



N° d'ordre :

**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
Université d'Oran2  
Faculté des Sciences de la Terre et de l'Univers  
Département des Sciences de la Terre**

***Mémoire***

Présenté pour l'obtention du grade de  
Master 2 en Hydrogéologie

Option : Eau Souterraine & Environnement (ESE)

**Thème :**

**Hydrochimie de quelques eaux minérales embouteillées :  
Etude qualitative comparative**

**Présenté par:**

**Melle : YADEL Soriya**

**Soutenu le : 01/07/2015 devant la commission d'examen :**

<b>Mr. HASSANI M. I.</b>	Professeur	Univ. Oran 2	Président
<b>Mme. MEBROUK-ZAIDI N.</b>	Professeur	Univ. Oran 2	Encadreur
<b>Mr. FOUKRACHE M.</b>	Maitre-Assistant A	Univ. Oran 2	Examineur
<b>Mme. BENGANA N.</b>	Chef du Service Bactériologie SEOR Oran		Invitée

**Oran 2015**

# Remerciements

---

## Remerciements

Avant tout, je remercie Allah le tout puissant qui m'a donné sagesse et santé afin de réaliser ce modeste travail et arriver à récolter le fruit de mes peines.

Je ne remercierai jamais assez et je serai toujours infiniment reconnaissante envers Madame **MEBROUK-ZAIDI N.** Professeur à l'université Oran 2, qui a bien voulu m'encadrer, Je la remercie pour son attachement à la rigueur scientifique et son opiniâtreté au travail qu'elle n'a cessé de me forger. Je la remercie très sincèrement pour la confiance et l'intérêt qu'elle m'a témoigné et de m'avoir supporté pendant tout ce temps. Je la remercie de m'avoir fait bénéficier de ses connaissances et de ses critiques qui m'ont beaucoup aidée à l'amélioration de ce travail. Sa méthode rigoureuse sera pour moi un bon exemple à suivre.

Je tiens à remercier pleinement Monsieur **HASSANI M.I.** Professeur à l'université Oran 2, de m'avoir fait l'honneur de présider ce jury.

J'adresse aussi mes remerciements à Monsieur **FOUKRACHE M.** Maître-Assistant (A) à l'Université d'Oran 2, pour ses encouragements et d'avoir bien voulu examiner ce mémoire.

Mes vifs remerciements vont également à Mesdames Ablaoui H. et Hadjou F pour leurs aides et conseils, leurs encouragements, leur soutien et leur gentillesse.

Je tiens également à remercier toute l'équipe du laboratoire de la SEOR, en particulier Madame Bengana N. ainsi que Monsieur Bouadjla M., Ingénieur hydrogéologue à l'ANRH de Tizi-Ouzou, pour leurs aides.

J'adresse aussi mes remerciements à tous les enseignants qui ont participé à ma formation, ainsi qu'au personnel administratif du département des Sciences de la Terre.

Enfin, mes remerciements vont à tous mes collègues, qui m'ont encouragée et aidée dans la réalisation de ce modeste travail.

**YADEL S.**



## **DEDICACE**

*Je dédie ce modeste travail à :*

*Celui qui m'a aidé à devenir ce que je suis aujourd'hui et qui m'a indiqué la bonne voie en me rappelant que la volonté fait toujours les grands*

*A toi mon très cher père.*

*A celui qui a attendu avec patience les fruits de sa bonne éducation, qui m'a entouré d'amour, d'affection et qui fait tout pour ma réussite*

*A ma très chère mère.*

*A mes très chers frères Sidahmed et Farid.*

*A ma très chère sœur Faiza et ma très chère belle-sœur Hamida*

*A mes très chères nièces Mouna et Farah*

*A mes grandes famille Yadel et Aouad*

*A mes très chères et fidèles amies Wafaa B. Imane B. Amel B. et Nour F*

*A tous mes enseignants de tous les cycles d'étude*

*A tous mes collègues de la Promotion 2010, et à tous ce qui m'ont connue de près ou de loin.*

## **SORIYA**



# SOMMAIRE

---

## Sommaire

	Pages
Introduction générale.....	1

## Chapitre I

### Fonctionnement du système hydrominéral

1- Introduction.....	4
2- Définition d'une eau minérale .....	4
3- Fonctionnement du système hydrominéral .....	5
3-1 Schéma du circuit de l'eau minérale naturelle .....	5
3 1-1 Grandes étapes du circuit thermal.....	5
3-1-2 Moteur du circuit .....	7
3-2 Structures géologiques à l'origine du patrimoine thermal .....	7
3-3 Fonction de transfert .....	8
3-4 Zone d'émergence.....	9
3-4-1 Conditions d'émergence .....	9
3-4-2 Mélanges à l'émergence .....	9
4- Protection de gisement d'eau minérale .....	10
5- Méthodes d'investigation des bonnes pratiques .....	12
6- Conclusion .....	13

## Chapitre II

### Composition de l'eau minérale naturelle

1- Introduction.....	15
2- Acquisition du contenu minéral .....	15
2-1 Origine des éléments majeurs .....	16
2-1-1 Anions.....	17
a- Hydrogénocarbonates ( $\text{HCO}_3^-$ ) .....	17
b- Sulfates ( $\text{SO}_4^{--}$ ) .....	17

# SOMMAIRE

---

c- Chlorures (Cl <sup>-</sup> ).....	17
d- Nitrates (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ).....	18
2-1-2 Cations .....	19
a- Sodium (Na <sup>+</sup> ).....	19
b- Calcium (Ca <sup>++</sup> ) .....	19
c- Magnésium (Mg <sup>++</sup> ).....	19
d- Potassium (K <sup>+</sup> ) .....	19
2-1-3 Silice (H <sub>4</sub> SiO <sub>4</sub> ).....	20
2-1-4 Oligo-éléments.....	20
2-1-5 Gaz carbonique (CO <sub>2</sub> ).....	20
2-1-6 Matières organiques.....	21
2-1-7 Eléments radioactifs .....	21
3- Facteurs d'une composition constante .....	21
4- Conclusion .....	21

## Chapitre III

### Classification des eaux minérales

1- Introduction.....	23
2- Classification des eaux minérales .....	23
2-1 Eau minérale naturelle non gazeuse.....	23
2-2 Eau minérale naturelle gazeuse.....	23
2-3 Eau minérale naturelle dégazéifiée .....	24
2-4 Eau minérale naturelle renforcée au gaz carbonique de la source .....	24
2-5 Eau minérale naturelle gazéifiée .....	24
2-6 Eau de source .....	24
2-7 Eau de source gazéifiée.....	24
3- Classification simplifiée résumant les grandes catégories d'eaux minérales .....	25
a) Les eaux oligo-minérales à très faible minéralisation.....	25
b) Les eaux faiblement minéralisées.....	25
c) Les eaux minérales bicarbonatées sodiques et calcosodiques.....	25
d) Les eaux minérales sulfatées calciques .....	25

# SOMMAIRE

---

e) Les eaux minérales sulfatées .....	25
f) Les eaux minérales chlorurées .....	25
g) Les eaux minérales gazeuses .....	26
4- Eau minérale embouteillée .....	26
4-1 Processus d'embouteillage de l'eau minérale naturelle .....	26
4-1-1 Critères de qualité à visés sanitaire applicables à certaines substances .....	27
4-1-2 Conditionnement .....	27
4-1-3 Etiquetage .....	27
a) Nom du produit .....	28
b) Mention d'étiquetage .....	28
c) Mention d'étiquetage .....	28
5- Eau embouteillées en Algérie .....	29
5-1 Cartographie des eaux embouteillées en Algérie .....	29
5-2 Contrôle des paramètres physico-chimique .....	30
5-2-1 Paramètres physiques .....	31
a) Température .....	31
b) Potentiel hydrogène Ph .....	31
c) Conductivité .....	32
d) Résidu sec .....	32
5-2-2 Paramètres chimiques .....	33
a) Bicarbonate .....	33
b) Sulfates .....	33
c) Chlorures .....	33
d) Sodium .....	34
e) Calcium et Magnésium .....	34
f) Potassium .....	34
g) Nitrates et Nitrites .....	34
h) Fluor .....	35
i) Silice .....	35
6- Conclusion .....	35

## Chapitre IV

### Etude qualitative comparative de quelques eaux minérales en Algérie

1- Introduction .....	37
-----------------------	----

# SOMMAIRE

---

2- Description des données .....	37
2-1 Aperçu hydrogéologique des eaux minérales étudiées .....	38
a- Région Ouest .....	39
b- Région Centre .....	42
c- Région Est .....	43
d- Région Sud .....	44
2-2 Etude des paramètres physico-chimiques .....	44
2-2-1 Paramètres physiques .....	44
- pH .....	44
- Résidu sec et conductivité .....	45
- Dureté .....	48
- Couleur .....	49
- Odeur .....	49
2-2-2 Paramètres chimiques .....	49
- Calcium et Magnésium .....	49
- Sodium .....	49
- Potassium .....	49
- Bicarbonates .....	50
- Chlorures .....	50
- Sulfates .....	50
- Nitrates et Nitrites .....	50
3- Méthodes d'analyse graphique et empirique .....	51
3-1 Balance ionique .....	51
3-2 Représentation graphique .....	52
3-2-1 Diagramme de Schoeller-Berkaloff .....	53
3-2-2 Diagramme de Piper .....	56
3-3 Classification chimique des eaux minérales d'après Stabler .....	58
4- Indices de saturation .....	59
5- Etude statistique des données hydrochimiques .....	62

# SOMMAIRE

---

5-1 Paramètres statistiques élémentaires .....	62
5-2 Matrice de corrélation .....	63
5-3 Analyse en Composantes Principales (ACP) .....	64
a) Etude des variables .....	64
b) Etude des individus .....	65
6- Etude des rapports caractéristiques .....	66
7- Etude comparative .....	67
8- Traitement des eaux minérales.....	69
9- Conclusion .....	70
Conclusion générale .....	72



# LISTE DES FIGURES

---

## Liste des figures

	Page
Fig. 01 : Schéma type du circuit de l'eau minérale (Blavoux et Berthier, 1985).....	6
Fig. 02 : Processus dans la zone d'émergence du drain thermal (Blavoux et Berthier, 1985) .....	9
Fig. 03 : Représentation schématique du circuit hydrominéral d'un gisement (d'après BRGM, 2004).....	11
Fig. 04 : Situation géographique des eaux de source en Algérie (Hazzeb, 2011).....	29
Fig. 05 : Localisation des eaux minérales étudiées .....	38
Fig. 06 : Représentation sur la carte géologique des eaux minérales étudiée .....	38
Fig. 07 : Coupe hydrogéologique schématique à travers le fossé de Mansourah .....	39
Fig. 08 : Coupe hydrogéologique schématique à travers le fossé de Misserghine.....	44
Fig. 09 : Coupe hydrogéologique schématique à travers le fossé de Saida .....	41
Fig. 10 : Situation régionale du massif du Kouriet .....	42
Fig. 11 : Coupe schématique de la source de Lalla Khedidja (GEOSYSTEM, 2005).....	43
Fig. 12 : Histogramme des variations (résidu sec, conductivité et minéralisation) .....	46
Fig. 13 : Droite de corrélation entre le résidu sec et la conductivité.....	47
Fig. 14 : Droite de corrélation entre la conductivité et la minéralisation.....	47
Fig. 15 : Droite de corrélation entre la minéralisation et le résidu sec.....	47
Fig. 16 : Histogramme des variations en nitrates .....	51
Fig. 17 : Représentation graphique des éléments majeurs .....	51
Fig. 18 : Représentation graphique des eaux sur le diagramme de Schoeller .....	53
Fig. 19 : Représentation graphique des eaux sur le diagramme de Schoeller .....	54
Fig. 20 : Représentation graphique des eaux sur le diagramme de Piper.....	57
Fig. 21 : Pourcentage du faciès chimique d'après Stabler .....	58
Fig. 22 : Variation des indices de saturation .....	61
Fig.23 : Cercle de corrélation : axe 1 et 2, étude des variables.....	64

## LISTE DES FIGURES

---

Fig. 24 : Cercle de corrélation, étude des individus .....	65
Fig. 25 : Courbes de corrélation de la minéralisation et la conductivité entre eaux étudiées .....	67
Fig. 26 : Représentation graphique des éléments majeurs. ....	68

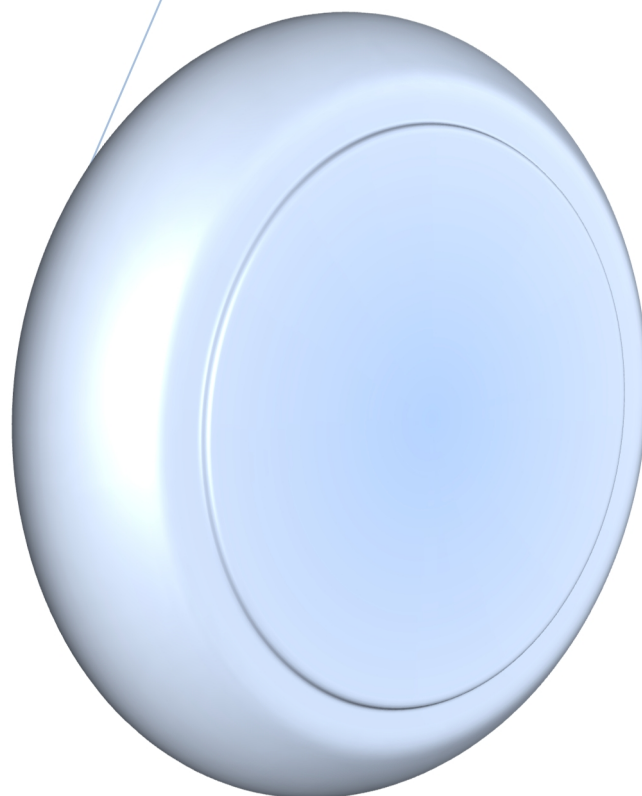
# LISTE DES TABLEAUX

---

## Liste des tableaux

	Page
Tableau n°01 : Concentration de substances lourdes .....	27
Tableau n°02 : Concentration des substances organiques.....	27
Tableau n°03 : Subdivision des eaux embouteillées en Algérie .....	79
Tableau n°04 : Les eaux minérales Algériennes .....	30
Tableau n°05 : Eaux non mentionnées dans la liste du ministère des ressources en eaux..	79
Tableau n°06 : Composition chimique des eaux étudiées.....	80
Tableau n°07 : Classification en fonction de leurs résidus secs.....	45
Tableau n°08 : Les conductivités et les minéralisations .....	46
Tableau n°09 : La dureté et leur interprétation .....	48
Tableau n°10 : Pourcentage d'erreur des analyses des eaux minérales .....	52
Tableau n°11 : Résumé des formules caractéristiques et des faciès chimiques.....	55
Tableau n°12 : Formules caractéristiques et faciès chimiques d'après la classification de Stabler.....	58
Tableau n°13 : Les indices de saturations des eaux étudiées .....	60
Tableau n°14 : Statistique descriptive des variables (en mg/l) .....	62
Tableau n°15 : Matrice de corrélation.....	63
Tableau n°16 : Valeurs propres.....	81
Tableau n°17 : Vecteurs propres .....	81
Tableau n°18 : Etude des variables .....	81
Tableau n°19 : Etude des individus.....	82
Tableau n°20 : Rapports caractéristiques .....	66
Tableau n°21 : Caractéristique de quelques eaux minérales en Europe.....	67

# **Introduction générale**



# Introduction générale

---

## Introduction générale

L'eau est le principal composant de notre alimentation. L'être humain composé à plus de 60% d'eau, consomme, lors de son activité quotidienne, deux litres et demi de ce précieux liquide, qu'il absorbe soit par la nourriture, soit par les boissons.

Les ressources naturelles en eau sont constituées d'eaux souterraines et superficielles. Elles sont prélevées pour être destinées à la consommation humaine, l'agriculture ou l'industrie.

Ces eaux sont susceptibles de contenir des substances diverses de nature physico-chimique (sels minéraux, matières en suspension, micropolluants organiques et minéraux) et de nature biologique (bactérie, virus, parasites...)

Certains de ces éléments peuvent non seulement dégrader la qualité organoleptique de ces eaux mais aussi créer des problèmes de santé publique (Beaudry, 1984). Il est donc indispensable de caractériser précisément la composition de ces eaux pour cerner les paramètres à corriger et prévoir le traitement en cas de besoin.

Pour rendre une eau potable, différentes étapes de traitement peuvent être nécessaires, notamment dans le cas des eaux de surface. Parmi les procédés utilisés, la désinfection est universellement appliquée et empêche la propagation de maladies en inactivant des microorganismes pathogènes. Dans les pays en développement, les maladies à transmission hydrique tels que le choléra, la typhoïde ou la dysenterie constituent encore un problème majeur (Degremont, 1989).

