- Sommet du losange = faciès sulfaté / chloruré, calcique / magnésien.
- Base du losange = faciès bicarbonaté / sodique.
- Pointe droite du losange = faciès sulfaté / chloruré, sodique.
- Pointe gauche du losange = faciès bicarbonaté, calcique / magnésien.

IX.2. Diagramme de Schoeller-Berkaloff :

Le diagramme de Schoeller-Berkaloff permet de représenter le faciès chimique de plusieurs échantillons d'eaux. Chaque échantillon est représenté par une ligne brisée. La concentration de chaque élément chimique est figurée par une ligne verticale en échelle logarithmique.

La ligne brisée est formée en reliant tous les points qui représentent les différents éléments chimiques. Un groupe d'eau de minéralisation variable mais dont les proportions sont les mêmes pour les éléments dissous, donnera une famille de lignes brisées parallèles entre elles. Lorsque les lignes se croisent, un changement de faciès chimique est mis en évidence [44].

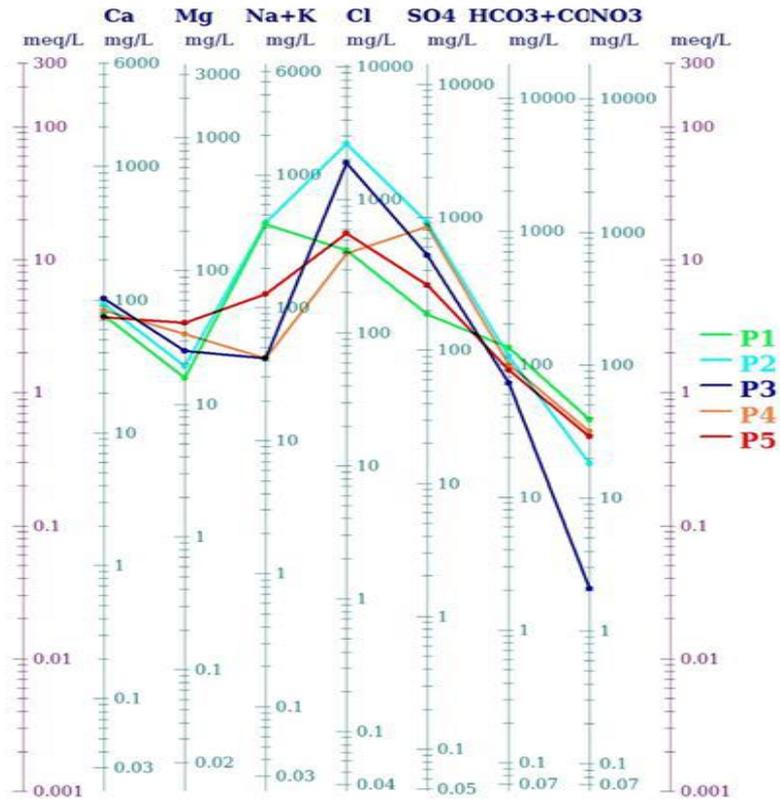


Figure 3: Diagramme de Schoeller-Berkaloff

La lecture des concentrations est plus pratique sur le diagramme de Schoeller-Berkaloff, vu que les valeurs sont exprimées en milliéquivalents par litre (meq/L), comparée à celle de Piper qui se fait en $\%$ (meq/L) et permet donc de visualiser, de manière relative les concentrations en éléments majeurs.

X. Étude des eaux minérales et de sources en Algérie:

En 2014, une caractérisation des eaux minérales et de sources a été établie par S.Sellami, un mémoire de Master encadré par Monsieur A. Aouabed [45]. Son étude était basée sur ses propres valeurs relevées des étiquettes des bouteilles d'eau (2011 et 2014), mais aussi sur des valeurs tirées des travaux d'A. Hazzab [24] pour l'année 2006. Les résultats pour les différentes années sont représentés sur le tableau 6.

Tableau 6: Caractéristiques physico-chimiques des eaux minérales et de sources [45]

Caractéristiques physico-chimiques des eaux minérales en Algérie :													
Source	Année	Concentration des anions (mg/l)						Concentration des cations (mg/l)				pH	Résidus sec (mg/l)
		SO ₄ ⁻	Cl ⁻	F ⁻	HCO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺		
Saida	2014	65	81	-	376	-	15	68	50	58	02	7.5	478
	2011	65	81	0.15	376	-	15	68	50	58	02	7.5	478
	2006	65	81	0.15	376	-	15	68	50	58	02	7.5	478
Messerghine	2014	50	120	-	306	-	8	64	42	60	3	7.17	640
	2011	35	128	0.2	331	-	-	62.6	41	63	7.7	7.3	577
	2006	35	128	02	331	-	-	63	41	63	08	7.3	577
Mouzaia	2014	85	150	-	822	-	<8	136	75	145	01	6.57	1260
	2011	85	150	-	822	-	01	136	75	138	01	6.5	1625
	2006	85	150	-	822	-	01	136	75	138	01	6.5	1625
Guedila	2014	81	38	-	317	-	2.59	72	39.6	29	2	7.34	572
	2011	81	38	-	317	-	2.59	72	39.6	29	2	7.34	572
	2006	171	43	-	317	-	07	79	47	47	1	7.1	712
Ifri	2014	53	72	-	268	<0.02	15	81	24	15.8	2.1	7.2	380
	2011	53	72	-	265	<0.02	15	81	24	15.8	2.1	7.2	380
	2006	35	37	0.2	265	0.02	<1.5	74	20	16	2.1	7.2	380
Lalla Khedidja	2014	7	11	0.26	160	-	0.42	53	7	5.5	0.54	7.22	178
	2011	7	11	0.26	160	-	0.42	53	7	5.5	0.54	7.22	178
	2006	7	11	0.26	172	-	0.5	53	7	5	0.5	7.2	178
Batna	2014	40	22	-	378.2	-	-	59	45	15	2	6.9	650
	2011	29	18	-	373	-	-	58	43	13	3.1	7.2	450
	2007	29	18	-	373	-	-	58	43	13	3.1	7.2	450
Nestlé	2014	31	15	-	210	-	8	57.9	16.3	12	0.5	7.6	300
	2011	21	22	-	230	-	4.8	55	11	34	0.5	7	297
	2007	21	22	-	230	-	4.8	55	11	34	0.5	7	297
Toudja	2014	16.2	60.2	-	212	<0.02	1.01	55.4	14.4	32.9	0.6	7.47	334
	2011	21	71	-	212	0.02	-	61	14	52	0.8	7.4	248
	2006	21	71	-	212	0.02	-	61	14	52	0.8	7.4	248

La classification hydro-chimique de ces eaux pour les années 2006-2007, 2011 et 2014 a été établie grâce aux diagrammes de Piper et Schoeller-Berkaloff.

Pour résumer, leur analyse des diagrammes des 3 années leur a permis de conclure que la plupart des eaux en Algérie ont un faciès bicarbonaté calcique et magnésien avec un rapprochement pour quelques eaux vers le pôle chloruré et sulfaté calcique et magnésien, il s'agit de Lalla Khedidja, Messerghine, Batna, Ifri et Guedila.

Pour le triangle des anions, presque toutes les eaux se situent dans le pôle bicarbonaté, à l'exception de Toudja et Messerghine qui se situent dans le pôle chloruré.

XI. Conclusion :

Les eaux minérales sont caractérisées par leur composition chimique constante et leur stabilité en minéraux et oligo-éléments.

Grâce à l'étiquette d'une bouteille d'eau minérale, qui contient tous les renseignements utiles, nous pouvons procéder à une étude physico-chimique de cette eau pour valider la conformité ou non du produit. Ceci afin de rassurer le consommateur de la stabilité de ces eaux et d'en déterminer les propriétés favorables à la santé.

CHAPITRE 2 :
PARTIE EXPERIMENTALE

I. Introduction :

L'étiquette d'une eau minérale nous révèle beaucoup d'informations sur celle-ci, la récolte de plusieurs étiquettes de différentes marques d'eaux minérales naturelles récentes et présentes sur le marché va nous aider à procéder à l'étude physico chimique de celles-ci en commençant par la classification selon la minéralisation puis selon la composition chimique suivie d'une analyse de la balance ionique pour obtenir des résultats (des diagrammes) qu'il faudra interpréter, tel est le but de ce chapitre .