En Algérie, depuis une vingtaine d'année, le marché des eaux embouteillées connaît une forte croissance. Ce développement s'est concrétisé par l'implantation de dizaines d'unités d'exploitation et de production à travers l'ensemble du territoire national. Il a été aussi accompagné par une augmentation exceptionnelle de la consommation dont la part par habitant a remarquablement évolué (Hazzab, 2011). Cette évolution spectaculaire a été attribuée à l'inquiétude des consommateurs sur l'augmentation de la pollution de l'eau et leur opposition au goût désagréable à l'odeur et à la contamination bactérienne (Saleh et *al.*, 2001).

A travers ce développement de consommation, les pouvoirs publics ont promulgué une série de textes réglementaires ayant pour objectif l'encadrement, l'exploitation, la production et la commercialisation des eaux embouteillées (Joradp, 2004).

## Introduction générale

---

On distingue sur ce marché florissant deux produits distincts : les eaux de source et les eaux minérales.

Les eaux de source sont des eaux d'origine exclusivement souterraines, naturellement propres à la consommation humaine, micro-biologiquement saines et protégées contre les risques de pollution, qui ne nécessitent, avant conditionnement, que des traitements physiques élémentaires (aération, décantation, filtration...). Une eau minérale est donc une eau de source qui a en outre trois caractéristiques supplémentaires : ses composants doivent être permanents, ses qualités thérapeutiques provenant d'une source dont l'exploitation a été autorisée par la législation en vigueur et elle est exploitée par arrêté ministériel.

L'étude des caractéristiques d'eaux thermo-minérales est souvent destinée à préciser les variations potentielles de leur qualité et de leurs origines ou de présenter leur localisation.

Plusieurs méthodes de caractérisation et de classification des eaux souterraines, en particulier les eaux conditionnées sont indiquées dans la littérature. Dans cette étude, les analyses de caractérisation et de classification des eaux minérales sont basées sur des techniques empiriques, graphiques et statistiques multivariées.



## Chapitre I

# Fonctionnement du système hydrominéral

# Chapitre I : Fonctionnement du système hydrominéral

---

## 1- Introduction

Le système hydrominéral est une structure géologique traversée par un flux d'eau météorique qui y acquiert sa minéralisation. Grâce à la grande diversité de sa géologie, il existe des eaux minérales naturelles de compositions et de températures très variées.

Certaines sont de véritables saumures, d'autres sont très peu minéralisées. Cette grande diversité de la teneur en sels minéraux est aussi effective dans la famille des seules eaux embouteillées (Blavoux, 1985).

## 2- Définition d'une eau minérale

Une eau minérale est une eau d'origine souterraine, 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

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.

En résumé, une eau minérale est donc une eau de source qui a en outre trois caractéristiques supplémentaires : ses composants doivent être permanents, ses qualités thérapeutiques sont reconnues par l'Académie de Médecine et le Ministère de la Santé ; enfin, elle est exploitée par arrêté ministériel sous forme d'une déclaration d'intérêt public (DIP) associée à un périmètre de protection. Les teneurs en sels minéraux, très fréquents dans les eaux minérales, ne sont pas une condition obligatoire. Il existe certaines eaux très peu minéralisées. Toutes les eaux minérales contiennent trois éléments de base : les bicarbonates,



# Chapitre I : Fonctionnement du système hydrominéral

---

les sulfates et les chlorures, mais les éléments mineurs (brome, silicium) ou sous forme de trace (oligoéléments, tels que manganèse, sélénium...) font la particularité de chaque eau.

Sa teneur en certains sels minéraux (dont radioactifs ou toxiques à certaines doses) étant parfois significative, il faut en tenir compte dans le bilan alimentaire total, notamment pour les insuffisants rénaux (insuffisance rénale aiguë ou chronique).

## **3- Fonctionnement du système hydrominéral**

On sait de nos jours, grâce notamment aux techniques isotopiques, que l'eau minérale naturelle est une eau de pluie infiltrée en profondeur qui acquiert ses caractéristiques physico-chimiques au cours d'écoulements très lents, puis rejoint rapidement la surface à la faveur d'accidents géologiques ou de structures très particulières.

A la notion de gisement qui considère une accumulation naturelle, locale d'eau minérale susceptible d'être exploitée, l'hydrogéologue préfère donc la notion de système hydrominéral qui implique une structure géologique traversée par un flux d'eau qui y acquiert sa minéralisation (Blavoux, 1995).

A l'échelle humaine, il s'agit d'une ressource renouvelable et durable si on respecte les équilibres entrées-sorties.

A l'échelle géologique toutefois, cette ressource n'est que transitoire parce qu'elle est soumise à la pérennité de la structure et à la constance des conditions physico-chimiques en profondeur et des conditions climatiques en surface.

Les paramètres et les mécanismes de la circulation de l'eau minérale sous la forme d'un schéma type de fonctionnement qui puisse être transposé à toutes les situations est présenté ci-dessous (Fig. 01), malgré la grande diversité des gisements dans notre pays, dont la richesse géologique permet l'émergence d'eaux très différentes par la nature et la concentration des sels dissous ainsi que par leur température.

### **3-1 Schéma du circuit de l'eau minérale naturelle**

#### **3-1-1 Grandes étapes du circuit minéral**

On peut décomposer ce circuit en trois grandes étapes (Fig. 1)

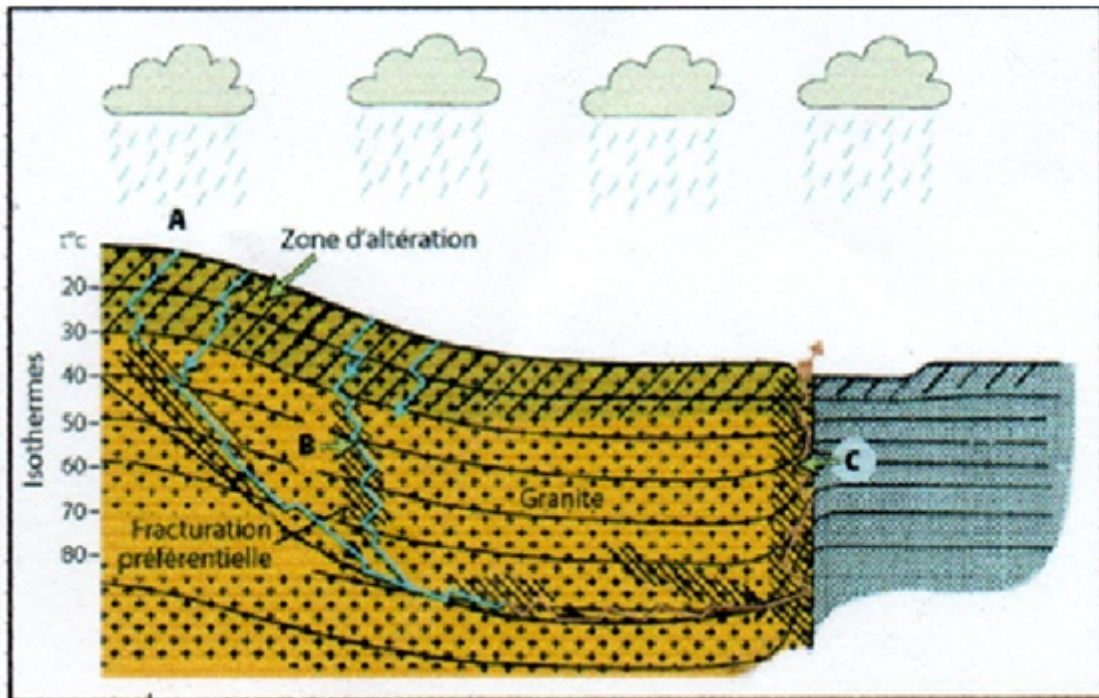


Figure 01 : Schéma type du circuit de l'eau minérale.

A: aire d'alimentation, B: réseau d'infiltration, C: drain de collecte et zone d'émergence  
(d'après Blavoux et Berthier, 1985).

- A- une aire d'alimentation : avec infiltration d'eau de pluie appelée aussi impluvium. C'est au cours de cette étape que l'eau de pluie acquiert, à la traversée du sol dans une atmosphère riche en  $\text{CO}_2$  biogénique, son potentiel de dissolution vis-à-vis des roches rencontrées dans la suite de son parcours ; à l'exception toutefois des eaux carbogazeuses où des flux de  $\text{CO}_2$  rejoignent le circuit en profondeur.
- B- un réseau ou colonne de percolation : Permettant à l'eau entrée d'atteindre des profondeurs importantes et donc des températures élevées. Vaste en volume et à circulation très lente, il permet en général à l'eau d'être en fin d'enfoncement en équilibre thermique et géochimique avec son encaissant ; c'est un des postulats de la géothermométrie.
- C- un axe vertical de collecte : agissant en drain, sorte de court circuit hydraulique ouvert entre la zone profonde et la surface permettant à l'eau minérale de remonter rapidement en conservant pour l'essentiel la minéralisation et la température acquises en profondeur. Sa pression diminuée restant supérieure néanmoins à celle des

# Chapitre I : Fonctionnement du système hydrominéral

---

aquifères qu'elle traverse près de la surface (sources artésiennes). La conservation de sa composition chimique est le second fondement de la géothermométrie.

## **3-1-2 Moteurs du circuit**

La différence d'altitude entre l'aire d'alimentation et la zone d'émergence est le moteur du circuit thermal. Cette différence doit être sensible pour compenser les fortes pertes de charge au cours du parcours souterrain. C'est le cas en région de montagne où les très forts dénivelés entre sommets bien arrosés et profondes vallées glaciaires permettent de pousser les eaux infiltrées jusqu'à plusieurs kilomètres de profondeur. L'effet moteur de cette différence de charge hydraulique est augmenté, le cas échéant, par l'élévation importante de température dans la partie profonde et terminale du circuit qui provoque une baisse de densité de l'eau et de façon accessoire une baisse de la viscosité. S'y ajoute souvent, le dégagement important de gaz carbonique provoqué par la baisse de pression de l'eau lors de sa remontée qui peut entretenir ou déclencher l'artésianisme par effet gas lift.

## **3-2 Structures géologiques à l'origine du patrimoine thermal**

Les conditions à remplir pour que se manifeste un hydrosystème thermal sont un passage en profondeur pour y acquérir la température, une continuité hydraulique avec un fort dénivelé (le moteur) entre l'impluvium au départ de la colonne de percolation et la zone d'émergence et une étanchéité du circuit sur la totalité ou une grande partie du parcours (Blavoux, 1998).

Les séries géologiques sont soumises à un flux de chaleur issu pour partie du manteau (30%) et pour partie de la désintégration radioactive des minéraux des roches magmatiques de l'écorce (70%).

Ce flux géothermique est un transfert permanent de calories depuis la profondeur jusqu'en surface qui maintient en température les séries géologiques.

Le gradient géothermique, est le rapport entre le flux géothermique et la conductivité des roches traversées.

## 3-3 Fonction de transfert

La ressource étant renouvelable, on doit considérer le système hydrominéral comme une séquence du cycle de l'eau présentant des interactions hydrodynamiques, hydrochimiques et hydrobiologiques avec son environnement.

Le système peut être caractérisé par une fonction de transfert, impulsion (alimentation) réponse (écoulement) dont la connaissance est indispensable pour bien gérer et protéger la ressource (Blavoux, 1998).

Cette fonction de transfert doit être considérée sous ses aspects à la fois quantitatifs, avec la transmission rapide des différences de charge ou de pression et qualitatifs, avec le déplacement de l'eau et des substances à des vitesses d'écoulement généralement très lentes.

L'influence des *différences de pression* peut se manifester à *l'entrée du système* par des variations de l'alimentation (sécheresse prolongée, années très pluvieuses)

Un surplus d'eau sur la zone d'alimentation exerce une pression sur le circuit hydrominéral et entraîne une augmentation de débit à l'émergence. Inversement, un déficit chronique d'apport entraîne une baisse du débit, au temps de transfert près de l'onde de pression.

L'influence des différences de pression se manifeste aussi et surtout sur *les sorties du système* hydrominéral.

L'influence de la pression atmosphérique est importante sur un aquifère captif et les niveaux piézométriques varient rapidement en fonction inverse de celle-ci. La compressibilité du terrain et la plus ou moins bonne étanchéité du toit imperméable de la nappe peut toutefois atténuer l'effet produit qui au passage d'une dépression peut se traduire par une élévation de 30cm du niveau piézométrique.

Du fait qu'il s'établit souvent, dans la zone d'émergence, un équilibre hydrostatique entre les eaux superficielles et les eaux minérales profondes, la rupture de cet équilibre peut avoir des conséquences graves sur le débit et la qualité de ces dernières.

*Les vitesses d'écoulement* de l'eau sont très lentes, particulièrement dans le réseau d'infiltration. Il est évident que la vulnérabilité éloignée du système hydrominéral, celle de la zone d'alimentation, dépend du temps de transit de l'eau minérale. Mais *l'âge de l'eau minérale* est un des paramètres les plus délicats à appréhender, d'une part parce qu'il est

# Chapitre I : Fonctionnement du système hydrominéral

difficile de caractériser la composante profonde minéralisée à cause des mélanges dans la zone d'émergence, d'autre part parce que les temps de transit très variés nécessitent la mise en œuvre de techniques de datation spécifiques (Fontes, 1985).

## 3-4 Zone d'émergence

### 3-4-1 Conditions d'émergence

Le court circuit hydraulique que constitue le conduit ascendant à forte perméabilité doit rester ouvert et résulte généralement d'une fracturation créée ou réactivée par une tectonique active récente (Fontes, 1985).

### 3-4-2 Mélanges à l'émergence

Au cours de la remontée, l'eau minérale traverse des terrains de plus en plus froids et elle perd des calories des milieux à perméabilité de plus en plus forte (Fig. 02A), et le conduit minéral principal tend à se ramifier en plusieurs branches, que le milieu soit fissuré ou poreux (Fig 2B).

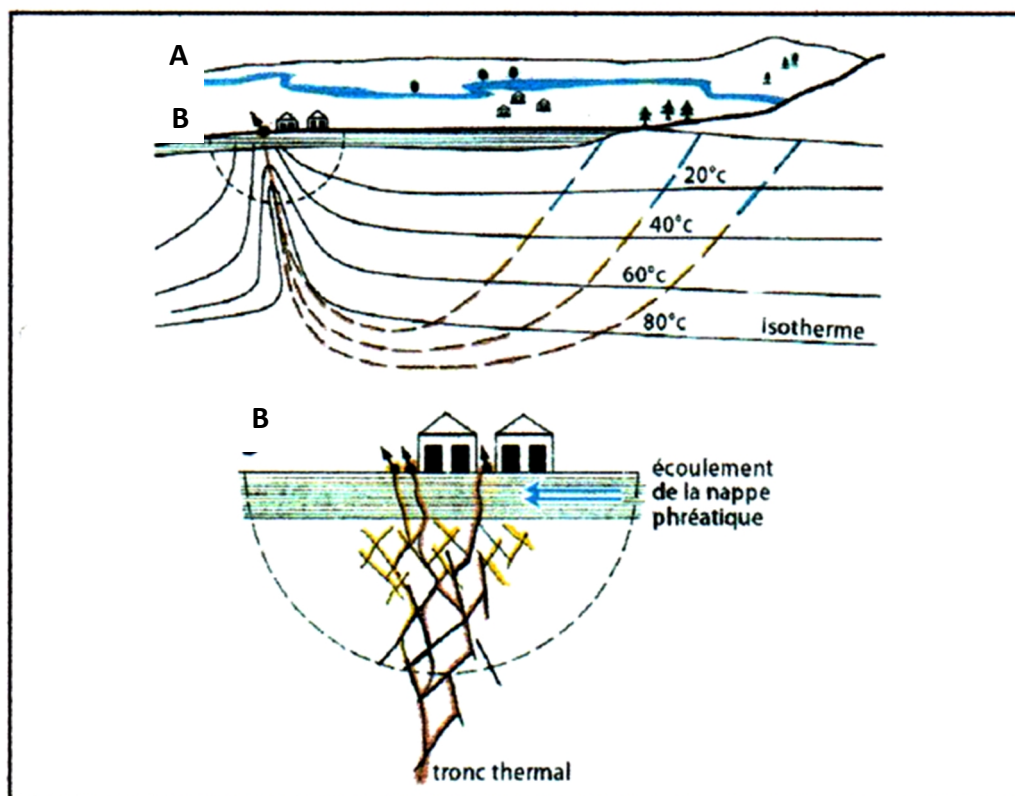


Figure 02 : Processus dans la zone d'émergence du drain thermal (Blavoux et Berthier, 1985)

# Chapitre I : Fonctionnement du système hydrominéral

---

A : refroidissement de l'eau thermale profonde lors de sa remontée.

B : diffusion du tronç thermal et mélanges près de la structure.

Ainsi, dans la zone d'émergence, on observe généralement plusieurs sources correspondant à des mélanges en proportions différentes mais appartenant toutefois à la même lignée géochimique. Suivant le contexte hydrogéologique, on distingue :

\*la (ou les) source(s) principale(s) peu sujette(s) aux fluctuations hydrodynamiques et caractérisée(s) par un maximum de concentration chimique et ou de température.

\*les sources secondaires sujettes à fluctuations sensibles et affectées d'un mélange plus important avec des eaux de surface ou les nappes dites « libres ».

\*les divergences du drain thermal dans les aquifères (divergences non visibles en surface) qui se signent par des anomalies de température et ou de composition chimique au sein de ces aquifères.

## **4- Protection de gisement d'eau minérale**

En se référant à la norme de l'association française de normalisation (AFNOR) en vigueur, on se doit de définir un gisement d'eau minérale comme étant l'ensemble de la structure géologique souterraine située au droit d'une zone géographique délimitée, et de laquelle il est possible d'extraire, moyennant la mise en œuvre de techniques appropriées, de l'eau minérale naturelle (Fig. 03).

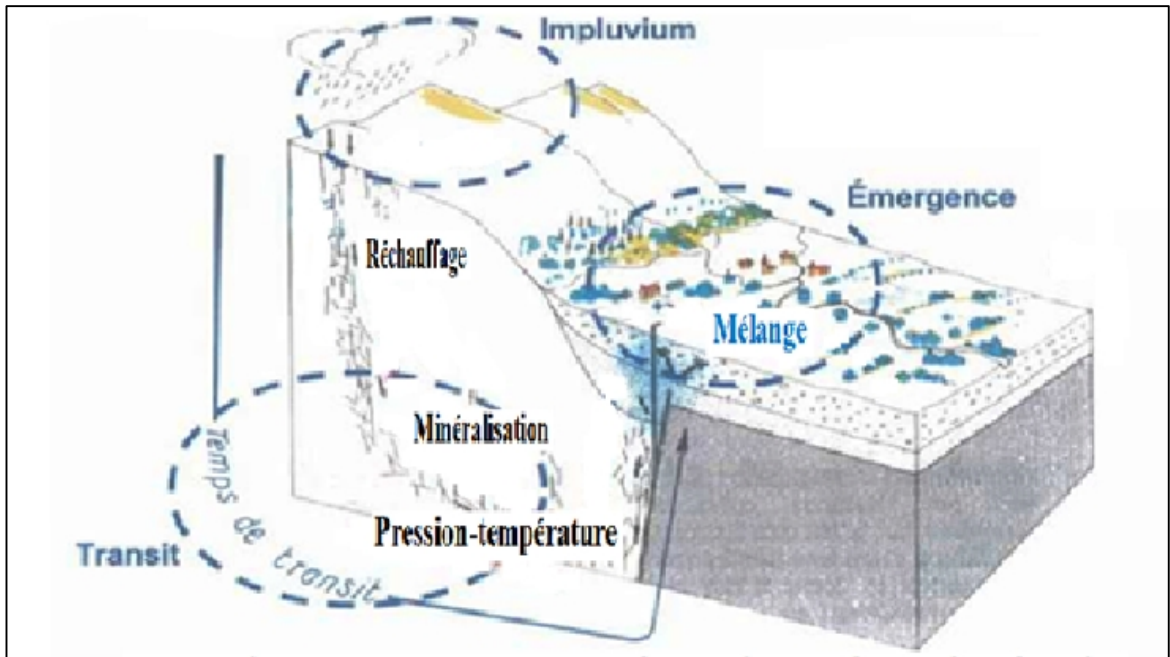


Figure 03 : Représentation schématique du circuit hydrominéral d'un gisement (BRGM, 2004).

Cette définition nécessite d'explicitier les différentes zones constitutives d'un gisement pour tenter de comprendre quelles en sont les limites. Trois zones distinctes sont identifiées d'amont en aval pour traduire l'extension du gisement :

\*la zone de **l'impluvium** correspond au secteur d'entrée du fluide dans le système, c'est-à-dire là où interviennent les précipitations qui alimentent le gisement.

\*la zone de **transit** correspond au secteur dit de circulation (profonde) du fluide. La zone de transit permet aux fluides d'acquérir ses caractéristiques physico-chimiques spécifiques grâce, notamment aux modifications des conditions physiques rencontrées (pression et température)

\*la zone des **émergences** correspond au secteur où l'eau minérale est extraite (ou émerge) au niveau du sous-sol pour alimenter l'unité d'exploitation concernée (site d'embouteillage ou site thermal).

Il convient de distinguer séparément chacune de ces 3 zones pour aborder la notion de protection du gisement. La protection est en effet fonction du risque inhérent à chaque secteur concerné.

# Chapitre I : Fonctionnement du système hydrominéral

---

On distinguera ainsi les points essentiels suivants :

- Pour le secteur de l'impluvium, le risque d'une contamination des eaux qui s'infiltrent peut être important mais les effets d'une contamination ne se traduiront qu'après transit entre l'impluvium et l'émergence. Ainsi, le risque relatif pour un site d'exploitation est fonction du temps de transit. La prise en compte de la protection de l'impluvium sera d'autant plus utile et urgente que le temps de transit sera court. Le souci ne sera pas le même pour un site à temps de transit de quelques années (voire quelques jours) et pour un site à temps de transit de l'ordre du siècle (approche court terme et long terme avec tous les intermédiaires possibles).

- Pour le secteur du transit, le risque de perturbation de la qualité du fluide est, a priori, le plus faible. La zone de transit est en effet généralement profonde ou, par définition, naturellement protégée par l'ensemble des terrains sus-jacents, sous réserve de l'absence de circulations d'eau entre la surface et la profondeur. Cette zone n'est cependant pas systématiquement à l'abri de perturbations causées par des activités anthropiques de surface lorsque l'eau minérale est peu minéralisée et ne transite que par des niveaux aquifères peu profonds.

- Pour le secteur des émergences, le risque de perturbation du fluide thermal est le plus important. En effet, c'est à ce niveau que se produit le contact du fluide avec des niveaux aquifères superficiels peu protégés (avec le risque de mélange que cela comporte) et avec les activités humaines en général (avec tous les facteurs de risque qui y sont liés).

La prise en compte de la protection pour chacun de ces secteurs nécessite en premier lieu de disposer d'une connaissance précise de l'extension même de ces secteurs et en second lieu de connaître le contexte environnemental qui leur est lié. C'est pourquoi les investigations à mener sur un gisement doivent intégrer non seulement un composant sous-sol (géologie au sens large) mais encore une composante de surface (contexte environnemental).

## **5- Méthodes d'investigation-les bonnes pratiques**

Les méthodes d'investigation pour un gisement d'eau minérale sont pour l'essentiel, celles de l'hydrogéologie classique. Certaines diffèrent cependant par le fait que les gisements sont complexes, parfois profonds et que les circulations d'eau sont fréquemment liées à des discontinuités du sous-sol. On rejoint ainsi parfois le domaine des recherches pétrolières qui nécessitent toujours des moyens d'investigations lourds.



# Chapitre I : Fonctionnement du système hydrominéral

---

Les différentes méthodes d'investigation ont été décrites dans un recueil de notes techniques éditées par la Division Nationale des Eaux Minérale et Thermales (DNEMT) et intitulé « Mémento technique des eaux minérales.2001 ».

Sans revenir sur ces différentes méthodes, il convient de souligner les points essentiels suivants :

\*Il n'existe pas de méthode absolue qui permette de répondre de manière simple à toutes les questions qui se posent sur un gisement. Chaque méthode d'investigation a ses propres objectifs, ses propres limites et ses spécialistes.

\*La géologie et l'hydrogéologie ne sont pas des sciences exactes. Les investigations qui sont conduites doivent avoir pour objet de répondre à tel ou tel point particulier de la connaissance, dans le cadre d'une approche progressive. Les études diverses et les reconnaissances directes (forage) permettent d'acquérir des éléments complémentaires d'un ensemble complexe.

\*La géologie doit être la base de la réflexion globale.

\*La décision de réaliser un ouvrage de reconnaissance doit toujours être prise sur la base d'une hypothèse géologique liée aux études réalisées. L'ouvrage doit être conçu pour confirmer ou infirmer cette hypothèse et faire évoluer ainsi le schéma de compréhension du gisement.

\*Seule l'intervention des divers spécialistes de l'ingénierie permet de disposer du recul et de l'expérience nécessaire à l'optimisation des investigations projetées.

## 6- Conclusion

Le risque relatif de chacune des zones du circuit hydrothermal doit être abordé en fonction du degré de « protection naturelle » dont bénéficie l'eau minérale au sein du gisement qui caractérise un site donné.

Tous les facteurs susceptibles d'avoir une incidence sur la qualité des eaux souterraines d'un site doivent être pris en compte. Tous les facteurs susceptibles de favoriser l'infiltration rapide des eaux pluviales et de ruissellement doivent également être considérée.



## **Chapitre II**

### **Composition de l'eau minérale naturelle**



### 1- Introduction

Les eaux minérales se distinguent généralement par une minéralisation, c'est-à-dire une teneur en éléments chimiques ionisés, assez importante. C'est au cours de son parcours au sein de la terre que l'eau se charge en ions au contact des roches qu'elle traverse. Cette minéralisation est autant plus importante que le trajet est long et que l'eau est chaude.

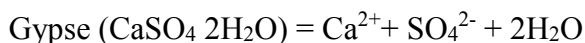
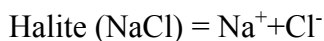
Le but de ce chapitre est de définir la composition de l'eau minérale.

### 2- Acquisition du contenu minéral

La minéralisation de l'eau minérale naturelle est constituée, pour une petite partie par des éléments apportés à l'entrée du système par la pluie et le sol, pour l'essentiel par des éléments dissous au cours de son circuit souterrain et plus rarement par des éléments remontés depuis la profondeur. La mise en solution au contact des minéraux de l'encaissant est fonction de la température, de la pression et du temps de séjour de l'eau dans le système, c'est-à-dire de sa fonction de transfert. Cette mise en solution, un équilibre « dynamique » entre l'eau et la roche, dépend de la nature minéralogique de l'encaissant car elle est commandée par la cinétique des réactions chimiques (Bernard et Berthier, 1985).

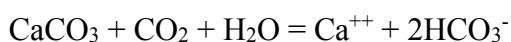
Trois grands mécanismes de la mise en solution peuvent être décrits :

1 / la mise en solution instantanée des minéraux très solubles dans l'eau simple solvant. Ils sont présents dans les roches salines ou évaporites :



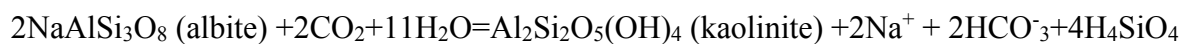
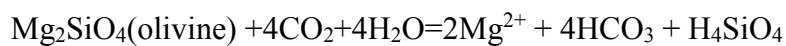
A saturation dans l'eau pure, il y aura dans une saumure 300000 mg/l de NaCl dissous, environ 1500 mg/l de sulfate et 640 mg/l de calcium dans l'eau en contact avec du gypse.

2/ la mise en solution des carbonates de calcium et de magnésium dans l'eau riche en CO<sub>2</sub>. Ce sont les équilibres calco-carboniques, à l'exemple de la calcite :



L'équilibre n'est atteint qu'en quelques mois et le facteur limitant de ces réactions est la teneur en  $\text{CO}_2$  ( $\text{PCO}_2$ ) de l'eau de pluie infiltrée. En l'absence de  $\text{CO}_2$ , l'eau pure ne peut dissoudre que 6.3 mg/l de carbonate de calcium. L'eau infiltrée, après son passage dans le sol où la minéralisation de la matière organique entraîne des  $\text{PCO}_2$  élevées, devient très agressive vis-à-vis des carbonates. Elle présentera couramment après la traversée de sols humides riches en matière organique des concentrations à l'équilibre de 350 à 400 mg/l de  $\text{HCO}_3$  et entre 80 et 120 mg/l de Ca. Quand des venues de  $\text{CO}_2$  mantellique rejoignent en profondeur le circuit de l'eau minérale, les teneurs en  $\text{HCO}_3$  peuvent s'élever à 4500 mg/l (eaux minérales naturelles carbogazeuses).

3/ l'hydrolyse des silicates par l'eau riche en  $\text{CO}_2$ . Elle concerne les minéraux des roches magmatiques et quelquefois détritiques, à l'exemple d'un silicate magnésien comme l'olivine ou d'un aluminosilicate comme le plagioclase sodique (albite) :



La seconde réaction est dite incongruence puisqu'elle libère des cations, des hydrogénocarbonates et une partie de la silice et connaît la formation d'un nouveau minéral, une argile, ici la kaolinite. La cinétique de ces réactions est très lente et l'équilibre sera atteint en plusieurs siècles avec toujours comme facteur limitant la  $\text{PCO}_2$ . Ainsi, les eaux minérales des granites ou des coulées volcaniques à circuit peu profond présentent des minéralisations très faibles à profil bicarbonaté calcique. Avec l'arrivée du  $\text{CO}_2$  mantellique dans le circuit et des temps de séjour pouvant s'élever à plusieurs milliers d'années, les eaux minérales naturelles carbogazeuses du granite sont très minéralisées, avec un profil bicarbonaté sodique.

### 2-1 Origine des éléments majeurs

On peut classer les éléments contenus dans les eaux minérales en plusieurs catégories :

Neuf éléments majeurs constituent 99% de la minéralisation de l'eau, quatre anions, quatre cations et la silice dissoute non ionisée.

### 2-1-1 Anions

#### a- Hydrogénocarbonates ( $\text{HCO}_3^-$ )

En milieu sédimentaire, le carbone des hydrogénocarbonates provient pour partie du  $\text{CO}_2$  du sol (origine biogénique) et pour le reste de l'attaque des carbonates du sol et des roches (calcaires, dolomies). Dans des conditions normales, les hydrogénocarbonates ne peuvent guère dépasser des concentrations de 400mg/l.

En milieu cristallin, le carbone est essentiellement d'origine biogénique suite à l'hydrolyse des silicates, ce qui est pris en compte dans le calcul de l'âge à partir de sa teneur en  $\text{C}^{14}$  (carbone 14). Les teneurs en  $\text{HCO}_3^-$  sont alors faibles à très faibles (moins de 100 mg/l) à moins d'arrivée de  $\text{CO}_2$  profond.

#### b- Sulfates ( $\text{SO}_4^{2-}$ )

Les eaux minérales qui présentent des teneurs élevées en sulfates (plusieurs centaines de mg/l) tirent leur minéralisation soit :

- de l'oxydation de minéraux riches en soufre, principalement des sulfures primaires ou secondaires (pyrite par exemple). Ces minéraux sont présents dans tous les types de lithologie (calcaires, sables, socle). Les concentrations généralement observées dans ce contexte sont de l'ordre de quelques  $\text{mg.l}^{-1}$  à quelques dizaines de  $\text{mg.l}^{-1}$ .
- du lessivage de formations évaporitiques (gypse par exemple). Dans ce cas, les teneurs en sulfate sont très fortes (quelques centaines de  $\text{mg.l}^{-1}$  à quelques  $\text{g.l}^{-1}$ ).
- de l'oxydation des sulfures dans les précipitations atmosphériques (phénomène des pluies acides).

#### c- Chlorures ( $\text{Cl}^-$ )

Dans les roches ignées, la présence du Chlore est principalement liée à la sodalite  $[\text{Na}_8[\text{Cl}_2(\text{AlSiO}_4)_6]]$  et à la chloro-apatite. Il est souvent présent en tant qu'impureté, si bien que les roches ignées ne représentent pas une source importante de chlore pour les eaux qui les traversent. On peut cependant mentionner l'apport de chlorure par les inclusions fluides de certains minéraux en contexte de socle.

## Chapitre II : Composition de l'eau minérale naturelle

---

Dans les roches sédimentaires, et plus particulièrement dans les évaporites, le chlore peut constituer un élément fondamental de certains minéraux (halite [NaCl] ou sylvite [KCl] par exemple). Ces formations très solubles sont alors une source importante de chlorures pour les eaux souterraines.

Très souvent, la source principale de chlorure est l'apport atmosphérique. Les pluies sont en effet riches en chlorure, surtout à proximité des côtes où les teneurs dépassent  $10\text{mg.l}^{-1}$ .