II. Méthodologie de travail :

Ce travail porte l'étude sur 12 marques d'eaux minérales embouteillées en Algérie à partir des paramètres physico-chimiques indiquées sur les étiquettes de ces eaux.

Ces étiquettes ont été obtenues à partir des bouteilles qui existent dans notre région (Blida, Aïn Defla) mais aussi auprès de nos proches qui vivent dans différentes wilayas (Batna, Ghardaïa, Laghouat, Constantine...) avec le moyen des réseaux sociaux.

L'objectif de ce travail est de déterminer la qualité de ces eaux, de les comparer entre elles, et de les caractériser afin d'établir leur classification selon deux méthodes :

- Selon la minéralisation et la composition chimique en premier lieu
- Selon la balance ionique en se basant sur les diagrammes de Piper et de Schoeller-Berkaloff en second lieu

III. Caractéristiques physico-chimiques et catégories des eaux minérales en Algérie :

Les caractéristiques physico-chimiques des eaux minérales en Algérie étiquetées sur les bouteilles sont indiquées dans le tableau 6. Toutes les bouteilles mentionnées sur le tableau ont été produites en 2020.

Pour la première méthode de caractérisation, deux types de classifications sont proposés ; le premier et le plus classique (Tableau 7) qui se base sur la valeur du résidu sec à 180°C.

Pour le deuxième type, la classification dépend de la composition chimique de l'eau et se détermine par les teneurs des ions (Tableau 8).

Les concentrations sont mentionnées en mg/l dans ces derniers tableaux, et devront être converties plus tard en milliéquivalent par litre pour l'étude de la balance ionique.

Tableau 7: Caractéristiques physico-chimiques des eaux minérales en Algérie

Les anions majeurs en mg/l							Les cations majeurs en mg/l				pH	Résidus sec (mg/l)
Marque	Année	SO ₄ ⁻	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	F ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺		
Messerghine	2020	50	78	260	5	-----	52	42	45	3	7.2	320
Salsabil	2020	20	21	110	6.8	-----	22.4	6	32	6.2	7.5	199
Youkous	2020	35.8	25.7	218	2	-----	77.4	14.5	13.4	4.69	7.4	285
Lalla Khedidja	2020	7	11	160	0.42	0.26	53	7	5.5	0.54	7.22	187
Manbaa al Ghozlane	2020	153	84	326	8.9	-----	93	31	68	4	7.1	725
Batna	2020	40	22	378.2	0	-----	59	45	15	2	6.9	650
Ifri	2020	68	72	265	15	-----	99	24	15.8	2.1	7.2	380
El Goléa	2020	36	20	107	2.4	-----	24	7	28	4.6	7.4	180
Texanna	2020	11	28.4	60	0	-----	30	9.1	11	1	7	152
Toudja	2020	19.6	54.6	212	2.55	-----	56.6	15.2	36	0.7	7.19	256
Saida	2020	65	81	376	15	-----	68	50	58	2	7.5	478
Mouzaia	2020	120	150	671	20	-----	136	75	145	3	7.5	1280

El Goléa : La teneur en bicarbonates est non mentionnée sur l'étiquette de la bouteille de cet eau, c'est ce qui nous a mené à la calculer à partir de la balance ionique en estimant que celle-ci est idéale et donc elle présente une erreur de 0%.

Toudja : La teneur en bicarbonates est également non mentionnée sur l'étiquette de la bouteille de cet eau, mais cette fois ci on a décidé de prendre la valeur d'une ancienne étiquette de l'année 2014 de cette même marque.

On remarque que pour les anions, les bicarbonates sont les ions les plus dominants avec une moyenne de 246 mg/l. Pour ce qui concerne les cations, le calcium et le sodium sont les plus dominants avec une moyenne de 64 mg/l et 49 mg/l respectivement.

A partir de ce tableau on remarque que les marques Ifri, Saida, Manbaa al Ghozlane et Mouzaia possèdent des concentrations en nitrates non négligeables et atteignent la valeur de 20mg/L dans le cas de la marque Mouzaia, par rapport au reste des eaux qui représentent des concentrations faibles ou nulles, même si on est toujours loin des 45mg/L de la norme.

Tableau 8: Classification des eaux minérales en Algérie selon la minéralisation

Classification	Critère	Eaux
Eau riche en sels minéraux	Résidu sec > 1500 mg/L	-----
Eau moyennement minéralisée	500 mg/L < Résidu sec < 1500 mg/L	Manbaa al Ghozlane, Batna, Mouzaia
Eau faiblement minéralisée	50 mg/L < Résidu sec < 500 mg/L	Messerghine, Salsabil, Youkous, Lalla Khedidja, Ifri, Saida, Texanna, El Goléa, Toudja
Eau très faiblement minéralisée	Résidu sec < 50 mg/L	-----

D'après le tableau 8, on aperçoit que la majorité des eaux étudiées se situent dans la classe des eaux faiblement minéralisées, à l'exception de Manbaa al Ghozlane, Mouzaia et Batna qui sont des eaux moyennement minéralisées.

Tableau 9: Classification des eaux minérales en Algérie selon la composition ionique

Classification	Critère	Eaux
Eaux bicarbonatées	Teneur en bicarbonates > 600 mg/L	Mouzaia
Eaux sulfatées	Teneur en sulfate > 200 mg/L	----
Eaux chlorurées	Teneur en chlorures > 200 mg/L	----
Eaux sulfurée	Riche en soufre	----
Eaux calciques	Teneur el calcium > 150 mg/L	----
Eaux magnésiennes	Teneur en magnésium > 50 mg/L	Mouzaia
Eaux fluorées	Teneur en fluor > 1 mg/L	----
Eaux sodiques	Teneur en sodium > 200 mg/L	----
Eaux pauvres en sodium	Teneur en sodium < 20 mg/L	Youkous, Lalla Khedidja, Batna, Ifri, Texanna*

On remarque qu'à partir du Tableau 9, Mouzaia est la seule eau au caractère bicarbonaté magnésien dans cette liste car elle possède des concentrations importantes en bicarbonates ainsi qu'en Magnésium. Les 5 autres marques sont toutes des eaux pauvres en sodium.

A part Lalla Khedidja qui contient 0.26 mg/l de fluor, aucune autre eau n'indique la concentration de cet élément. Cette valeur ne dépasse pas celle indiquée par la réglementation Algérienne de 1.5 mg/l. Au cas contraire, le producteur doit le mentionner [46].

IV. Détermination du faciès des eaux minérales :

Il existe une autre méthode approximative pour déterminer le faciès, celle-ci se repose sur la simple lecture des concentrations des anions et cations majeurs. Le faciès est déterminé par la concentration la plus élevée des anions puis des cations (Tableau 10).

Tableau 10: Faciès des eaux minérales

Marque	Faciès
Messerghine	Bicarbonaté Calcique
Salsabil	Bicarbonaté Sodique
Youkous	Bicarbonaté Calcique
Lalla Khedidja	Bicarbonaté Calcique
Manbaa al Ghozlane	Bicarbonaté Calcique
Batna	Bicarbonaté Calcique
Ifri	Bicarbonaté Calcique
El Goléa	Bicarbonaté Sodique
Texanna	Bicarbonaté Calcique
Toudja	Bicarbonaté Calcique
Saida	Bicarbonaté Calcique
Mouzaia	Bicarbonaté Sodique

On remarque à partir du tableau ci-dessus que le faciès abondant est celui du Bicarbonaté Calcique puisque 9 marques sur 12 le possèdent et donc 75% des eaux étudiées sont considérées comme Bicarbonaté Calcique à l'exception des marques Salsabil, El Goléa et Mouzaia qui possèdent un faciès Bicarbonaté sodique.