L'ion  $\text{Cl}^-$  est la forme prédominante dans les eaux naturelles. Le chlorure participe rarement à des réactions chimiques, si bien que, quelle que soit la lithologie, les teneurs en chlorure sont généralement faibles dans les eaux souterraines. En dehors des roches évaporitiques, le chlorure est considéré comme un ion mobile qui ne rentre que très rarement dans les interactions eau-roche.

Dans les aquifères libres, la concentration en chlorure est directement liée à la teneur en chlorure des précipitations. Les concentrations généralement mesurées dans ces systèmes sont donc de quelques  $\text{mg.l}^{-1}$ , et dépendent finalement plus de la distance à la côte que de la lithologie. Dans les nappes captives, de fortes teneurs en chlorure sont à prévoir lorsque la présence de formations évaporitiques riches en chlore comme la halite (quelques centaines de  $\text{mg.l}^{-1}$  à quelques  $\text{g.l}^{-1}$ ) est observée. Les aquifères côtiers sont également susceptibles de contenir de telles quantités de chlorure. Ces concentrations sont alors liées à une invasion marine engendrant un biseau salé.

### d- Nitrates ( $\text{NO}_3^-$ )

L'ion nitrate  $\text{NO}_3^-$  est la forme la plus oxydée de l'azote. Les sources naturelles de nitrate sont principalement les pluies et les interactions avec le sol et la végétation.

L'eau minérale naturelle reconnue pour sa pureté originelle ne saurait présenter des teneurs élevées en nitrates. Les quelques milligrammes par litre présents dans les circuits froids sont issus de la minéralisation de la matière organique des sols, soit par suite lors de l'infiltration sur un impluvium préservé, soit par la suite de mélanges avec des eaux plus superficielles lors de la remontée de l'eau minérale naturelle vers la zone d'émergences. Les nitrates sont totalement absents des circuits thermaux en raison des conditions réductrices qui y règnent.

### 2-1-2 Cations

#### a- Sodium (Na<sup>+</sup>)

Le sodium est généralement fourni par le lessivage de dépôts sédimentaires en milieu marin. L'autre source est l'hydrolyse, en milieu cristallin ou volcanique, des silicates et tout particulièrement des plagioclases. Le faciès bicarbonaté sodique est caractéristique des eaux minérales profondes du socle.

#### b- Calcium (Ca<sup>++</sup>)

Le calcium est classiquement attribué au calcaire des séries sédimentaires mais les teneurs les plus élevées pour ces milieux sont observées dans les eaux minérales naturelles ayant été au contact du gypse. En milieu cristallin, le calcium est le cation dominant dans les circuits peu profonds qui ont des minéralisations très faibles. Il peut exceptionnellement atteindre des concentrations élevées dans les eaux minérales naturelles carbogazeuses au contact de roches cristallines basiques.

#### c- Magnésium (Mg<sup>++</sup>)

Le magnésium est rarement le cation prédominant des circuits du domaine sédimentaire. Tout au plus peut-il égaler le calcium en concentration molaire dans un milieu dolomitique (carbonate double de calcium et de magnésium). Les eaux minérales naturelles très minéralisées, en contact avec des évaporites en sont quelquefois riches.

L'autre source de magnésium est l'hydrolyse des silicates ferromagnésiens (olivine, micas...) des roches magmatiques et métamorphiques, toujours exacerbée en présence de CO<sub>2</sub> profond.

#### d- Potassium (K<sup>+</sup>)

Le potassium est un cation mineur des eaux souterraines banales, peut se présenter en abondance dans les eaux minérales naturelles, dans les saumures en contact avec certaines évaporites et dans le circuit chaud du socle cristallin par suite de l'hydrolyse du feldspath potassique (orthose). Le fait que l'orthose soit plus soluble que les plagioclases à très haute température est à l'origine du géothermomètre empirique Na/K qui permet de calculer la température atteinte par l'eau minérale dans son circuit profond.



### 2-1-3 Silice ( $\text{H}_4\text{SiO}_4$ )

Le silicium est, après l'oxygène, l'élément le plus abondant de la croûte terrestre. Il constitue un élément essentiel de nombreux minéraux en particulier dans les roches ignées, les grès et les argiles (silicates, alumino-silicates). Il est en revanche quasi-inexistant dans les roches carbonatées.

Les minéraux silicatés sont souvent peu altérables si bien que les teneurs mesurées dans les eaux sont relativement faibles (quelques  $\text{mg.l}^{-1}$  à  $10\text{-}20 \text{ mg.l}^{-1}$ ). Dans les aquifères carbonatés, les teneurs n'excèdent généralement pas quelques  $\text{mg.l}^{-1}$ .

La solubilité de la silice augmente avec la température et est à l'origine du premier géothermomètre. Cet indicateur de température profonde est moins fiable que le rapport Na/K parce que la silice précipite souvent lors de la remontée de l'eau thermale et de son refroidissement.

L'ubiquité de la silice n'en fait pas un élément caractéristique d'une lithologie particulière. Son absence des roches carbonatées permet cependant de distinguer les eaux de ces aquifères des eaux issues des autres types lithologiques (Chery, 2006).

### 2-1-4 Oligo-éléments

Que l'on peut subdiviser en quatre groupes :

- des éléments susceptibles d'être assimilés aux oligo-éléments comme : le potassium ( $\text{K}^+$ ) et le magnésium ( $\text{Mg}^{++}$ ).
- des éléments indispensables comme le Cuivre (Cu), le Fer (Fe), le Fluor (F), le Manganèse (Mn), le Zinc (Zn) et le Silicium (Si).
- des éléments utiles comme l'Aluminium (Al), le Plomb (Pb), le Strontium (Sr), le Lithium (Li).
- des éléments fortuits comme l'Arsenic (As), le Brome (Br).

### 2-1-5 Gaz carbonique $\text{CO}_2$

Le gaz carbonique dissous est présent en grande quantité dans les eaux minérales. En effet, les pressions élevées qui règnent dans le sous-sol favorisent la dissolution de ce

gaz dans l'eau. Mais quand l'eau remonte à la surface, la pression diminuant progressivement, il se crée une détente et le CO<sub>2</sub> s'échappe.

Parfois, quand l'eau est très chargée en CO<sub>2</sub>, on voit des bulles remonter à la surface, on dit que l'eau est carbogazeuse.

### **2-1-6 Matières organiques**

Les matières organiques dissoutes expliquent parfois certaines propriétés thérapeutiques.

### **2-1-7 Eléments radioactifs**

Les éléments radioactifs sont présents dans toutes les eaux ayant accompli un trajet souterrain assez long. Ils confèrent à l'eau une incontestable propriété thérapeutique sédative.

## **3- Facteurs d'une composition constante**

L'eau minérale naturelle se caractérise par la constance de sa composition chimique. Le fonctionnement de l'hydrosystème minéral naturellement protégé de la pollution, permet le contrôle permanent de la minéralisation de l'eau. Pour posséder ces qualités, l'occurrence de nombreux facteurs est nécessaire et donne lieu à une infinité de combinaisons car chaque système est unique.

Parmi ces facteurs, on doit évoquer :

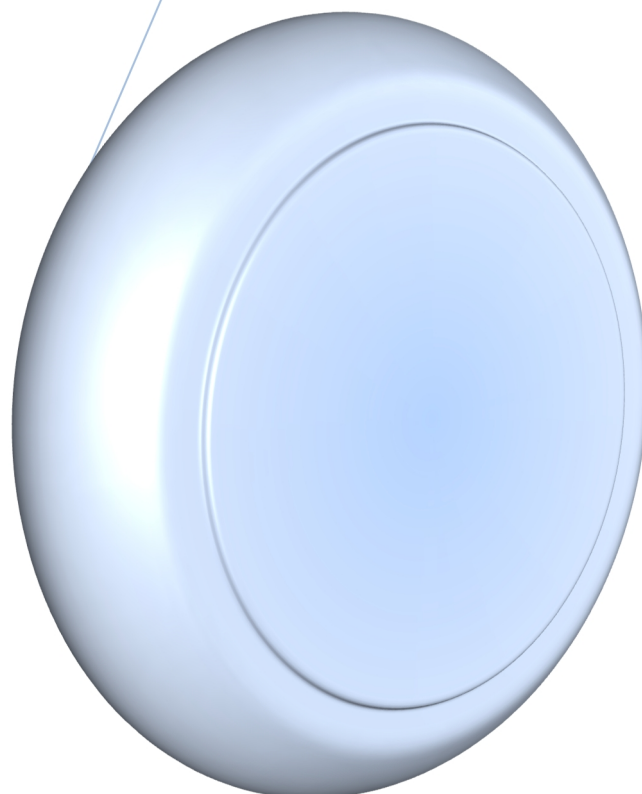
- Le temps de séjour suffisamment élevé pour que l'eau soit en équilibre chimique avec la roche réservoir (saturation en fonction des vitesses d'équilibre et précipitations).
- Les phénomènes d'adsorption et d'échanges sur les minéraux argileux.
- Les mélanges dans l'aquifère par suite de la dispersion hydrodynamique entraînant l'amortissement des impulsions éventuelles à l'entrée du système.

## **4- Conclusion**

Avec les principes et considérations qui viennent d'être développés, l'examen de la composition en éléments majeurs et des concentrations d'une eau minérale naturelle permet d'apprécier les sources et mécanismes qui conduisent à sa minéralisation et de reconstituer l'histoire que l'eau a subie tout au long de son circuit.

## **Chapitre III**

### **Classification des eaux minérales**





### 1- Introduction

La façon la plus simple consiste à prendre en compte la composition chimique de l'eau minérale et si nécessaire des autres produits dérivés tels les gaz thermaux. La classification des eaux minérales pourra prendre en compte les propriétés physico-chimiques et les paramètres susceptibles de présenter un intérêt médical (Alayad et *al.*, 2007).

### 2- Classification des eaux minérales

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

- \*eau minérale naturelle non gazeuse
- \*eau minérale naturelle naturellement gazeuse
- \*eau minérale naturelle dégazéifiée
- \*eau minérale naturelle renforcée au gaz carbonique de la source
- \*eau minérale naturelle gazéifiée
- \*eau de source
- \*eau de source gazéifiée

#### 2-1 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 hydrogéo-carbonatés présents dans l'eau.

Exemple : eau minérale d'Ifri (Bejaia).

#### 2-2 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 autorisé et conditionnement, la même qu'à l'émergence compte tenu des tolérances techniques usuelles.

Exemple : eau de Mouzaïa (Blida).

## Chapitre III : Classification des eaux minérales

---

### **2-3 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.

Exemple : eau de Hammamet (Tébessa).

### **2-4 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.

### **2-5 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.

Exemple : eau Ifri gazéifiée.

### **2-6 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

Exemple : eau Lalla Khedidja (Tizi-Ouzou).

### **2-7 Eau de source gazéifiée**

L'eau de source gazéifiée désigne une eau de source qui sous réserve des traitements éventuels, est rendue effervescente par addition de gaz carbonique.

Exemple : eau Cordial (Bejaia).

### 3- Classification simplifiée résumant les grandes catégories d'eaux minérales

Une classification simplifiée résume les grandes classes d'eaux minérales :

a) Les eaux oligo-minérales à très faible minéralisation

Les eaux oligo-minérales à très faible minéralisation sont caractérisées par un élément spécifique. Ces eaux sont utilisées pour les biberons, pour les régimes sans sel et comme détoxiquant.

b) Les eaux faiblement minéralisées

Souvent oligo-minérales, ont une teneur en sels minéraux inférieure à 500 mg/l généralement du type bicarbonaté calcique. Leur rôle essentiel est d'éliminer les toxines de l'organisme. Elles ne présentent pas de contre-indication.

c) Les eaux minérales bicarbonatées sodiques et calcosodiques

La teneur en bicarbonates est supérieure à 600 mg/l et leur minéralisation totale est élevée. Ces eaux conviennent pour réduire les affections de l'appareil digestif, les troubles hépatiques et des voies biliaires. En raison de la forte teneur en sodium, elles sont déconseillées en cas de régime sans sel, ainsi qu'aux sujets hypertendus.

d) Les eaux minérales sulfatées calciques

Pauvres en sodium, leur teneur en sulfates est supérieure à 200 mg/l. Elles sont utilisées pour leur action diurétique, dans le traitement des maladies des voies digestives, des affections intestinales et hépatiques.

e) Les eaux minérales chlorurées

Une eau est qualifiée de chlorurée si la teneur en chlorures est supérieure à 200mg/l. Les eaux chlorurées sodiques sont prescrites en cure dans les affections de l'appareil respiratoire.

f) Les eaux minérales sulfurées

Elles sont riches en soufre et prescrites en cure seulement. Le soufre joue un rôle important dans les processus de digestion et de détoxication.

### g) Les eaux minérales gazeuses

Elles sont appelées carbogazeuses en raison de la présence de gaz carbonique. Les eaux pétillantes apportent une sensation de fraîcheur, une note de gaieté ou de festivité, elles libèrent les arômes de certaines boissons. L'eau qui pique, qui fait des bulles est souvent trop riche en sels minéraux et en sodium, elle est déconseillée pour les jeunes enfants, surtout les nourrissons sujets à l'aérophagie et dont les reins sont immatures. Le gaz et l'eau sont généralement captés séparément puis rajoutés. Les eaux gazeuses représentent le 1/5 des eaux minérales commerciales dans le monde.

### **4- Eau minérale embouteillée**

Une eau minérale embouteillée provient d'une source d'eau souterraine protégée écologiquement et physiquement, et non d'un réseau de distribution publique qui contient moins de 500 mg/l de matières dissoutes au total (CEE, 2009).

#### **4-1 Processus d'embouteillage de l'eau minérale naturelle**

Extraite de son gisement hydrominéral, l'eau minérale naturelle ne doit pas être exposée à des risques susceptibles de dégrader sa qualité originelle. Ceci implique une mise en bouteille obligatoire sur la zone d'émergence, obéissant aux règles fondamentales d'hygiène de la profession.

L'eau est d'abord puisée en profondeur grâce à des équipements adéquats et parfaitement protégés. Elle n'entre jamais en contact direct avec l'air ambiant. Elle est acheminée vers des canalisations, le plus souvent en acier inoxydable, vers le site d'embouteillage.

Les eaux issues de gisement hydrominéraux protégées présentent l'avantage de n'avoir aucune connexion avec les réseaux d'eau d'adduction et ne sont donc soumises à aucun aléa de pollutions majeurs, elles représentent donc une ressource importante lorsque l'eau d'adduction est polluée. Ces eaux sont alors l'aliment de première nécessité lorsqu'un incident se produit et permettent de secourir les populations. Les bouteilles qui ont vocation à protéger la pureté et l'intégrité de l'eau jusqu'à sa consommation à la table du consommateur, sont produites sur place.



## Chapitre III : Classification des eaux minérales

### 4-1-1 Critères de qualité à visées sanitaire applicables à certaines substances

Dans l'eau minérale naturelle conditionnée, la concentration des substances indiquées ci-dessous ne doit pas dépasser les chiffres ci-après (tableau 01) (Arrête interministériel, 2006):

Tableau n°01 : Concentrations en mg/l des substances.

Substance	Concentration mg/l	Substance	Concentration mg/l
Antimoine	0.005	Fluorure (F)	1.50
Arsenic (As)	0.01	Plomb (Pb)	0.01
Baryum (Ba)	0.7	Manganèse	0.4
Borate	5	Mercure (Hg)	0.001
Cadmium (Cd)	0.003	Nickel	0.02
Chrome (Cr)	0.05	Nitrate	50
Cuivre	1	Nitrite	0.1
Cyanure (CN)	0.07	Sélénium (Se)	0.01

Tableau n°02 : Concentration des substances organiques.

Substance organique	Concentration maximale µg/l
Trihalométhanes totaux (chloroforme, bromodichloro-méthane, chlorodibromométhane et bromoforme)	80 (moyenne des quatre échantillons prélevés trimestriellement)

### 4-1-2 Conditionnement

L'eau minérale naturelle doit être conditionnée dans des récipients pour la vente au détail, hermétiquement clos, propres à éviter toute possibilité d'adultération ou de contamination.

### 4-1-3 Etiquetage

Outre les dispositions de la Norme Algérienne pour l'étiquetage des denrées alimentaires préemballées, les dispositions suivantes sont applicables.

## Chapitre III : Classification des eaux minérales

---

### a) Nom du produit

La dénomination du produit doit être «eau minérale naturelle».

Les appellations ci-après doivent être utilisées conformément et peuvent être accompagnées de terme descriptifs appropriés (par exemple : plate ou pétillante)

\*eau minérale naturellement gazeuse.