V. Etude de la balance ionique :

1. Données :

Les données ont été prises des étiquettes de l'ensemble des 12 bouteilles cités dans le Tableau 6. Lors des calculs, seulement les éléments majeurs seront utilisés :

- Pour les cations : Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+
- Pour les anions : Cl^- , HCO_3^- , SO_4^- , NO_3^-

2. Analyse de la balance ionique :

Le contrôle des résultats de l'analyse d'une eau naturelle peut être effectué par l'intermédiaire de la balance ionique : c'est-à-dire par la vérification de l'échelle des anions et des cations. En théorie, et pour un pH voisin de 7, la somme des anions exprimée en concentration de milliéquivalents doit correspondre exactement à la somme des cations exprimée de la même manière.

En pratique, il existe presque toujours un écart entre ces deux chiffres [17]. Cette différence ne doit pas dépasser 0.3 meq pour des concentrations de l'ordre de 6 meq [21] soit 5%.

Selon la forme de la relation, l'unité de concentration est soit le milliéquivalent par litre (meq/l) ou le degré français, soit la millimole par litre (mM. l-1) [21]. Dans notre cas la relation suivante est en milliéquivalent par litre :

$$\sum C \text{ anions } [meq/l] = \sum C \text{ cations } [meq/l]$$

$$C [meq/l] = \frac{C(mg/l) * Valence}{masse molaire}$$

Tableau 11: Calcul des concentrations des ions majeurs en meq/l

Les anions majeurs en meq/l						Les cations majeurs en meq/l			
Marque	Année	SO ₄ ⁻	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺
Messerghine	2020	1.041	2.200	4.261	0.080	2.594	3.456	1.957	0.076
Salsabil	2020	0.416	0.592	1.802	0.109	1.117	0.493	1.391	0.158
Youkous	2020	0.745	0.724	3.572	0.032	3.862	1.193	0.582	0.119
Lalla Khedidja	2020	0.145	0.310	2.622	0.006	2.644	0.576	0.239	0.013
Manbaa al Ghozlane	2020	3.185	2.369	5.342	0.143	4.640	2.550	2.957	0.102
Batna	2020	0.832	0.620	6.198	0	2.944	3.702	0.652	0.051
Ifri	2020	1.415	2.030	4.343	0.241	4.940	1.974	0.687	0.053
El Goléa	2020	0.749	0.564	1.753	0.038	1.197	0.576	1.217	0.117
Texanna	2020	0.229	0.801	0.983	0	1.497	0.748	0.478	0.025
Toudja	2020	0.408	1.540	3.474	0.041	2.824	1.250	1.565	0.017
Saida	2020	1.354	2.284	6.162	0.240	3.394	4.115	2.523	0.051
Mouzaia	2020	2.500	4.231	11.00	0.322	6.788	6.172	6.309	0.076

➤ Calcul de l'erreur :

$$E = \frac{\sum C \text{ cations } [meq/l] - \sum C \text{ anions } [meq/l]}{\sum C \text{ cations } [meq/l] + \sum C \text{ anions } [meq/l]} * 100$$

- \sum cations : somme des cations majeurs contenus dans l'eau en milliéquivalent.

- \sum anions : somme des anions majeurs contenus dans l'eau en milliéquivalent.

Tableau 12: valeurs des balances ionique et leurs erreurs correspondantes

Marque	Année	Σ cations (meq/l) = Σ anions (meq/l)	Différence entre les deux concentrations	Erreur
Messerghine	2020	8.085 = 7.582	0.503	3.2%
Salsabil	2020	3.162=2.921	0.241	3.9%
Youkous	2020	5.758=5.075	0.683	6.3%
Lalla Khedidja	2020	3.473=3.085	0.388	5.9%
Manbaa al Ghozlane	2020	10.252=11.041	0.789	3.7%
Batna	2020	7.350=7.651	0.300	2.0%
Ifri	2020	7.656=8.031	0.375	2.3%
El Goléa	2020	3.109=3.105	0.004	0%
Texanna	2020	2.749=2.013	0.736	15.4%
Toudja	2020	5.659=5.463	0.196	1.7%
Saida	2020	10.083=10.04	0.043	0.21%
Mouzaia	2020	19.345=18.053	1.292	3.45%

D'après le tableau 12 on remarque que la balance ionique a été vérifiée pour la majorité des marques qu'on étudie, ensuite on observe les valeurs de l'erreur sur la balance ionique.

L'erreur est considéré comme un paramètre essentiel à l'évaluation de la qualité des résultats ; l'erreur exprimé en pourcentage et en ayant une valeur inférieure à 5% indique une bonne qualité des résultats et de façon générale l'erreur reste admissible en ayant des valeurs inférieure à 10% mais dès qu'elle dépasse cette dernière elle nous indique l'absence du dosage d'un élément majeur dans la solution ou d'un manque de précision par rapport aux dosages des autres éléments présent dans l'eau, il nous faut dans ce cas refaire l'analyse pour obtenir des résultats fiables et de bonne qualité [47].

Dans notre cas l'erreur a atteint une valeur qui dépassent l'admissible pour la marque d'eau minérale naturelle de Texanna, par contre pour Youkous et Lalla Khedidja l'erreur est inférieure à 10%, elle est même inférieure à 5% pour les autres marques.

V. Résultats et interprétation :

1. Tableaux et données :

Les valeurs des étiquettes mentionnées dans le tableau 7, nous ont permis de voir dès le premier regard que pour les anions les bicarbonates étaient les plus dominants et pour les cations, il s'agit du calcium et le sodium, ceci nous laisse supposer dire que le faciès de ces eaux se situe principalement dans le bicarbonaté calcique et/ou sodique. Ces suppositions se confirment par la suite dans le tableau 10.

La classification selon la composition ionique (Tableau 9) ne nous a pas permis de classer toutes les eaux minérales étudiées, cette méthode manque de beaucoup de précision et n'est donc pas pratique dans notre étude. C'est pourquoi il est indispensable de faire appel aux diagrammes de Piper et Schoeller-Berkaloff

2. Interprétation de la balance ionique :

Dans le cas où l'erreur a atteint une valeur qui dépasse l'admissible (Texanna) qualifiant la qualité des résultats de l'analyse de celle-ci de mauvaise, c'est peut-être due à l'absence du dosage d'un élément majeur dans la solution ou d'un manque de précision par rapport aux dosages des autres éléments présent dans l'eau, il nous faut dans ce cas refaire l'analyse pour obtenir des résultats de bonne qualité, par contre pour les marques étudiées dont l'erreur est inférieure à 10% (Youkous et Lalla Khedidja), ça indique une qualité acceptable des analyses de ces marques, pour le reste des marques avec une erreur inférieure à 5%, c'est le cas de Messerghine, Salsabil, Ifri, Saida, Mouzaia, Manbaa al Ghozlane, El Goléa et Toudja ; ceci prouve la bonne qualité de leurs analyses.

3. Etude comparative des eaux minérales à travers les années :

Cette étude comparative a pour but d'évaluer la stabilité de la composition chimique des eaux minérales présentes sur le marché à travers les années.

Les valeurs de tous ces paramètres physico-chimiques ont été tirées à partir des étiquettes portées sur les bouteilles d'eaux minérales. Les valeurs des années qui précèdent celle de 2020 ont toutes été tirées du travail de S.Sellami [45] (Chapitre 1, Tableau 6), celles de 2020 par contre elles sont rapportées des différentes étiquettes de bouteilles d'eaux minérales naturelles présentes sur le marché actuellement.