\*eau minérale naturelle non gazeux.

\*eau minérale naturelle dégazéifiée.

\*eau minérale naturelle renforcée au gaz carbonique de la source.

\*eau minérale naturelle gazéifiée.

### b) Mentions d'étiquetage supplémentaires

#### Composition chimique :

La composition chimique essentielle du produit doit être déclarée sur l'étiquette.

#### Durée de conservation :

L'eau minérale embouteillée se conserve de un à deux ans, en tenant compte de la date de péremption, elle doit être maintenue à l'abri de la lumière du soleil.

L'étiquetage selon la législation algérienne, des eaux minérales embouteillées demeure valable pour une période de 05 ans.

### b) Mentions d'étiquetage interdites

Aucune allégation concernant les effets médicaux (préventif, thérapeutiques, curatifs) ne doit être faite au sujet des propriétés du produit visé par la présente norme. Aucune autre allégation relative à des effets bénéfiques sur la santé du consommateur ne doit être faite à moins qu'elle ne soit vraie et dépourvue d'ambiguïté. Un nom de localité de hameau ou de lieu dit ne peut faire partie d'une marque à moins qu'il ne se rapporte à une eau minérale exploitée à l'endroit désigné par la marque, exemple l'eau de Mansourah.

L'emploi de toute indication ou de tout signe susceptible de créer dans l'esprit du public une confusion sur la nature, l'origine, la composition et les propriétés des eaux minérales naturelles mises en vente est interdit.

### 5- Eaux embouteillées en Algérie

#### 5-1 Cartographie des eaux embouteillées en Algérie

Selon les régions, on note que plus de 40% des marques sont produites dans la région Centre-Est, 32,43% à l'Est et 16,22% à l'Ouest du pays, soit un peu plus de 89%. Le Sud du pays n'est représenté que par 02 marques commercialisées et l'eau de Moughel (Béchar) produite antérieurement étant arrêtée (tableau n°03 en annexe)..

Les marques produites et distribuées sont composées de 17 eaux de source dont une est gazéifiée et 20 marques d'eau minérale naturelle dont deux sont gazeuses (tableau 04). Parmi les 20 marques d'eau minérale, il ya 03 marques non mentionnées dans la liste du ministère des ressources en eau mais sont consommable et considérées comme eau minérale dans le marché algérien (tableau n°05 en annexe).

L'Algérie dispose d'importants potentiels d'eaux de source qui se concentrent au nord de l'Algérie (Fig. 04).

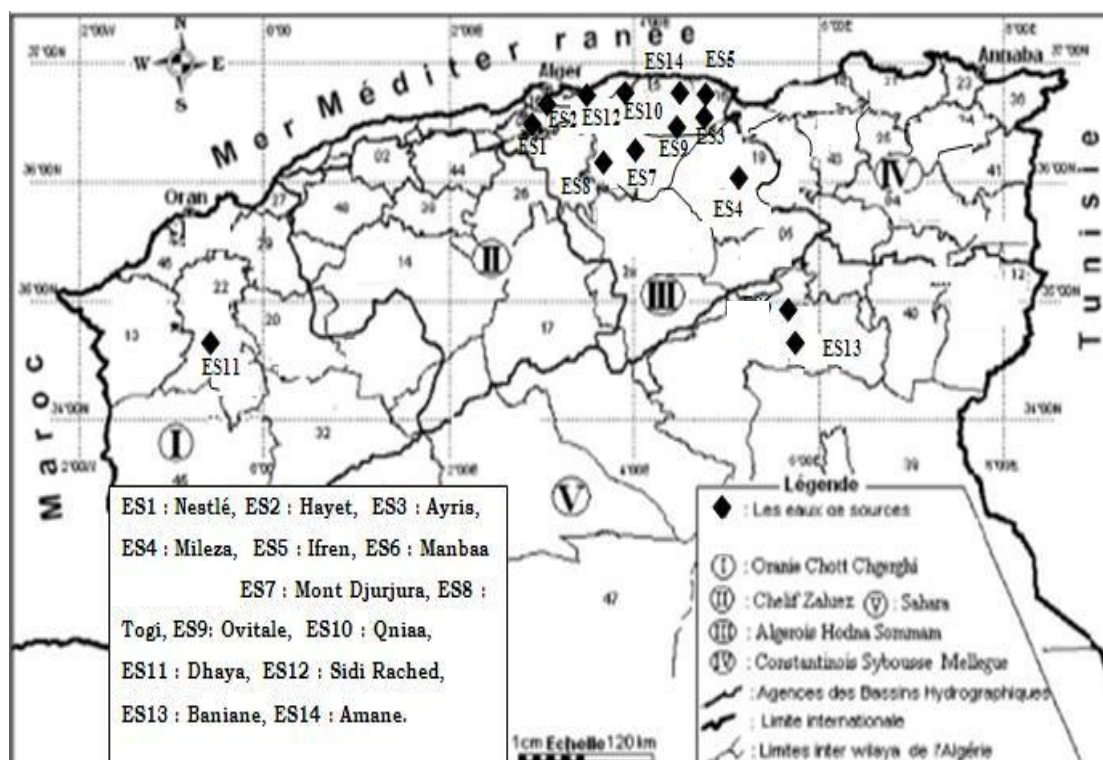


Figure 04 : Situation géographique des eaux de source en Algérie (Hazzeb, 2011).

## Chapitre III : Classification des eaux minérales

Tableau 04 : Les eaux minérales Algérienne.

<b>Appellation</b>	<b>Wilaya de conservation</b>
<b>Batna</b>	Batna
<b>Ifri</b>	Bejaia
<b>Toudja</b>	Bejaia
<b>Guedila</b>	Biskra
<b>Manbaa</b>	Biskra
<b>Mouzaïa</b>	Blida
<b>Ben Haroun</b>	Bouira
<b>El Goléa</b>	Ghardaïa
<b>Fendjel</b>	Guelma
<b>Milok</b>	Laghouat
<b>Messerghine</b>	Oran
<b>Saida</b>	Saida
<b>Sfid</b>	Saida
<b>Djemila</b>	Setif
<b>Sidi Ali Ben Youb</b>	Sidi-Bel-Abbès
<b>Sidi Dris</b>	Skikda
<b>Youkous</b>	Tébessa
<b>Hammamet</b>	Tébessa
<b>Mansourah</b>	Tlemcen
<b>LallaKhedidja</b>	Tizi-Ouzou

### 5-2 Contrôle des paramètres physico chimiques

De nombreux paramètres sont mesurés afin de s'assurer de la qualité de l'eau.

Les paramètres organoleptiques, les paramètres physiques, chimiques et la radioactivité sont autant de facteurs devant être contrôlés. On peut dégager de ces paramètres une notion importante, celle de la minéralisation. Il s'agit de l'ensemble des sels minéraux en solution dans l'eau.

## Chapitre III : Classification des eaux minérales

---

Ces éléments sont étroitement liés à la géologie locale. Parmi eux, les carbonates de calcium et de magnésium (calcaire) ont un rôle sanitaire important. Leur dépôt en fine couche protectrice sur les parois intérieures des canalisations du réseau d'alimentation, participe à réduire les possibilités de solubilisation des métaux indésirables durant la phase de transport de l'eau. Ceci est particulièrement utile lorsqu'il subsiste des conduites en plomb (branchements ou réseaux intérieurs d'immeubles) car l'ingestion répétée de faibles quantités de plomb présente des risques aujourd'hui bien identifiés, en particulier pour les enfants.

### 5-2-1 Paramètres physiques

#### a) Température

La température a une grande importance dans l'étude et la surveillance des eaux. Il est très important de connaître la température de l'eau avec précision, elle joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout des gaz, dans la dissociation des sels dissous et dans la détermination du pH.

#### b) Potentiel hydrogène pH

Le pH de l'eau conditionne les équilibres physico-chimiques, en particulier l'équilibre calco-carbonique et donc l'action de l'eau sur les carbonates (attaque ou dépôt).

Le pH peut être acide ou basique selon les roches traversées : acide dans les roches granitiques, alcalin dans les calcaires.

Le pH peut être corrigé selon le cas par élimination du CO<sub>2</sub> dissous en excès ou par correction de la dureté carbonatée.

Le pH des eaux minérales est conforme à ce que prévoit la réglementation algérienne (entre 6,5 et 8,5) et les experts. Généralement, le pH varie de 6,57 à 7,78.

Une eau acide et agressive ( $0 < \text{pH} < 7$ ) corrode les parties métalliques des canalisations de distribution. Le risque sanitaire est alors fonction des métaux qui passent en solution dans l'eau comme le plomb par exemple : risque de saturnisme hydrique.

Une eau basique ou alcaline ( $7 < \text{pH} < 14$ ) diminue l'efficacité de la désinfection au chlore.

## Chapitre III : Classification des eaux minérales

---

### c) Conductivité

La conductivité représente la résistance qu'une eau oppose au passage d'un courant électrique. Elle est proportionnelle à la minéralisation de l'eau. Plus l'eau est riche en sels minéraux ionisés, plus la conductivité est élevée. La conductivité varie également en fonction de la température. La conductivité a la plupart du temps, une origine naturelle due au lessivage des terrains lorsqu'il pleut. Ce lessivage entraîne naturellement la dissolution d'un certain nombre de sels minéraux.

La conductivité d'une eau mesurée en  **$\mu\text{Siemens/cm}$**  ou le  **$\mu\text{mhos/cm}$**  augmente avec sa teneur en sels dissous. Elle permet donc l'estimation de la minéralisation.

Il existe une relation entre la conductivité et la teneur en sel dissous (la minéralisation). On peut classer les eaux en fonction de la conductivité :

- a)  $\delta < 100 \mu\text{S/cm}$   $\rightarrow$  minéralisation très faible, comme c'est le cas au Syndicat de la Fay peut être corrosive pour les canalisations et les appareils de chauffage. Elle peut entraîner une dissolution des métaux toxiques comme le plomb.
- b)  $100 < \delta < 200 \mu\text{S/cm}$   $\rightarrow$  minéralisation faible.
- c)  $200 < \delta < 300 \mu\text{S/cm}$   $\rightarrow$  minéralisation moyenne.
- d)  $333 < \delta < 660 \mu\text{S/cm}$   $\rightarrow$  minéralisation moyenne accentuée.
- e)  $660 < \delta < 1000 \mu\text{S/cm}$   $\rightarrow$  minéralisation importante.
- f)  $\delta < 1000 \mu\text{S/cm}$   $\rightarrow$  minéralisation excessive, peut être à l'origine de dépôts d'entartrage lorsque les sels de calcium sont en excès, mais n'a pas de conséquences importantes sur la santé. Cependant, des valeurs excessives de la conductivité (minéralisation) peuvent avoir chez l'homme des effets laxatifs.

### d) Résidu sec

Le résidu sec représente le taux des éléments minéraux recueillis après l'évaporation d'un litre d'eau à une température de  $180^\circ\text{C}$ . Selon les quantités recueillies, elles sont classifiées comme suit :

-plus de 1500 mg/l : eau riche en sels minéraux.

-entre 500 et 1500 mg/l : eau moyennement minéralisée ou oligominérale.

-entre 50 et 500 mg/l : eau faiblement minéralisée.

## Chapitre III : Classification des eaux minérales

---

-résidu sec <50 mg/l : eau très faiblement minéralisée.

La réglementation algérienne recommande une minéralisation qui peut aller jusqu'à 1500-2000 mg/l

Les eaux minérales embouteillées sont généralement moyennement minéralisées. Elles font partie de celles qui sont de par le résidu sec recommandées pour l'usage quotidien de la famille.

### 5-2-2 Paramètres chimiques

#### a) Bicarbonates

Pour les eaux minérales naturelles embouteillées, la réglementation algérienne autorise, sur l'étiquette, la mention bicarbonatée pour une concentration supérieure à 600 mg/l de  $\text{HCO}_3^-$ . Les bicarbonates dans les eaux (gazeuses) facilitent la digestion et calment les brûlures d'estomac grâce aux propriétés antiacides du bicarbonate de sodium. De ce fait, les eaux bicarbonatées sont recommandées pour les sportifs pour lutter contre l'acidité produite par le muscle lors de l'effort.

#### b) Sulfates

L'Organisation Mondiale de la Santé préconisait en 1993 une teneur en sulfates de 500 mg/l. Depuis 1998, l'union européenne suggère un maximum de 250 mg/l. Lorsque les teneurs sont élevées en sulfates (plus de 400 mg/l), l'eau est laxative et peut provoquer des diarrhées. À partir de ces teneurs, elle aura un goût « médical » (tendance amère). Elle n'est pas recommandée durant la croissance car les sulfates peuvent interférer avec l'adsorption de calcium et l'inhiber. La présence de sulfates dans l'eau facilite le transit intestinal.

#### c) Chlorures

Les eaux chlorurées ont un effet stimulant sur la croissance et sont indiquées dans le traitement des troubles du développement. La concentration maximale admise des chlorures dans les eaux destinées à la consommation humaine est de 200 mg/l. Les réglementations européenne et canadienne fixent le seuil à 250 mg/l. C'est d'ailleurs à partir de ce niveau de concentration que l'on commence à ressentir le goût de chlore (javel). Le chlore est naturellement éliminé par l'urine, mais une surdose peut provoquer des vomissements.

## Chapitre III : Classification des eaux minérales

---

L'eau à faible teneur en chlorures stimule la sécrétion gastrique. Elle peut avoir une action de protection du foie des composants toxiques. Les vomissements et les diarrhées répétées font perdre à l'organisme son chlore et provoquent ainsi des crampes musculaires et une grande fatigue.

### **d) Sodium**

Les eaux pauvres en Sodium sont conseillées en cas d'hypertension ou de rétention d'eau. Le faciès bicarbonaté sodique est caractéristique des eaux minérales profondes.

### **e) Calcium et Magnésium**

Le Calcium a un rôle essentiel dans la croissance osseuse, la contraction musculaire et la minéralisation des dents. Une carence en cet élément conduit à l'ostéoporose.

Le magnésium est un des éléments les plus répandus dans la nature. Il constitue environ 2.1% de l'écorce terrestre. Son abandon géologique, sa grande solubilité, sa large utilisation industrielle font que les teneurs dans l'eau peuvent être importantes allant de quelques mg à plusieurs centaines de mg/l.

Le magnésium constitue un élément significatif de la dureté de l'eau, sa teneur dépend des terrains traversés. À partir d'une concentration de 100mg/l, le magnésium donne un goût désagréable à l'eau. La communauté européenne CEE recommande une concentration du 30mg/l, la concentration maximale admissible est de 50mg/l.

### **f) Potassium**

Le potassium est un élément-clé de la contraction musculaire. Les besoins journaliers sont assez faibles et généralement couverts par une alimentation équilibrée.

La concentration en potassium est assez faible dans la plupart des eaux minérales. Un excès en potassium pourrait avoir des effets néfastes sur le système neuromusculaire et provoquer des contractions cardiaques. Une eau riche en potassium est déconseillée en cas d'insuffisance rénale.

### **g) Nitrates et Nitrites**

Les nitrates sont indésirables en grande quantité car une fois ingérés, ils se transforment en nitrites et peuvent être à l'origine de problèmes toxicologiques. Les nitrites peuvent causer un



## Chapitre III : Classification des eaux minérales

---

problème d'oxygénation du sang. Une forte teneur en nitrates peut être d'origine naturelle mais indique parfois la présence d'une contamination par des eaux résiduaires, de certaines industries ou de ruissellement riche en engrais.

La teneur maximale acceptable pour les nitrates est de 50 mg/l, et pour les nitrites 0.1 mg/l.

### **h) Fluor**

Les eaux fluorées participent à la prévention des caries dentaires et à la solidité des os et du squelette mais l'excès de fluor peut perturber la qualité de l'émail dentaire (fluorose) et provoquer des taches brunes sur les dents.

L'arrêté interministériel du 22 janvier 2006 (article 10) : « si le produit contient plus de 1mg/l de fluorure, le producteur doit mentionner sur la bouteille », « ce produit ne convient pas aux nourrissons, ni aux enfants de moins de 07 ans pour une consommation régulière ».

### **i) Silice**

Le silicium permet la constitution du squelette humain qui en comporte 07g. Le silicium est nécessaire pour la croissance car il accélère le processus de calcification et de fixation du calcium sur les os. La teneur mentionnée sur les étiquettes d'eau minérale n'est pas de la silice, cette dernière étant insoluble dans l'eau. Selon le pH de l'eau, elle se présente sous forme d'hydroxyde ou autre composé : acide orthosilicique, monosilicate, bisilicate...

Il n'y a pas de recommandation d'apport journalier pour le silicium. Cependant, il est utile de compléter certaines personnes avec 20 et 50 mg par jour : femme enceintes, enfants en période de croissance, sportifs, adultes à partir de trente ans et les personnes âgées.