On a enlevé la marque Nestlé qui était originellement présente sur la liste car cette marque est devenue une eau de source. Il reste alors que 8 marques d'eau à comparer, les étiquettes de celles-ci sont représentés sur le tableau 13:

Tableau 13: Caractéristiques physico-chimiques des eaux minérales à travers les années

Les anions majeurs en mg/l							Les cations majeurs en mg/l				pH	Résidus sec (mg/l)
Marque	Année	SO ₄ ⁻	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	F ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺		
Batna	2020	40	22	378.2	0	-----	59	45	15	2	6.9	650
	2014	40	22	378.2	0	-----	59	45	15	2	6.9	650
	2011	29	18	373	0	-----	58	43	13	3.1	7.2	450
	2006	29	18	373	0	-----	58	43	13	3.1	7.2	450
Guedila	2020	95	40	278.5	4.5	-----	78	37	29	2	7.35	564
	2014	81	38	317	2.59	-----	72	39.6	29	2	7.34	572
	2011	81	38	317	2.59	-----	72	39.6	29	2	7.34	572
	2006	171	43	317	07	-----	79	47	47	1	7.1	712
Ifri	2020	68	72	265	15	-----	99	24	15.8	2.1	7.2	380
	2014	53	72	265	15	-----	81	24	15.8	2.1	7.2	380
	2011	53	72	265	15	-----	81	24	15.8	2.1	7.2	380
	2006	35	37	265	<1.5	0.2	74	20	16	2.1	7.2	380
Lalla Khedidja	2020	7	11	160	0.42	0.26	53	7	5.5	0.54	7.22	178
	2014	7	11	160	0.42	0.26	53	7	5.5	0.54	7.22	178
	2011	7	11	160	0.42	0.26	53	7	5.5	0.54	7.22	178
	2007	7	11	172	0.5	0.26	53	7	5	0.5	7.2	178
Messerghine	2020	50	78	260	5	-----	52	42	45	3	7.2	320
	2014	50	120	306	8	-----	64	42	60	3	7.17	640
	2011	35	128	331	0	0.2	62.6	41	63	7.7	7.3	577
	2006	35	128	331	0	0.2	63	41	63	8	7.3	577
Mouzaia	2020	120	150	671	20	-----	136	75	145	3	7.5	1280
	2014	85	150	822	<8	-----	136	75	145	1	6.57	1260
	2011	85	150	822	1	-----	136	75	138	1	6.5	1625
	2006	85	150	822	1	-----	136	75	138	1	6.5	1625
Saida	2020	65	81	376	15	-----	68	50	58	2	7.5	478
	2014	65	81	376	15	-----	68	50	58	2	7.5	478
	2011	65	81	376	15	0.15	68	50	58	2	7.5	478
	2006	65	81	376	15	0.15	68	50	58	2	7.5	478
Toudja	2020	19.6	54.6	212	2.55	-----	56.6	15.2	36	0.7	7.19	256
	2014	16.2	60.2	212	1.01	-----	55.4	14.4	32.9	0.6	7.47	334
	2011	21	71	212	0	-----	61	14	52	0.8	7.4	248
	2006	21	71	212	0	-----	61	14	52	0.8	7.4	248

Grâce à ce tableau on arrive à voir les compositions chimiques de toutes les eaux minérales qui se vendent dans le marché aujourd'hui et à travers les années.

On remarque que toutes ces eaux possèdent un pH qui se rapproche du neutre, elles sont soit légèrement acide comme pour le cas de l'eau de Batna possédant un pH de 6.9 soit comme pour le reste des eaux un pH légèrement basique qui varient de 7.1 jusqu'à 7.5. On constate que toutes les eaux, à part Saida et Ifri, ont connu des variations légères au niveau du pH à travers les années, pour certaines eaux il augmente et c'est le cas de Guedila, Lalla Khedidja et Mouzaia et il diminue en l'occurrence pour Batna et Toudja, par contre pour une eau comme celle de Messerghine on remarque une diminution suivie d'une augmentation à travers ces années.

Comme on constate une augmentation de la concentration des nitrates au fil des années chez les marques Guedila, Ifri, Mouzaia ce qui n'est pas bon pour la qualité de ces eaux en sachant que les nitrates sont considérés comme des indicateurs de pollution, pour la marque Messerghine on remarque une augmentation en 2014 suivie d'une diminution en 2020, on remarque également une diminution au niveau de la concentration des nitrates pour la marque Lalla Khedidja, et enfin une stabilité totale pour les marques Batna (teneur en nitrates nulle) et Saida (qui est égale à 15mg/L).

Ceci laisse nous laisse dire que Messerghine, Ifri et Mouzaia présentent une certaine instabilité de leur composition chimique.

- **Calcul du % d'instabilité :**

On **attribue le nom** de % d'instabilité pour le **taux de variation des concentrations**. Et donc :

$$\% \text{ d'instabilité} = \frac{(X2 - X1)}{X1}$$

X2 : La plus grande valeur de la somme des anions ou cations d'une marque d'eau minérale naturelle.

X1 : La plus petite valeur de la somme des anions ou cations d'une marque d'eau minérale naturelle.

Sachant qu'une eau minérale est, d'après sa définition, une eau qui témoigne d'une stabilité au niveau de ses caractéristiques essentielles, voici un tableau qui nous donne une idée sur la stabilité de toutes ces eaux :

Tableau 14: % d'instabilité des concentrations d'anions et des cations des marques d'eaux minérales naturelles à travers les années.

Marque d'eau minérale naturelle	% d'instabilité	
	Anions	Cations
Batna	4.80%	3.33%
Guedila	4.69%	2.38%
Ifri	24.18%	25.69%
Lalla Khedidja	6.33%	0.02%
Messerghine	20.47%	18.53%
Mouzaia	9.16%	2.57%
Saida	0%	0%
Toudja	5.28%	5.03%

On remarque que toutes les eaux possèdent un certain pourcentage d'instabilité à part celle de Saida qui a gardé la même composition chimique pendant toutes ces années ce qu'il lui a donné un pourcentage d'instabilité nul, on constate aussi que pour certaines marques les pourcentages atteignent des valeurs assez importantes et c'est le cas de la marque Ifri avec un pourcentage de 24.18% pour les anions ainsi qu'un pourcentage de 25.69% pour les cations, mais également celle de Messerghine avec une valeur de 20.47% pour ces anions et 18.53% pour ces cations.

- Evaluation du changement des constituants ioniques des eaux étudiées à travers les années :

En période de 6 années, ces eaux ont laissés apparaître un changement important de leur composition chimique, il s'agissait de diminution des valeurs pour certaines, ainsi qu'une augmentation pour d'autres, ces informations sont indiquées dans le tableau 15.

Tableau 15: Changement des valeurs des constituants ioniques des eaux minérales entre les années 2014 et 2020.

Eaux	Constituants ioniques	
	Augmentation	Diminution
Batna	/	/
Guedila	SO ₄ ⁻ Cl ⁻ NO ₃ ⁻ Ca ²⁺	HCO ₃ ⁻ Mg ²⁺
Ifri	SO ₄ ⁻ Ca ²⁺	/
Lalla Khedidja	/	/
Messerghine	/	Cl ⁻ HCO ₃ ⁻ NO ₃ ⁻ Ca ²⁺ Na ⁺
Mouzaia	SO ₄ ⁻ NO ₃ ⁻ K ⁺	HCO ₃ ⁻
Saida	/	/
Toudja	SO ₄ ⁻ NO ₃ ⁻ Ca ²⁺ Mg ²⁺ Na ⁺ K ⁺	Cl ⁻

On remarque de ce tableau que 62.5% des eaux minérales étudiés ont connu des changements au niveau de la composition chimiques en l'espace de 6 ans.

On constate aussi que dans le cas des eaux de Guedila, Mouzaia et Toudja une augmentation au niveau de la concentration des Nitrates, de 2.59 à 4.5mg/L pour Guedila, 8 à 20mg/L pour Mouzaia et de 1.01 à 2.55mg/L pour Toudja. Les nitrates sont des indicateurs de pollution anthropiques, principalement d'origine agricole : pratiques intensives, modes de culture et d'élevage avec épandage massif d'effluents, d'engrais, etc... et donc les nappes de ces marques d'eaux sont contaminés.

4. Diagrammes de Piper et Schoeller-Berkaloff :

Notre étude des étiquettes des eaux minérales en Algérie pour 2020 est basé sur les diagrammes de Piper et Schoeller-Berkaloff, ces deux dernier ont été établis grâce au logiciel « DIAGRAMMES du Laboratoire d'Hydrogéologie d'Avignon version 6.61 ».

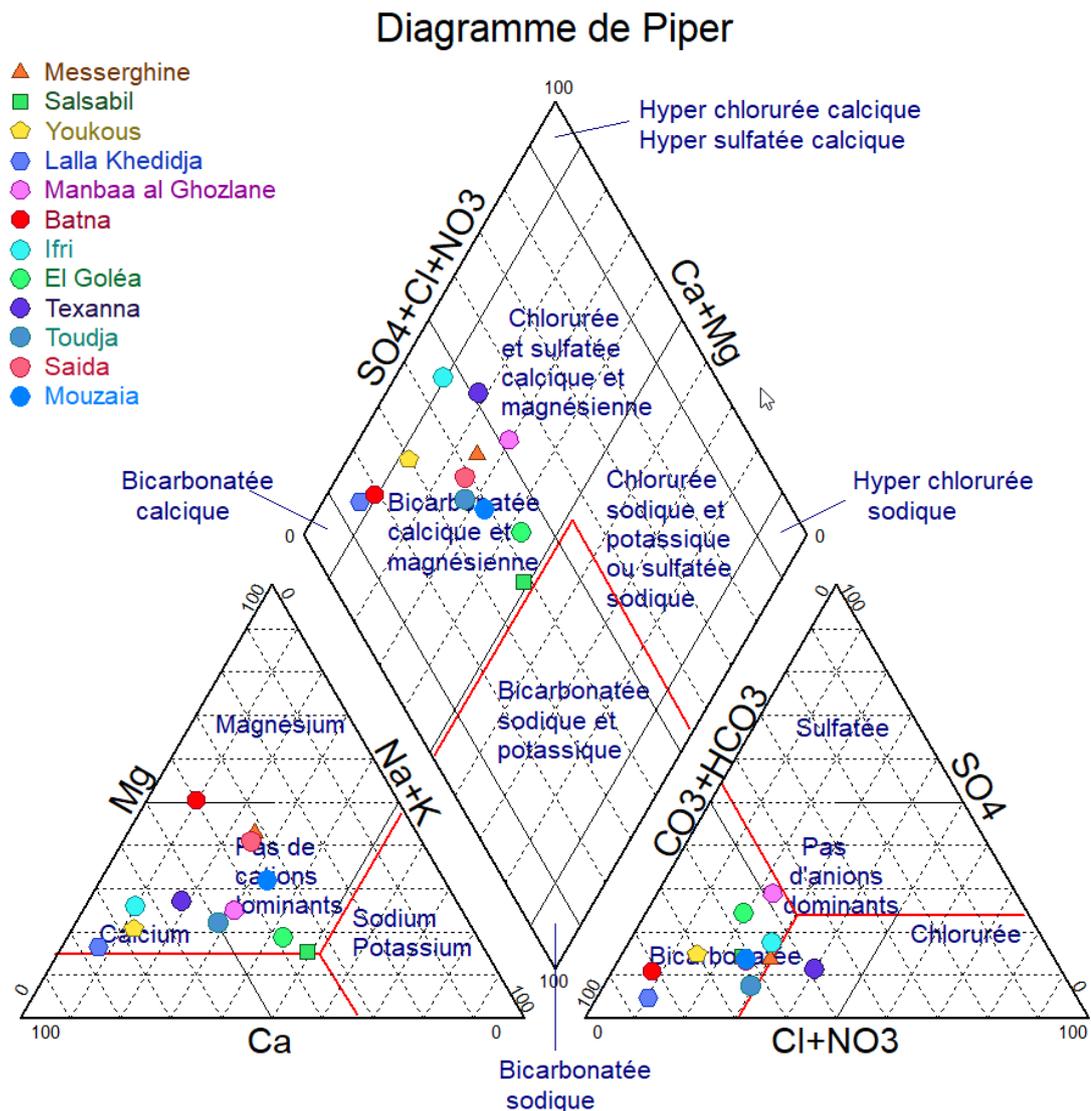


Figure 4: Diagramme de Piper pour les eaux minérales en 2020

L'analyse du diagramme de Piper (Figure 4) démontre que la plupart des eaux étudiées ont un faciès Bicarbonaté calcique et magnésien avec un rapprochement vers le faciès Chloruré et sulfaté calcique et magnésien pour Messerghine et Ifri. Pour Manbaa al Ghozlane, et Texanna il s'agit d'un faciès Chloruré et sulfaté calcique et magnésien, avec un rapprochement vers le Bicarbonaté calcique et magnésien.

On dénote que la plupart des eaux se situent dans le triangle où aucun cation ne domine. Pour Texanna, Ifri, Youkous et Lalla Khedidja, le calcium est le plus dominant. Batna se démarque des autres eaux et se trouve à la limite du pôle magnésien.

On remarque aussi que pour le triangle des anions, quasiment toutes les eaux sont bicarbonatées, avec un rapprochement vers le triangle où aucun anion ne domine pour Manbaa al Ghozlane et Texanna.

Vient ensuite le diagramme de Schoeller-Berkaloff pour appuyer les résultats du diagramme Piper au niveau du faciès hydro-chimique d'une eau minérale naturelle (Figure 5).

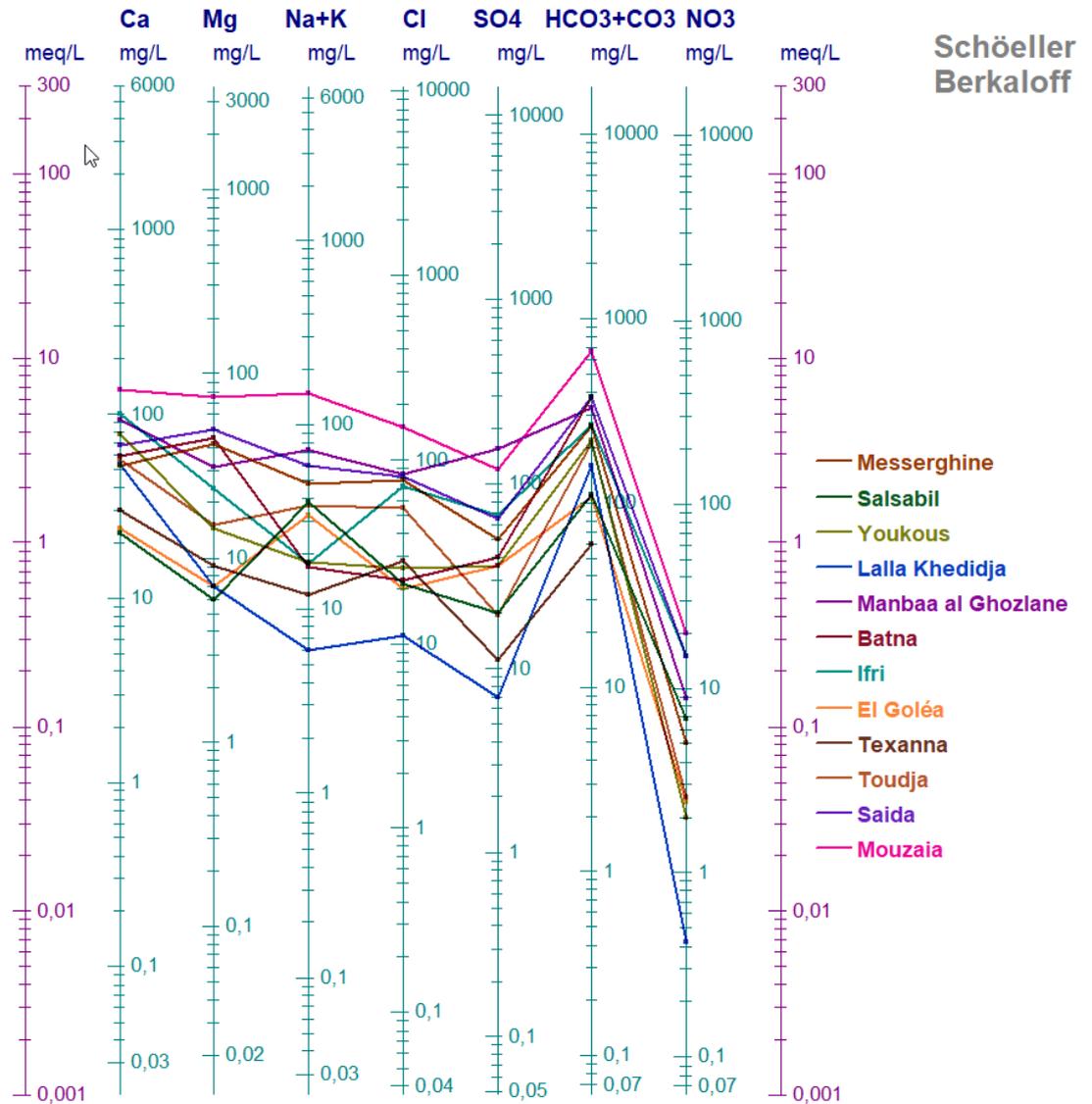


Figure 5: Diagramme de Schoeller-Berkaloff pour les eaux minérales en 2020

On a résumé ce que ce diagramme nous révèle du faciès des eaux étudiées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 16: Faciès et ordre de concentration des anions et des cations des eaux minérales étudiées d'après le diagramme de Schoeller-Berkaloff