L'eau minérale ou de source riche en « silice » est recommandée à chaque personne fragile, surtout dès l'apparition des premiers froids car il renforce les défenses naturelles de l'organisme.

## **6- Conclusion**

La famille des eaux minérales présente une grande diversité dans leur teneur en sels minéraux, permettant de les classer en plusieurs catégories en fonction de leur teneur en éléments contenus.



## **Chapitre IV**

**Etude qualitative  
comparative de  
quelques eaux  
minérales en Algérie**



## 1- Introduction

Le but envisagé dans ce chapitre est la caractérisation et la classification de quelques eaux minérales embouteillées de l'Algérie.

Plusieurs méthodes de caractérisation et de classification des eaux souterraines, en particulier les eaux conditionnées, sont indiquées dans la littérature (Cüneyt, 2007; Rajesh et al, 2002; Lourenço et al. 2010; Tanasković et al. 2012). Dans cette étude, les analyses de caractérisation et de classification sont basées sur des méthodes empiriques, graphiques, et le report sur diagramme semi-log de Schoeller, diagramme de Piper et l'analyse en composantes principales et l'étude des rapports caractéristiques.

## 2- Description des données

L'Algérie dispose d'importants potentiels d'eaux minérales et qui se concentrent au Nord de l'Algérie (Hazzab, 2011), en particulier dans le bassin algérois Hodna Soummam.

Il est difficile de trouver une définition physico-chimique des eaux dites minérales rigoureusement acceptable. La dénomination « eau minérale » « eau minérale naturelle » ou tout autre contenant ces mots sont réservés aux eaux douées de propriétés thérapeutiques provenant d'une source dont l'exploitation a été autorisée par la législation en vigueur (Louvrier, 1971).

Contrairement à celles proposées par les géologues, cette définition met essentiellement l'accent sur les propriétés thérapeutiques de ces eaux.

Ne pouvant traiter toutes les eaux minérales algériennes, il a fallu faire un choix : d'où cette étude basée sur les plus connus et les plus commercialisés.






Dans le cadre de cette étude, nous allons tenter d'étudier quelques eaux minérales embouteillées produites en Algérie : Mansourah, Misserghine, Saida, Sfid, Mouzaia, Lalla Khedidja, Ifri, Toudja, Batna, Hammamet, Youkous, Guedila, Manbaa, Milok et El Golea (Fig.05).

La lecture compréhensive des analyses affichées sur les étiquettes est sine qua non indispensable pour le consommateur.








Nous n'avons malheureusement pas analysé toutes ces eaux, mais nous avons pu disposer des résultats d'analyses physiques et chimiques réalisés à la Société de l'eau et de l'assainissement d'Oran (SEOR) pour certaines ; et celles affichées sur les étiquettes de bouteilles commercialisées.

# légende:











## Cénozoïques et quaternaire:

	Quaternaire
	Sebkha, Lac
	Dunes
	Miocène, Oligocène
	Eocène









## Mésozoïque:

	Crétacé indifférencié
	Crétacé supérieur et moyen
	Crétacé inférieur
	Jurassique indifférencié
	Jurassique supérieur et moyen
	Jurassique inférieur
	Trias ou Permo-Trias

## Paléozoïque:

	Carbonifère indifférencié
	Carbonifère supérieur et Permien
	Carbonifère inférieur
	Dévonien indifférencié
	Dévonien supérieur et moyen
	Dévonien inférieur
	Silurien
	Ordovicien
	Cambrien: séries indifférenciées
	Porphyrite indifférencié

## Précambrien:

	Protérozoïque supérieur (P1), cycle panafricain
	Néo-protérozoïque (Calcaires à stromatolithes)
	Méso-protérozoïque
	Paléo-protérozoïque
	Protérozoïque inférieur (cycle éburnéen)
	Protérozoïque inférieur
	Archéen dans la dorsale Réguibat
	Boots métamorphisées et indifférenciées, Nord du Paléozoïque

# Chapitre IV : Etude qualitative comparative de quelques eaux minérales en Algérie

## 2-1 Aperçu hydrogéologique des eaux minérales étudiées

Les eaux minérales d'Algérie consistent en un gisement précieux inépuisable. La grande variété des conditions climatiques, régimes hydrologiques et environnements géologiques de l'Algérie fait que les eaux minérales présentent une grande diversité (Fig. 06).



Figure 05 : Localisation des eaux minérales étudiées (source internet : modifier).

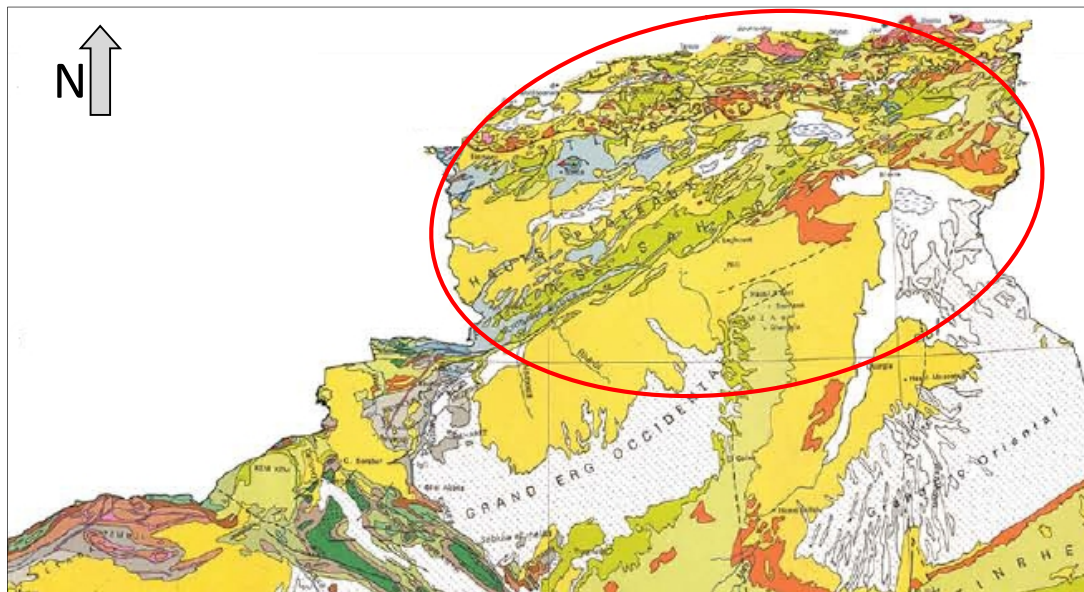


Figure 06 : Représentation sur la carte géologique les eaux minérales étudiées (Source internet : modifier).

## Chapitre IV : Etude qualitative comparative de quelques eaux minérales en Algérie

Le contexte hydrogéologique de chaque captage des eaux minérales étudiées est présenté ci-dessous, mis à part l'eau de Mouzaia dont nous ne disposons pas de son contexte hydrogéologique :

Les eaux minérales étudiées s'étendent à travers les quatre régions de l'Algérie :

### a- Région Ouest

#### Mansourah

De haut en bas, le forage de Mansourah recoupe deux formations géologiques principales:

Les Dolomies de Tlemcen :

Dans les Monts de Tlemcen, cette série calcaréo-dolomitique du Jurassique supérieur est constituée par un ensemble de dolomies grises, microcristallines, gréseuses à veinules de calcite, en alternance avec des bancs calcaires fissurés. Au piémont Nord des Monts de Tlemcen, les différents niveaux de cet aquifère sont très compartimentés. Ils deviennent captifs sous le recouvrement marneux du Miocène.

Dans le graben de Mansourah, au niveau du forage Mansourah 03, cette formation a été recoupée jusqu'à la profondeur de 178 m (Fig. 07). Elle est constituée d'une zone de dolomie, d'allure saccharoïde, bien fissurée et vacuolaire, alternant avec des bancs de calcaires fissurés. Ces caractéristiques lui donnent une excellente productivité. Cette formation est limitée vers le bas par un substratum semi-perméable à perméable constitué d'un grès fin, gris à beige, alternant avec quelques niveaux de marnes grises appartenant aux grès de Boumediene.

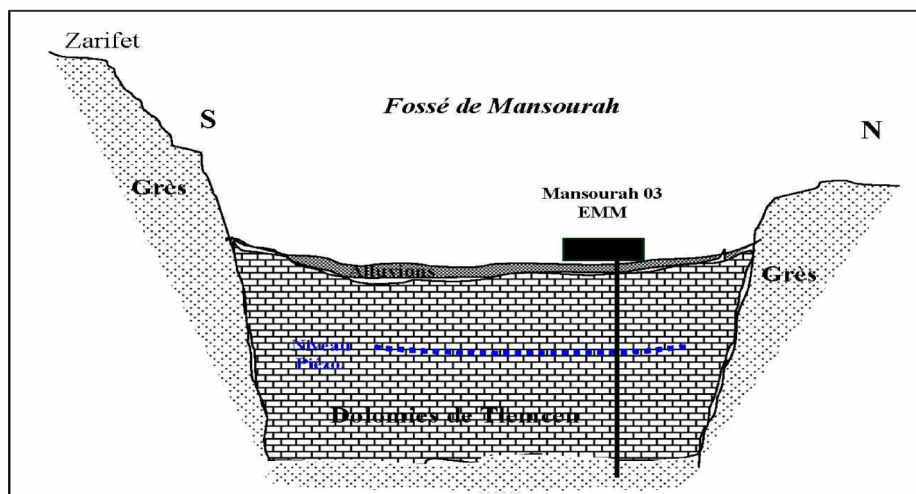


Figure 07: Coupe hydrogéologique schématique à travers le fossé de Mansourah (Document fourni par Hassani 2001).

## Chapitre IV : Etude qualitative comparative de quelques eaux minérales en Algérie

Les Grès de Boumediene :

Dans les Monts de Tlemcen, ils sont constitués de bancs massifs de grès entrecoupé par de nombreuses passées marneuses. On trouve aussi des lentilles carbonatées massives qui peuvent jouer un rôle hydrogéologique intéressant : drainante des grès qui les encadrent, ainsi que le montrent les nombreuses petites sources qui jalonnent leurs affleurements. La productivité de cet étage est cependant limitée par les nombreux niveaux marneux.

### Misserghine

La région de Misserghine située au Sud-Ouest d'Oran, elle est bordée au Nord par les Murdjadjo, et au Sud les monts du Tessala.

Le territoire de la commune est très étendu et comprend la grande dépression salée, la Sebkhia d'Oran.

Le captage d'eau minérale de Misserghine de 80 mètres de profondeur (Fig. 08), c'est un forage avec deux niveaux de calcaires, le premier niveau est fissuré et constitue le milieu poreux de la zone non saturée, tandis que le deuxième niveau est plus ou moins karstifié qui constitue la zone saturée.

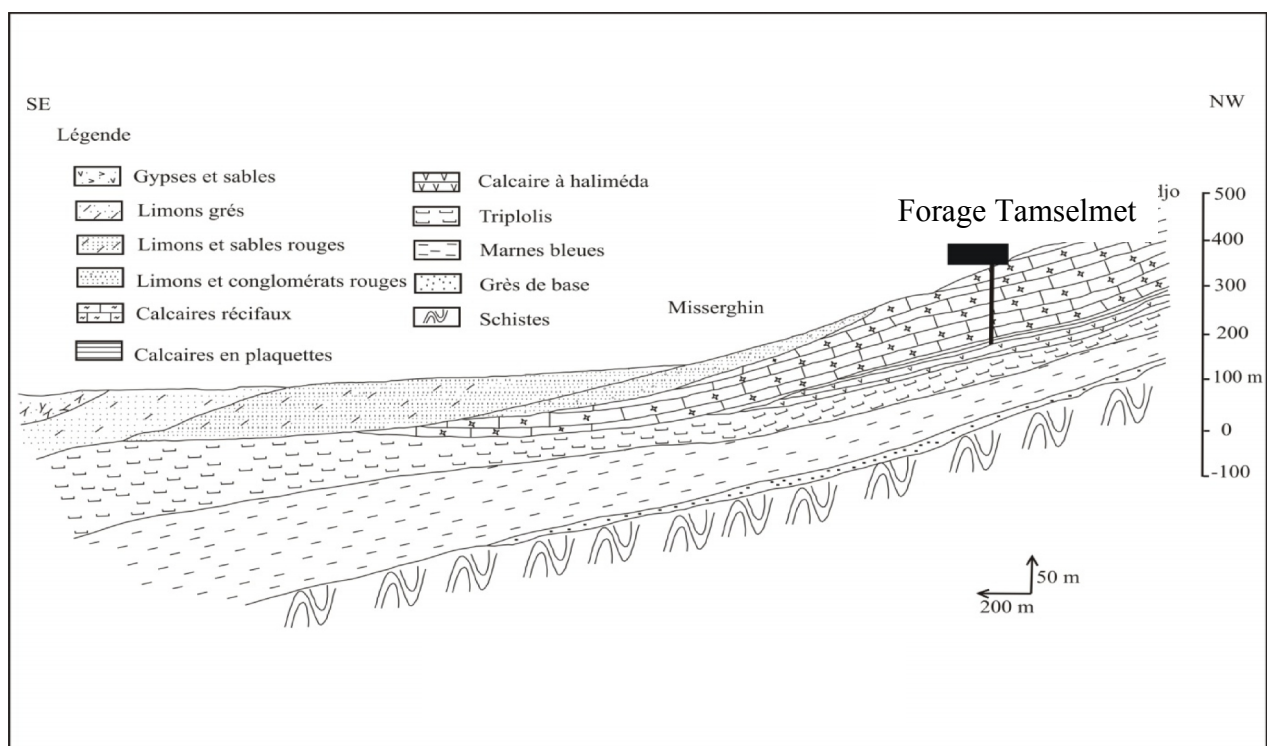


Figure 08: Coupe hydrogéologique schématique à travers le forage Tamselmet (*in* Benamer 2008).



## Chapitre IV : Etude qualitative comparative de quelques eaux minérales en Algérie

Le forage capte juste le niveau inférieur qui est karstifié. C'est un milieu fissuré très vulnérable.

### Saida et Sfid

La wilaya de Saïda a l'avantage de disposer d'aquifères importants et complexes comprenant aussi bien des nappes phréatiques ainsi que des nappes profondes, couvrant une bonne partie de la wilaya.

Les calcaires et calcaires dolomitiques qui affleurent sur le flanc Sud des Monts de Saïda et dans les Monts de Mécheria, constituent l'assise perméable la plus importante de tout ce système hydrogéologique. Les calcaires du Sénonien, souvent altérés et très perméables, affleurent au Nord-Est et participent à son alimentation en donnant naissance à la source d'Ain Skhouna. L'exploitation des eaux minérales se fait principalement par les forages dans la wilaya de Saida (Fig. 09).

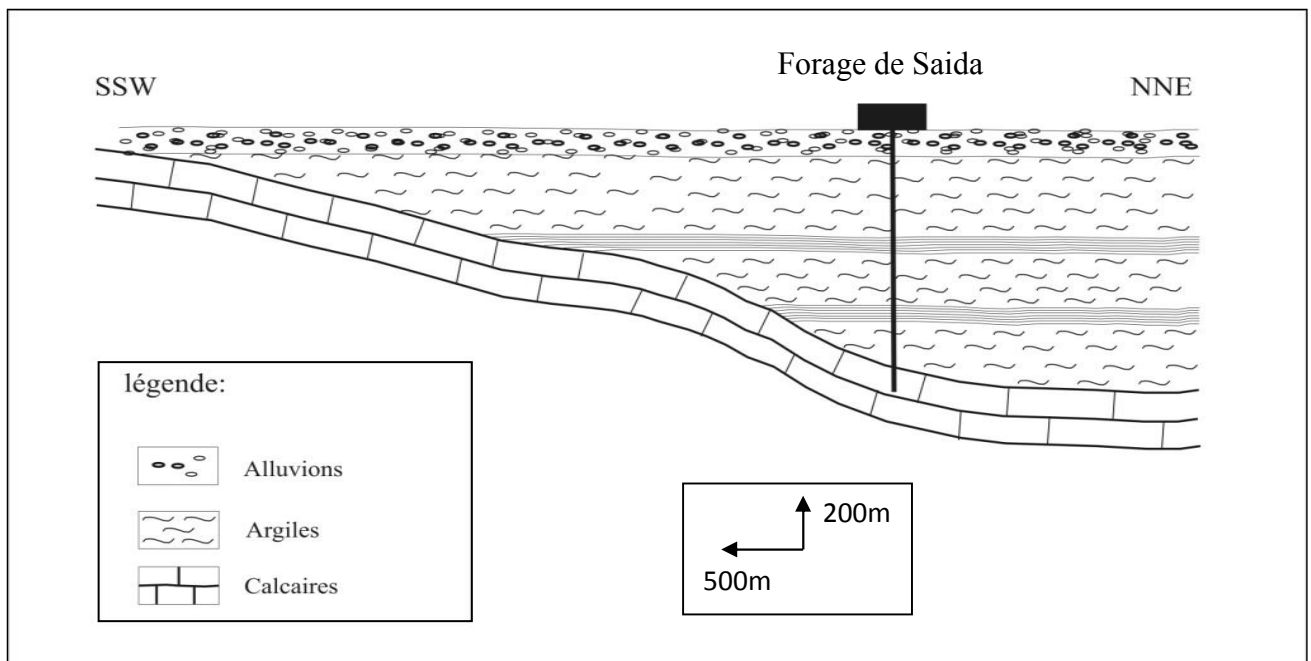


Figure 09: Coupe hydrogéologique schématique à travers le fossé de Saida (in Khelifa 1991).