Marque d'eau minérale	Ordre des concentrations d'anions	Ordre des concentrations des cations	Faciès	Faciès (Tableau 10)
Messerghine	$\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^- > \text{NO}_3^-$	$\text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{Na} + \text{K}$	Bicarbonaté-magnésien	Bicarbonaté Calcique
Salsabil	$\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^- > \text{NO}_3^-$	$\text{Na} + \text{K} > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$	Bicarbonaté-sodique	Bicarbonaté Sodique
Youkous	$\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^- > \text{Cl}^- > \text{NO}_3^-$	$\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na} + \text{K}$	Bicarbonaté-calcique	Bicarbonaté Calcique
Lalla Khedidja	$\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^- > \text{NO}_3^-$	$\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na} + \text{K}$	Bicarbonaté-calcique	Bicarbonaté Calcique
Manbaa al Ghozlane	$\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^- > \text{Cl}^- > \text{NO}_3^-$	$\text{Ca}^{2+} > \text{Na} + \text{K} > \text{Mg}^{2+}$	Bicarbonaté-calcique	Bicarbonaté Calcique
Batna	$\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^- > \text{Cl}^- > \text{NO}_3^-$	$\text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{Na} + \text{K}$	Bicarbonaté-magnésien	Bicarbonaté Calcique
Ifri	$\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^- > \text{NO}_3^-$	$\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na} + \text{K}$	Bicarbonaté-calcique	Bicarbonaté Calcique
El Goléa	$\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^- > \text{Cl}^- > \text{NO}_3^-$	$\text{Na} + \text{K} > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$	Bicarbonaté-sodique	Bicarbonaté Sodique
Texanna	$\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^- > \text{NO}_3^-$	$\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na} + \text{K}$	Bicarbonaté-calcique	Bicarbonaté Calcique
Toudja	$\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^- > \text{NO}_3^-$	$\text{Ca}^{2+} > \text{Na} + \text{K} > \text{Mg}^{2+}$	Bicarbonaté-calcique	Bicarbonaté Calcique
Saida	$\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^- > \text{NO}_3^-$	$\text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{Na} + \text{K}$	Bicarbonaté-magnésien	Bicarbonaté Calcique
Mouzaia	$\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^- > \text{NO}_3^-$	$\text{Ca}^{2+} > \text{Na} + \text{K} > \text{Mg}^{2+}$	Bicarbonaté-calcique	Bicarbonaté Sodique

On remarque que les bicarbonates sont les ions les plus abondants dans la plupart des eaux. On note aussi que le faciès bicarbonaté-calcique est le plus abondant au niveau des eaux minérales naturelles étudiées puisque 7 sur 12 des eaux le possèdent vient ensuite le faciès Bicarbonaté magnésien ; 3 sur 12 des eaux le possèdent et enfin arrive le faciès Bicarbonaté Sodique puisque seulement 2 eaux sur 12 le possèdent et tout ça est déduit selon le diagramme de Schoeller-Berkaloff.

Ces valeurs confirment les résultats obtenus dans le tableau 10, et nous donne la précision manquante dans les méthodes cités précédemment.

VI. Discussion des résultats :

Cette étude nous démontre que les faciès chimiques dominants sont **bicarbonaté calcique** pour ces eaux minérales.

Cette prédominance bicarbonatée-calcique peut se justifier par des **teneurs importantes en bicarbonate** et en **calcium** dans ces eaux.

En hydrochimie d'après R. Souley et al [48] les ions bicarbonates proviennent de l'altération de certains minéraux (feldspaths, calcite...), cette remarque nous permet de dire que les teneurs en bicarbonates obtenues dans cette étude sont dues aux formations géologiques de ces sources d'eaux (grès feldspathiques ou roches carbonatées).

Le pH de l'eau renseigne sur son acidité et son alcalinité. La nature des terrains traversés par les eaux est la cause naturelle, provoquant des variations importantes de ce paramètre, celui des eaux naturelles est généralement compris entre 6 et 8,5. L'analyse de ces eaux a dévoilé que le **pH est proche de la neutralité**, toutes les valeurs sont comprise entre 6.5 et 7.5 et sont donc dans les normes de potabilité. Pour des pH proches de 7 le HCO_3^- aura un rôle important dans l'augmentation de la minéralisation des eaux. La conductivité augmente avec le TAC, en conséquence [49].

La **minéralisation** ou résidu secs de ces eaux présentent des valeurs généralement **faibles** en dessous de 600 mg/L à l'exception de Manbaa al Ghozlane (725 mg/L), Batna (650 mg/L) et Mouzaia (1280 mg/L) qui sont considérées comme des eaux moyennement minéralisées. Alors que les normes permettent des valeurs pouvant dépasser les 1500 mg/L. La relation existante entre la minéralisation et de la formation de SO_4^{2-} et de HCO_3^- en excès est reliée aux phénomènes d'interactions eau/roche qui contrôlent **les teneurs** des éléments présents dans l'eau.

D'après nos études **Lalla Khedidja**, est l'eau la plus intéressante car celle-ci est très faiblement minéralisées comparées aux autres eaux étudiées (en dessous de 190 mg/L), elle présente un faciès bicarbonaté calcique, avec des teneurs en fluorure inférieurs à 0.4 mg/L, ainsi que ceux des nitrates ; en dessous de 15 mg/L, il s'agit des normes des eaux destinées aux **bébés et nourrissons** [36]. Elle pourrait alors être conseillée pour les **mamans** ayant un **bébé en plein croissance**, mais aussi pour les gens suivant un régime ou ayant des **maladies rénales**.

Salsabil et El Goléa sont bicarbonatés sodiques, mais **Salsabil** se trouve aussi à la limite du calcique selon le diagramme de Piper. Elles sont faiblement minéralisées comparé aux 12 eaux étudiées. Elles peuvent être alors consommées **régulièrement** et **sans modération**, par conséquent elle consiste une eau idéale pour les sujets obèses, les régimes sans sel et essentiellement pour les gens atteints de **maladies rénales et troubles digestifs**.

Youkous, Toudja et Ifri ont un faciès bicarbonaté calcique, elles sont faiblement minéralisées. Le fait qu'elles possèdent une importante teneur en calcium, ces eaux peuvent être conseillées pour les gens ayant des besoins accru pour cet élément, il s'agit des **gens âgés** et les **femmes enceintes** [31].

Cependant **Ifri** présente une importante **instabilité** sur sa composition chimique durant les années, évaluée à **24.5%**, ainsi qu'une grande teneur en **nitrate**s (15 mg/L) probablement due à une pollution anthropique, elle est donc **déconseillée** pour les **bébé**s et **nourrissons** [36].

Batna et **Manbaa al Ghozlane**, ont le point commun d'être moyennement minéralisées (500 mg/L < Résidu sec < 1500 mg/L) et présentent un faciès bicarbonaté calcique et magnésien avec des rapprochements vers le chloruré et sulfaté calcique et magnésien pour **Manbaa al Ghozlane**. Pour cette dernière les teneurs en sulfates et chlorures sont aussi importants que les bicarbonates, ce qui explique pourquoi cette eau est moyennement minéralisée. Ces eaux peuvent être alors recommandées pour les personnes ayant des **carences en oligo-éléments**, comme ceux atteints d'**anémie**. **Manbaa al Ghozlane** peut être aussi proposée pour les personnes ayant des **troubles intestinaux**, du fait qu'elle est **riche en sulfate**, élément reconnu pour l'**accélération du transit intestinal** [33].