**b- Région Centre**

**Lalla Khedidja**

Le massif du Kouriet (Fig. 10), réservoir calcaire alimentant la source de Lalla Khedidja est situé sur le Nord de la partie occidentale de la chaîne du Djurdjura.

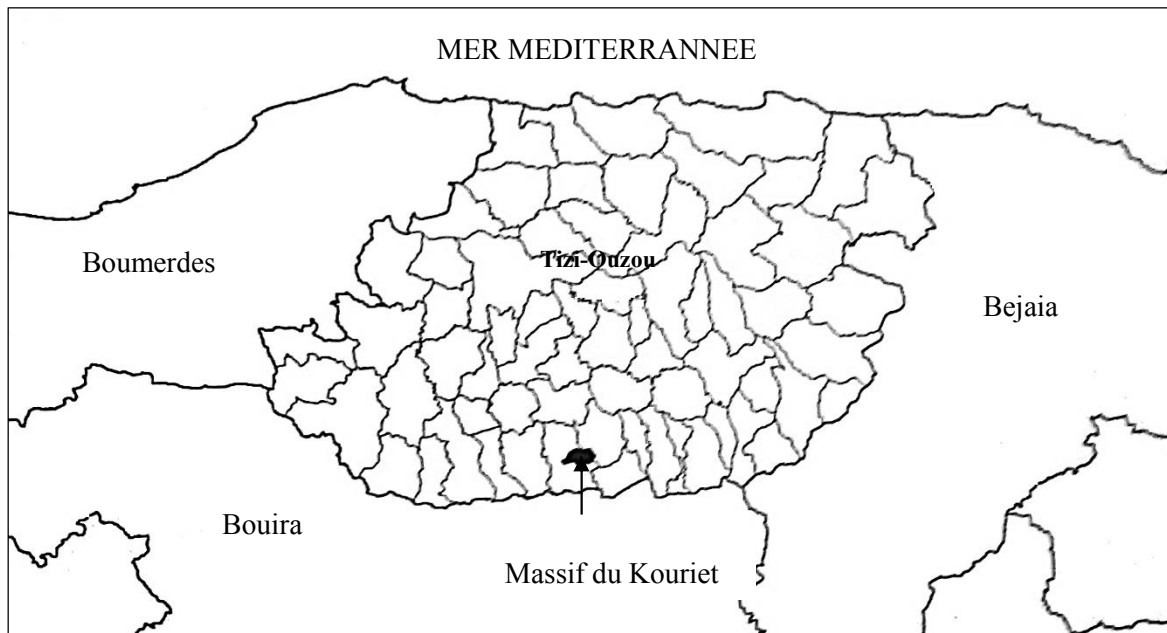


Figure 10 : Situation régionale du massif du Kouriet (GEOSYSTEM, 2005).

Les calcaires du Lias et de l'Eocène constituent la formation aquifère. Son substratum est formé par les niveaux argileux et schisteux du Paléozoïque. L'épaisseur de l'ensemble aquifère est d'environ 400 m et la karstification est profonde. Les circulations des eaux dans le massif sont de type karstique.

La source de Lalla Khedidja émerge par débordement à la limite entre les calcaires et les argiles oligocène (Fig. 11). L'eau minérale Lalla Khedidja s'infiltré très lentement au travers des roches, et se charge naturellement en minéraux essentiels.

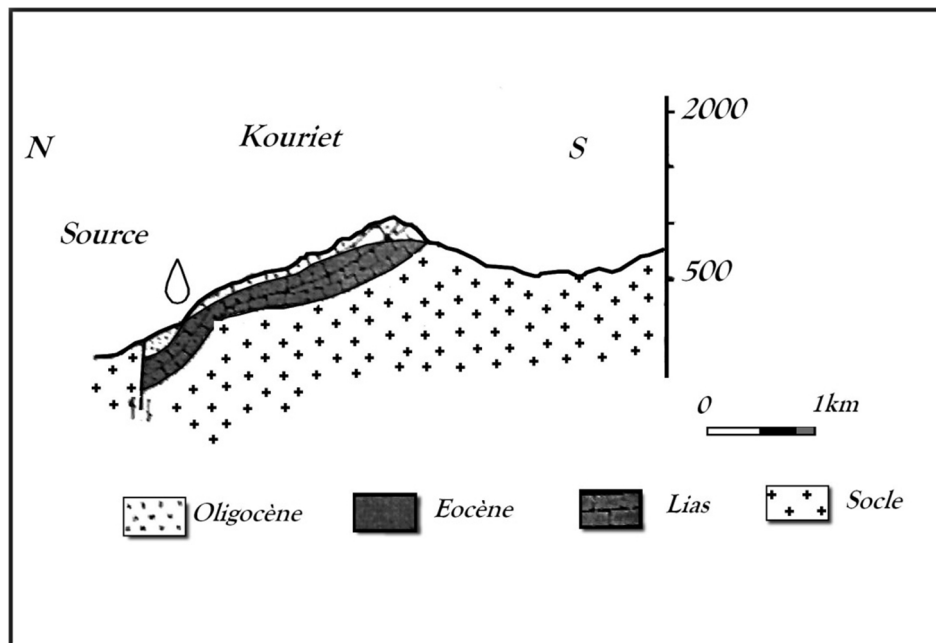


Figure 11 : Coupe schématique de la source de Lalla Khedidja (GEOSYSTEM, 2005).

### **Ifri**

L'eau minérale d'Ifri provient des montagnes de Kabylie qui surplombent la vallée de la Soummam.

### **Toudja**

La source de l'eau minérale Toudja se trouve sur le versant méridional de Takalats, l'un des pics les moins élevés de cette chaîne de montagnes, et forment l'Oued Ghir qui se jette dans la Soummam.

### **c- Région Est**

#### **Batna**

L'eau minérale Batna fait partie de l'ensemble des sources de la Wilaya de Batna. Elle prend sa source à Kasrou dans les montagnes des Aurès, près de la ville de Batna. Le forage capte la formation calcaire-dolomitique le plus souvent altéré et karstique d'âge jurassique.

## Chapitre IV : Etude qualitative comparative de quelques eaux minérales en Algérie

---

### Youkous et Hammamet

Les sources de Youkous et Hammamet sont considérées comme une importante réserve d'eau minérale, située à l'extrême Est algérien, constituent par un aquifère très karstifère, et la grotte de Bouakkous qui alimente ces sources.

### Guedila

L'eau minérale naturelle Guedila jaillit au pied du mont de Guedila, qui atteint les 500 m d'altitude, du côté sud de la chaîne montagneuse de l'Aurès, et présente un filtre naturel des roches de calcaire.

### Manbaa

L'eau minérale de Manbaa jaillissant à la jonction de l'Atlas avec les monts des Aurès.

#### **d- Région sud**

### Milok

Le forage de l'eau minérale Milok se trouve au niveau de l'aquifère Barrémien, et il est capté dans les formations Grés.

### El Golea

Le forage de l'eau minérale El Golea se trouve dans les formations quaternaires de la nappe phréatique de la région, où on y trouve des intercalations calcaires et des sables.

## **2-2 Etude des paramètres physico-chimiques**

### **2-2-1 Paramètres physiques**

#### **➤ Potentiel pH**

Le pH de l'eau conditionne les équilibres physico-chimiques, en particulier l'équilibre calco carbonique et donc l'action de l'eau sur les carbonates

Le pH des eaux étudiées est conforme à ce que prévoit la réglementation algérienne, il varie entre 7 et 7.5, mais il n'est pas indiqué sur les étiquettes de l'eau de Toudja et Batna.

## Chapitre IV : Etude qualitative comparative de quelques eaux minérales en Algérie

### ➤ Résidu sec et conductivité

La composition minérale (fig. 17) exigée ainsi que le résidu sec (tableau 07) à 180°C sont indiquées sur les étiquettes.

Tableau n°07 : Classification des eaux en fonction de leur résidu sec.

[50-500 mg/l] eau faiblement minéralisée	[500-1500 mg/l] eau moyennement minéralisée
Milok 190 mg/l	Mouzaïa 1280mg/l
Lalla Khedidja 187mg/l	Mansourah 660mg/l
El Golea 199mg/l	Sfid 650mg/l
Youkous 230.87mg/l	Guedila 572 mg/l
Hammamet 231mg/l	
Misserghine 320 mg/l	
Ifri 380mg/l	
Toudja 390 mg/l	
Manbaa 451mg/l	
Batna 470mg/l	
Saida 478mg/l	

D'après le tableau, on peut dire que ces eaux embouteillées sont généralement plus faiblement minéralisées que moyennement minéralisées.

La conductivité électrique et la quantité du solide dissous sont deux paramètres importants pour caractériser les différences entre les eaux de source et les eaux minérales.

Cependant, ces deux paramètres ne sont pas inclus généralement dans les données des étiquettes commerciales. Nous les avons donc estimés théoriquement (tableau 08) en se basant sur les relations empiriques qui relie la conductivité d'une eau minérale à son résidu sec et à sa force ionique :

$$\checkmark \quad \mu = 1.65 \cdot 10^{-5} * \delta$$

$$\checkmark \quad \mu = 2.5 \cdot 10^{-5} * R.S$$

✚  $\mu$  : force ionique

✚  $\delta$  : conductivité  $\mu\text{s/cm}$

## Chapitre IV : Etude qualitative comparative de quelques eaux minérales en Algérie


 **R.S** : résidu sec

Tableau n°08 : les conductivités et les minéralisations.

Nom	Cond $\mu\text{S/cm}$	Minéralisation mg/l	Classe de minéralisation
Mansourah	1000	758	Excessive
Misserghine	487.8	347	Moyenne
Saida	724.2	518	Importante
Sfid	984.8	747	Importante
Mouzaïa	1939.4	1470	Excessive
Lalla Khedidja	283.3	218	Très faible
Ifri	575	411	Moyenne
Toudja	590.9	423	Moyenne
Batna	712.1	509	Importante
Hammamet	360.6	258	Moyenne
Youkous	349.8	250	Moyenne
Guedila	866.7	657	Importante
Manbaa	683.3	489	Importante
Milok	287.9	221	Moyenne
El Golea	301.5	232	Moyenne

Pour les eaux étudiées, les minéralisations correspondantes varie de 217.9 à 1470.06 mg/l.

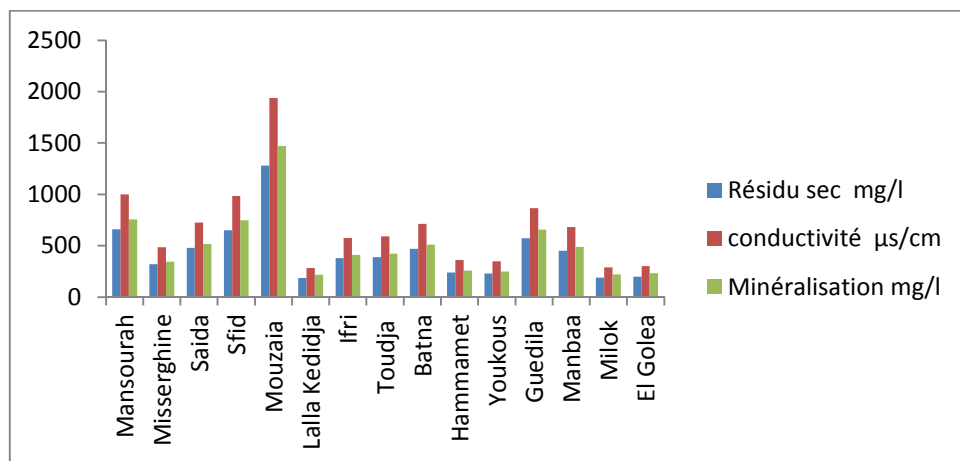


Figure 12 : Histogramme des variations (résidu sec, conductivité et minéralisation).

La figure 12 nous a permis de montrer la corrélation entre le résidu sec, la conductivité et la minéralisation, elle nous a montré la bonne corrélation existant entre ces trois paramètres physico-chimiques.

## Chapitre IV : Etude qualitative comparative de quelques eaux minérales en Algérie

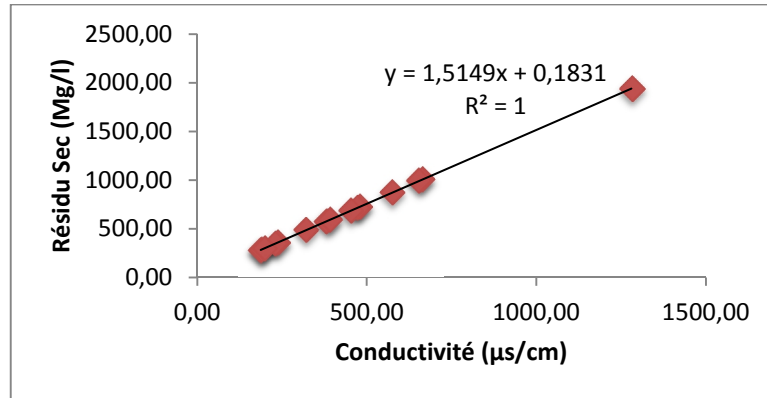


Figure 13 : Droite de corrélation entre le résidu sec et la conductivité.

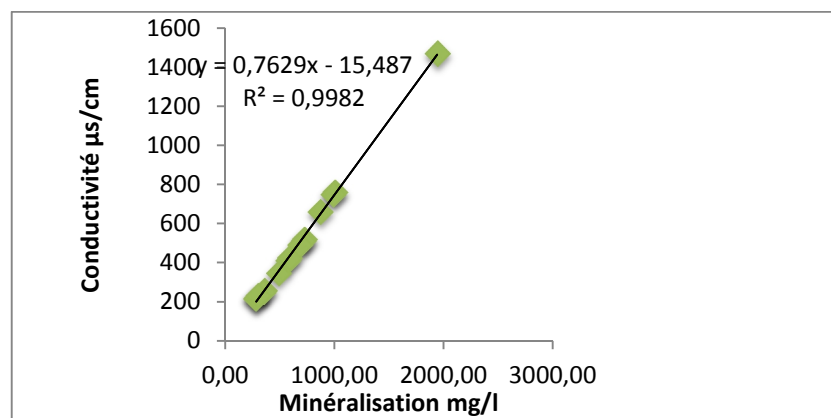


Figure 14 : Droite de corrélation entre la conductivité et la minéralisation.

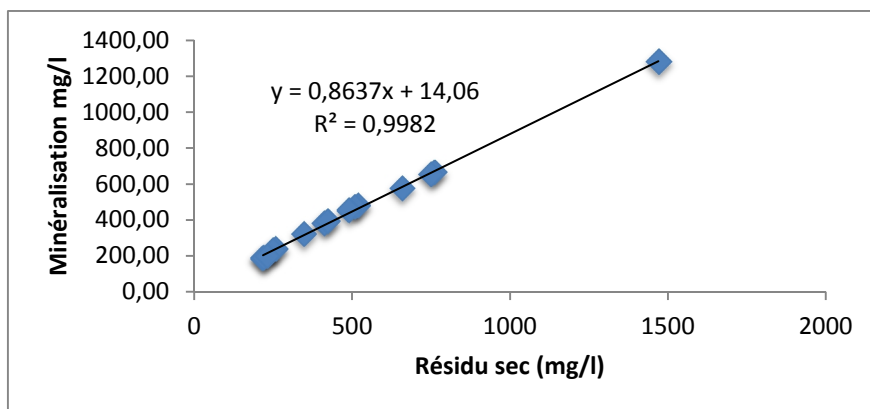


Figure 15 : Droite de corrélation entre la minéralisation et le résidu sec.