Saida est la seule eau à être en même temps bicarbonatée magnésienne et faiblement minéralisée sans être gazeuse ainsi que l'unique à être resté **stable à 100%** durant les années. Du fait de son grande **teneur en magnésium**, reconnu par les médecins d'être essentiel pour nombreuses activités physiologiques et cellulaires dans l'organisme dont celles d'éviter la fatigue, de calmer le stress et réguler le sommeil, cette eau peut être alors recommandée pour les personnes souffrant de **fatigue musculaire, palpitations cardiaques, hypertension artérielle, anxiété et d'insomnie** [50].

Mouzaia, est une eau minérale **naturellement gazeuse** et **moyennement minéralisée**, son faciès est bicarbonaté calcique. Elle est riche en **sodium et calcium**, elle peut être alors recommandée pour les **malades souffrants de carences (chutes de tension artérielle, fatigue et fragilisation des eaux)**. Cependant elle doit être consommée **avec modération** car l'organisme ne peut assimiler que **1% des minéraux** contenus dans les eaux, le surplus peut alors **obstruer les reins**, qui auront du mal à les filtrer et peut devenir alors la cause **d'hypertension artérielle et maladies cardiovasculaires et rénales** [51]. C'est pourquoi il est **recommandé de varier les eaux et de ne pas consommer de manière prolongée la même eau minérale, surtout si celle-ci est fortement minéralisée.**

Le faciès de **Messerghine** selon le diagramme de Piper est assez complexe, celle-ci peut se situer dans le bicarbonaté calcique et magnésien mais aussi dans le chloruré et sulfaté calcique et magnésien, car hormis la grande teneur en bicarbonates, les autres éléments sont tous aussi présents en quantité moyenne, c'est pourquoi on peut la considérer comme une eau assez **équilibrée**. Elle peut être alors conseillée pour toute **personne saine**, et qui ne suit aucun régime et qui au contraire aurait besoin de ces **oligo-éléments**. Cependant, **Messerghine** laisse observer un **taux de variation** important de ces composants chimiques durant les années, celui-ci se situe dans la moyenne de 19%.

Texanna est bicarbonatée calcique, mais affiche une anomalie au niveau de sa balance ionique avec une erreur de 15.4% ce qui rend ses analyses peu fiables, ainsi il est difficile d'étudier cet eau et de la prescrire aux consommateurs néanmoins il est préférable de se méfier et d'éviter de consommer cet eaux pour écarter tout danger potentiel.

VII. Conclusion :

Les résultats d'analyse physico-chimique sur les 12 marques d'eaux minérales étudiées montrent :

- Un faciès hydro-chimique dominant : Bicarbonaté calcique
- Une minéralisation faible à moyenne : variant de 187 à 1280 mg/L
- Une bonne stabilité chimique pour la plupart des eaux, excepté Texanna.
- Un faible taux de nitrates : ≤ 15 mg/L

D'une manière générale, les eaux étudiées présentent une qualité physico-chimique admissible et une potabilité honorable.

CONCLUSION GENERALE

En Algérie, la consommation d'eau de robinet devient de plus en plus abandonnée et le marché des eaux embouteillées semble marquer un grand pas depuis plusieurs années. Pour choisir une eau, le consommateur se fie à la composition chimique indiquée sur l'étiquette.

La présente étude a pour objectif de faire une approche à la connaissance de la qualité physico-chimique des eaux minérales en Algérie, et d'orienter le choix du consommateur.

L'étude fondée sur les teneurs en minéralisation et composition ionique nous a donné une première idée sur les faciès de ces eaux minérales, cette étude a été suivie d'une analyse hydrochimique basée sur la représentation des ions majeurs sur les diagrammes de Piper, et de Schoeller-Berkaloff, celle-ci concède à l'identification d'un faciès hydrochimique dominant : bicarbonaté calcique.

Les résultats obtenus par le diagramme de Piper à lui seul, nous ne donnent pas assez de précision, c'est pourquoi il est utile de l'associer à celui de Schoeller-Berkaloff. Ainsi nous pouvons affirmer que ces deux diagrammes sont complémentaires.

D'après nos analyses et selon les paramètres physico-chimiques étudiés, les 12 eaux minérales examinées montrent :

- Un pH proche de la neutralité (7)
- Une faible à moyenne minéralisation
- Un taux de nitrates plus ou au moins faible

Ces paramètres montrent que ces eaux sont dans le respect des normes de potabilité.

Lors de l'analyse de la balance ionique, nous avons trouvé que la plupart des eaux avaient une erreur admissible, alors que pour Texanna, elle était au-dessus des valeurs tolérées, qui peut être justifié par des problèmes de dosages.

L'étude de stabilité de ces eaux pour différentes années montre que la plupart des eaux ont gardé une composition stable mais certaines d'entre elles ont subi de grand changement sur leur composition chimique, ce dernier travail nous a aussi laissé apercevoir que parmi les changements enregistrés, certaines eaux présentaient une augmentation des nitrates indiquant une éventuelle pollution anthropique.

Pour un consommateur ordinaire ne présentant aucune maladie, toutes les eaux étudiées peuvent être bus sans inconvénient, il est tout de même recommandé de varier d'eau minérale et de ne pas consommer la même marque de façon prolongée. Pour une personne malade cherchant une eau légère, **Lalla Khedidja** et **Salsabil** sont idéales pour s'hydrater sans se soucier de sa composition chimique. Pour une personne âgée, il est conseillé de boire soit **Youkous**, du fait de sa forte teneur en calcium dont les seniors ont besoin pour fortifier leurs os, soit **Saida**, pour ceux qui souffrent de tension artérielle ou de fatigues, car celle-ci est riche en Magnésium, élément très important pour de tels cas. En plus de ça, **Saida** est la seule eau à être resté 100% stable au fil des années.

Références bibliographiques :

- [1] Agence française de sécurité sanitaire des aliments (2008): Lignes directrices pour l'évaluation des eaux minérales naturelles, au regard de la sécurité sanitaire. Rapport AFSSA, 92 p. www.anses.fr/fr/system/files/EAUX-Ra-EauxMinerales.pdf.
- [2] Patrick, L. (2020): Les eaux minérales naturelles. Encyclopédie de l'Environnement, www.encyclopedie-environnement.org/eau/eaux-minerales-naturelles/.
- [3] Commission Européenne et Ministère de la PME et de l'artisanat du gouvernement Algérien (2005): Rapport général APAB/EDPme, Analyse Filière boissons en Algérie, Euro développement PME. p. 96.
- [4] Boudra, A. (2007): Industrie des boissons et des jus de fruits. EDPme 36p.
- [5] Boukella, M. (1996): Les industries agro-alimentaires en Algerie: politiques, structures et performances depuis l'indépendance. CIHEAM Institut Agronomique Méditerranéen de Montpellier.
- [6] Arrêté ministériel du 26 juillet 2000 ; Décret exécutif no 04-196 du 15 juillet 2004.
- [7] OMS (Organisation Mondiale de la Santé) (2003): L'Eau et la culture, Decennie Internationale de l'eau 2005-2015. Troisième Forum mondial de l'eau, 22 mars 2003.
- [8] John P, H., Donald, K. (2010): Microbiologie 3ème édition.
- [9] Décret n° 89-369 du 6 juin 1989 relatif aux eaux minérales naturelles et aux eaux potables pré-emballées.
- [10] Union Fédérale des Consommateurs - Que Choisir (2007): Dossier : eau du robinet, eau de source, eau minérale, comment choisir? <http://aixenprovence.ufcquechoisir.fr/wp-content/uploads/sites/114/2017/01/Dossier-eau-du-robinet-eau-minerale-comment-choisir.pdf>.
- [11] Arrêté du 11 janvier 2007 relatif aux limites et références de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine mentionnées aux articles R. 1321-2, R. 1321-3, R. 1321-7 et R. 1321-38 du code de la santé publique.
- [12] OMS (Organisation Mondiale de la Santé) (2006): L'eau , Première edition , codex alimentaire. www.fao.org/3/a-a1386f.pdf.
- [13] Décret exécutif n°04-196 du 15 juillet 2004 relatif à l'exploitation et la protection des eaux minérales naturelles et des eaux de source. / Art3.
- [14] Ossian Henry Perre et Ossian Henry Fils (1858): Traité pratique d 'analyse chimique des eaux minérales potables et économiques , avec leurs principales applications à l'hygiène et a l'industrie.
- [15] MANIA J. (1999): Cours d'hydrogéologie. Univ. Besançon.
- [16] UNEP., W.H.O. (1987): Global pollution and health results of related environmental monitoring. Global environment monitoring system. p. 22 p.

- [17] Rodier, J. (2005): L'analyse de l'eau. Eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer, 8ème édition - Collectif, Jean Rodier.
- [18] Rejsek, F. (2002): Analyse des eaux: aspects réglementaires et techniques. Centre régional de documentation pédagogique d'Aquitaine ; SCEREN. Paris.
- [19] SAMAKE, H. (2002): Analyse physico-chimique et bactériologique au LNS des eaux de consommation de la ville de Bamako durant la période 2000 et 2001. Mémoire de thèse de la faculté de Médecine, de Pharmacie et d'Odonto-Stomatologie de l'Université de Bamako, Mali.
- [20] JEAN-CLAUDE. B (1983): Contrôle des Eaux Douces et de Consommation Humaine. Techniques de l'ingénieur.
- [21] Rodier, J. (2009): L'analyse de l'eau. 9e édition.
- [22] Berné François et al (1991): Traitement des eaux. Technip. Paris.
- [23] Permo (1994): La pratique de l'eau: traitements de l'eau aux points d'utilisation ; comportement de l'eau dans les installations ; origine des désordres et solutions. Moniteur. Paris.
- [24] Hazzab, A. (2011): Eaux minérales naturelles et eaux de sources en Algérie. Comptes Rendus Geoscience. Vol. 343, Nr. 1, p. 20-31.
- [25] Guilemin C., Roux J. C. (1992). La pollution des eaux souterraines en France. Bilans des connaissances, impacts et moyens de prévention. Manuels et Méthodes n° 23, Editions BRGM, 262 p.
- [26] Ifen, Blum, A. (2004): L'état des eaux souterraines en France. Aspects quantitatifs et qualitatifs. Etudes et travaux n°43. p. 1-38.
- [27] Amalric, L; Baran, N; Jeannot, R; Martin, J C; Mouvert, C. (2003): Les mécanismes de transfert des produits phytosanitaires du sol vers les nappes et les méthodes d'analyse des produits phytosanitaires dans les eaux (Mechanism of Phytosanitary Products Transfer From Soil to Groundwater and Analytical Methods of Phytosani.
- [28] Service de l'observation et des statistiques (2011): Bilan de présence des aquatiques continentaux micropolluants dans les milieux Période 2007-2009 Commissariat. www.actu-environnement.com/media/pdf/dossiers/811-bilan-micropolluants.pdf.
- [29] Arrêté interministériel du 22 janvier 2006 fixant les proportions des éléments contenus dans les eaux minérales naturelles et les eaux de source ainsi que les conditions de leur traitement ou les adjonctions autorisées.
- [30] Ohayon-courtès, M.C. (1995): Les eaux minérales sulfurées Problématique générale.
- [31] Thomas, A. (2017): Etude qualitative par entretiens semi-dirigés réalisée dans les établissements thermaux de Vittel, Bains-les-Bains et Plombières-les-Bains. Thèse Pour obtenir le grade de Docteur en Medecine, Universite de Lorraine Faculte de Medecine de Nancy.
- [32] Gouteyron, J.F. (2012): Prescrire une cure thermale en ORL en complément d'un traitement homéopathique de terrain. Revue d'Homeopathie. Vol. 3, Nr. 2, p. 63-66.

- [33] Hubert, J. (2010): Quelles eaux de boisson faut-il consommer. *Progres en Urologie*. Vol. 20, Nr. 11, p. 806-809.
- [34] Abane, I. (2011): Le thermalisme en oto-rhino-laryngologie. Thèse pour l'obtention du doctorat en medecine, Université SIDI MOHAMMED BEN ABDELLAH, Fes.
- [35] Popoff, G. (2010): Spécificité, législation et contrôle des eaux minérales naturelles utilisées dans les établissements thermaux français. *La Presse thermale et climatique*. Vol. 147, Nr. 33, p. 93-106.
- [36] Gay, G., Hartemann, P. (2009): Fiche de recommandations alimentaires. Club de Réflexion des Cabinets et Groupes d'Hépatogastroentérologie www.cregg.org/wordpress/wp-content/uploads/2020/07/documents-n-eaux-et-sante.pdf.
- [37] Durand Fardel, M. (1862): *Traité thérapeutique des eaux minérales de France et de l'étranger, et de leur emploi dans les maladies chroniques : cours fait à l'Ecole pratique*. p. 267.
- [38] Kamgaing, T. (2007): L'hémochromatose, une maladie génétique lente mais potentiellement fatale: attention aux eaux ferrugineuses et à certaines habitudes alimentaires et nutritionnelles. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*. Vol. 1, Nr. 1, p. 90-98.
- [39] OMS (Organisation Mondiale de la Santé) (1985): *Directives De Qualite Pour L'Eau De Boisson*. Vol. 1. Recommandations. Genève. p. 129.
- [40] Camuzard, J. (2017): Les eaux pétillantes aident-elles à la digestion ?. *LeFigaro*, 2017. <https://sante.lefigaro.fr/article/les-eaux-petillantes-aident-elles-a-la-digestion-/>.
- [41] (Ansej) Agence nationale de soutien à l'emploi des jeunes (2006): FICHE TECHNIQUE - Fabrication d'eau minérale. www.ansej.dz/images/fiches/Industrie/Fabrication_d_eau_minerale.pdf.
- [42] FARCH, S. (2018): Incidence des eaux embouteillées sur la dissolution de l'hydroxyapatite dentaire. Influence de différents paramètres. Thèse de Doctorat, Université DJILALI LIABES, Sidi Bel Abbès.
- [43] JARDANI, A., DUPONT, J.-P. (2012): *Projet TIDEHYDREX : Forçages hydrologiques des aquifères du remplissage estuarien : un atelier expérimental pilote pour la prévision de l'influence des changements climatiques sur le fonctionnement hydrologique des zones humides*. *Projet Seine-Aval 4*. p. 136.
- [44] BOUCHEMAL, F. (2017): *Diagnostic de la qualité des eaux souterraines et superficielles de la région de Biskra*. Doctorat en hydraulique, Université Mohamed Khider, Biskra.
- [45] Sellami, S. (2014): *Etude physico-chimique de quelques eaux minérales naturelles et de sources en Algérie*. Mémoire de Master, Université SAAD DAHLEB I, Blida.
- [46] JORADP, (2008): *Journal officiel de la republique Algérienne et democratique et populaire N°27 du 28 mai 2008*.

- [47] Curie, F. (2006): Rétention des nitrates dans les zones humides riveraines Roles des facteurs hydrologiques, géomorphologiques et biogéochimiques. Approche multi échelle dans le bassin de la Seine. Vol. Doctorat, Université Paris VI.
- [48] Souley Moussa, R. et al. (2019): Caractérisation physico-chimique des eaux des aquifères du Continental Intercalaire / Hamadien et du Continentalsiems Terminal de la région de Zinder (Niger). International Journal of Biological and Chemical Sciences. Vol. 12, Nr. 5, p. 2395.
- [49] Awad, S. (2011): Hydrochimie et faciès géochimiques des eaux souterraines, Plaine de Bekaa. Hydrological Sciences Journal. Vol. 56, Nr. 2, p. 334-348.
- [50] Newson, J. Le guide complet du magnésium.
www.abundanceandhealth.fr/upload/ultimate-guides/FR-Ultimate-guide-Magnesium.pdf.
- [51] Keller, N., Krummel, T., Hannedouche, T. (2018): Sodium, hypertension, maladies rénales et santé publique. Nephrologie et Therapeutique. Vol. 14, p. S93-S98.