Les courbes de tendance linéaires (fig. 13, 14, 15) montrent que le résidu sec, la conductivité et la minéralisation des eaux minérales étudiées sont très bien corrélés.

## Chapitre IV : Etude qualitative comparative de quelques eaux minérales en Algérie

### ➤ Dureté

On détermine la potabilité chimique d'une eau en calculant la dureté, ou titre hydrométrique, due à la présence des sels de Calcium et de Magnésium que renferme cette eau.

Où:  $TH = Ca^{++} + Mg^{++}$  (meq/l)

$$TH = (Ca^{2+} + Mg^{2+}) * 5 \text{ (degré Français } F^\circ)$$

La dureté acceptable pour une eau de bonne qualité chimique selon l'OMS est comprise entre 15  $F^\circ$  et 50  $F^\circ$ .

Tableau n°09 : La dureté et leur interprétation.

Nom	TH ( $F^\circ$ )	Type d'eau
Mansourah	36	Dure
Misserghine	30	Assez douce
Saida	38	Dure
Sfid	33	Dure
Mouzaïa	65	Très dure
Lalla Khedidja	16	Modérément douce
Ifri	37	Dure
Toudja	24	Assez douce
Batna	37	Dure
Hammamet	22	Assez douce
Youkous	21	Modérément douce
Guedila	34	Dure
Manbaa	32	Dure
Milok	18	Modérément douce
El Golea	13	Modérément douce

D'après le tableau, la majorité des eaux étudiées sont dure, trois sont assez dure, quatre sont modérément douce parmi elle les eaux de Sahara, et une seul eau qui est très dure.



## Chapitre IV : Etude qualitative comparative de quelques eaux minérales en Algérie

---

### ➤ **Couleur**

La coloration d'une eau peut être soit d'origine naturelle (micro-organisme), soit associée à sa pollution. D'après l'observation, nos eaux étudiées sont incolores.

### ➤ **Odeur**

Toute odeur est un signe de pollution ou de la présence de matière organique. Nos eaux étudiées sont inodores.

### **2-2-2 Paramètres chimiques**

#### ➤ **Calcium et Magnésium**

Toutes les eaux étudiées considérées ont donné des teneurs inférieures à 150 mg/l de calcium.

Les teneurs en magnésium sont de loin inférieures à la limite exigée par la réglementation des eaux minérales.

De ce fait, ces eaux peuvent être classifiées comme très peu calcaïques (teneurs inférieures à 150 mg/l Ca) et non dures dont le rôle peut aider à éliminer les toxines de l'organisme.

#### ➤ **Sodium**

Le Sodium est soumis aux mêmes processus d'adsorption/désorption que le calcium et le magnésium. Sa mise en solution présente donc une complexité comparable. Les eaux minérale étudiées sont considérées comme non sodiques ( $Na < 200$  mg/l) sauf El Golea. Plus particulièrement, l'eau minérale Lalla Khedidja correspond au régime pauvre en sodium ( $Na = 5.5$  mg/l).

Les teneurs en sodium sont comprises entre 5.5 mg/l pour Lalla Khedidja et 147 mg/l pour Mouzaïa.

De ce fait, toutes les eaux étudiées conviennent généralement aux régimes normaux.

#### ➤ **Potassium**

D'une manière générale, les eaux souterraines présentent rarement des teneurs en Potassium supérieures à 10 mg/l. Les concentrations en Potassium observées dans les eaux minérales étudiées sont faibles, elles sont comprises entre 0.54 mg/l pour Lalla Khedidja et 5mg/l pour El Golea.

## Chapitre IV : Etude qualitative comparative de quelques eaux minérales en Algérie

---

### ➤ **Bicarbonates**

Dans le cas des eaux étudiées les teneurs en bicarbonates varient de 160mg/l pour Lalla Khedidja, et 835 mg/l pour Mouzaïa. Elles peuvent être de ce fait classées comme moyennement bicarbonatées.

Les teneurs en bicarbonates ne sont pas précisées sur les étiquettes des deux marques qui sont : Guedila, et El Goléa, mais nous avons estimé et calculé ces teneurs par la formule de la balance ionique.

### ➤ **Chlorures**

Les eaux minérales étudiées sont considérées non chlorurées ( $Cl < 200$  mg/l). Les chlorures varient de 10 mg/l pour Milok à 150 mg/l pour Mouzaïa.

Les Chlorures dans les eaux minérales peuvent avoir de multiples origines, en particulier les interactions eau-roches ignées.

### ➤ **Sulfates**

Dans le cas des eaux étudiées, l'eau de Manbaa présente la teneur la plus élevée en sulfates (92 mg/l) et l'eau de Lalla Khedidja la teneur la plus faible (7 mg/l).

Les différentes eaux minérales embouteillées en Algérie sont considérées non sulfatées ( $SO_4 < 200$  mg/l) comme Milok.

### ➤ **Nitrates et Nitrites**

Les eaux minérales étudiées présentent des teneurs en nitrites inférieures à la limite permise [ $< 0.1$ mg/l].

Les teneurs en nitrates sont aussi inférieures à la limite permise [50 mg/l] à l'exception des teneurs d'Ifri, Saida et Mouzaïa qui atteignent une valeur maximale de (49mg/l) d'après les analyses de la SEOR (2014). Cette augmentation s'explique par la présence d'activités agricoles dans la zone d'exploitation de Saida et Blida et des activités industrielles dans la zone d'exploitation d'Ifri.

## Chapitre IV : Etude qualitative comparative de quelques eaux minérales en Algérie

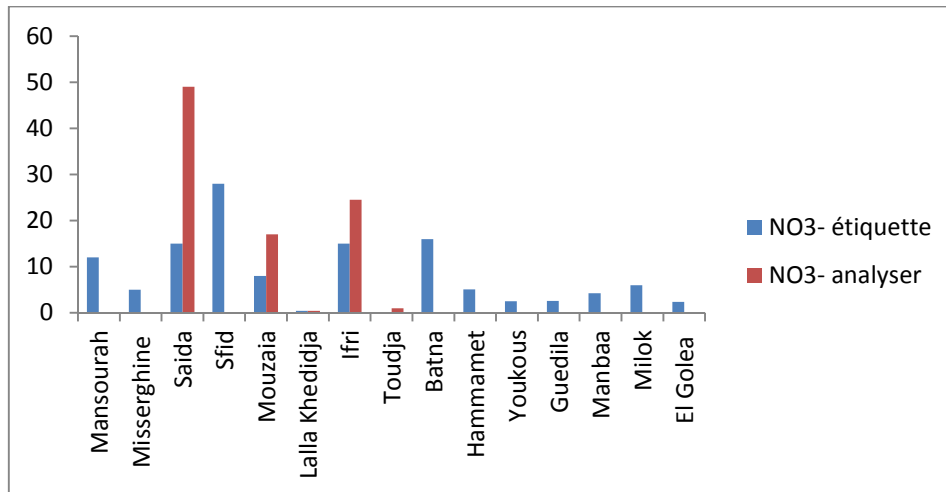


Figure 16 : Histogramme des variations en nitrates.

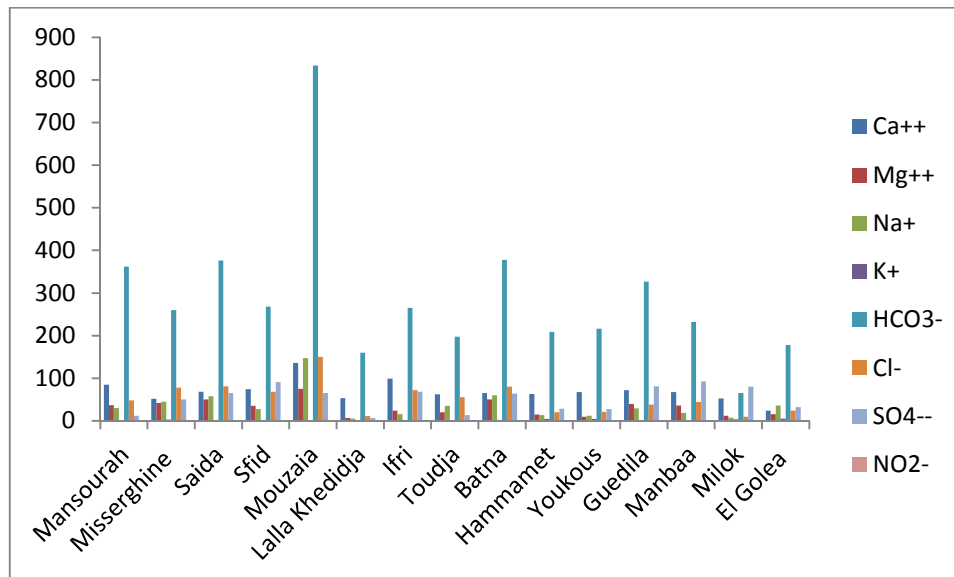


Figure 17 : Représentation graphique des éléments majeurs.

### 3- Méthodes d'analyse graphique et empirique

#### 3-1 Balance ionique

Les compositions chimiques des 15 eaux minérales embouteillées objet de cette étude, ont fait l'objet d'une première vérification par l'analyse de la balance ionique selon la Formule suivante :

$$\text{Balance ionique en (\%)} \quad e = (\sum \text{rcations} - \sum \text{ranions}) / (\sum \text{rcations} + \sum \text{ranions}) * 100.$$

La limite pour une analyse exploitable est fixée à un écart maximal de 10% et qui est une erreur acceptable pour ce type d'étude. Si cette balance n'est pas vérifiée, on recherche soit un

## Chapitre IV : Etude qualitative comparative de quelques eaux minérales en Algérie

ion qui n'a pas été dosé, ou une erreur analytique.

Les résultats obtenus sont données dans le tableau (10) :

\*Si  $e < 2\%$  : nous avons une très bonne analyse.

\*Si  $2 < e < 5\%$  : analyse acceptable.

\*Si  $e > 5\%$  : c'est une mauvaise analyse et à refaire.

Tableau n°10: Pourcentage d'erreur des analyses des eaux minérales.

Nom	$\Sigma r$ cations	$\Sigma r$ anions	e%	L'analyse
Mansourah	8.61	7.73	-5	Acceptable
Misserghine	8.08	7.58	3	Acceptable
Saida	10.08	10.04	0	Très bonne
Sfid	7.84	8.65	5	Acceptable
Mouzaïa	19.37	19.38	0	Très bonne
Lalla Kedidja	3.47	3.08	5	Acceptable
Ifri	7.66	8.03	-2	Très bonne
Toudja	6.34	5.09	11	Mauvaise
Batna	10.01	10.04	0	Très bonne
Hammamet	5.06	4.67	4	Acceptable
Youkous	4.83	4.73	1	Très bonne
Guedila	8.16	8.15	0	Très bonne
Manbaa	7.21	7.02	1	Très bonne
Milok	4.02	3.11	13	Mauvaise
El Golea	4.20	4.29	-1	Très bonne

Le tableau ci-dessus montre que les résultats d'analyses sont huit très bonne, cinq acceptable et 2 mauvaises.

### 3-2 Représentation graphique

Plusieurs méthodes de classification des eaux naturelles ont été proposées par divers auteurs. Dans le cadre de cette étude, seulement la classification de Schoeler-Berkaloff et Piper, et la classification de Schoeler-Berkaloff ont été prises en considération.

## Chapitre IV : Etude qualitative comparative de quelques eaux minérales en Algérie

### 3-2-1 Diagramme de Schoeler-Berkaloff

Le diagramme à été établi par H. Schoeler en 1932, et révisé par Berkaloff en 1952. Ce diagramme à échelle logarithmique permet de distinguer par simple lecture des échelles les concentrations des ions dominantes et donc de déduire rapidement des différentes familles chimiques. Les diagrammes logarithmiques ont permis d'identifier les grandes familles chimiques qui sont mentionnées dans le tableau (11).

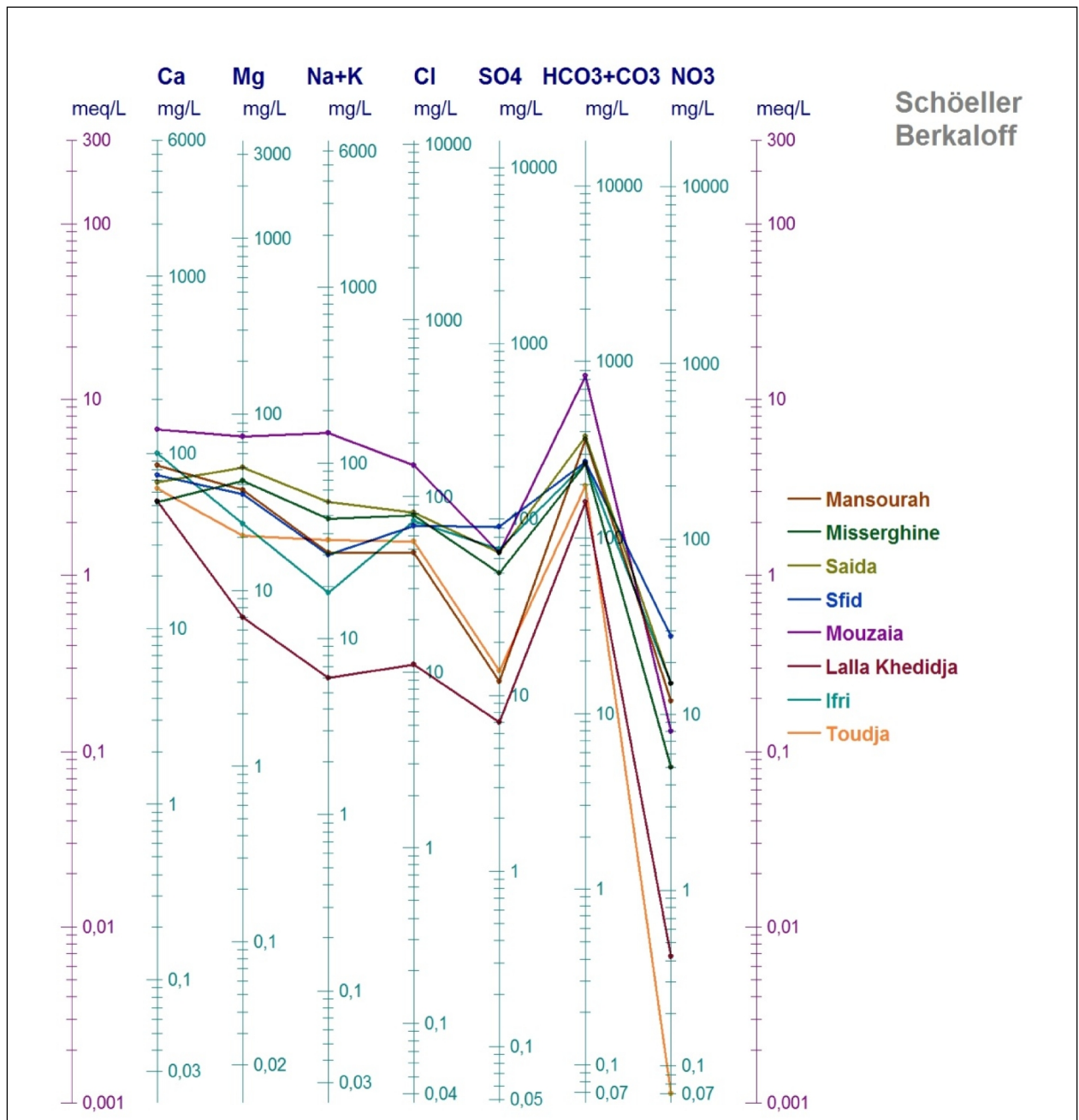


Figure 18 : Représentation graphique des eaux sur le diagramme de Schoeler-Berkaloff.

## Chapitre IV : Etude qualitative comparative de quelques eaux minérales en Algérie



Figure 19: Représentation graphique des eaux sur le diagramme de Schoeler-Berkaloff.

## Chapitre IV : Etude qualitative comparative de quelques eaux minérales en Algérie

Tableau n°11 : Résumé des formules caractéristiques et des faciès chimique.

Nom	Formule caractéristique	faciès chimique
Mansourah	$r \text{HCO}_3^- > r \text{Cl}^- > r \text{SO}_4^{2-} > r \text{NO}_3^- > r \text{NO}_2^-$ $r \text{Ca}^{++} > r \text{Mg}^{++} > r \text{Na}^+ > r \text{K}^+$	Bicarbonatée calcique
Messerghine	$r \text{HCO}_3^- > r \text{Cl}^- > r \text{SO}_4^{2-} > r \text{NO}_3^- > r \text{NO}_2^-$ $r \text{Mg}^{++} > r \text{Ca}^{++} > r \text{Na}^+ > r \text{K}^+$	Bicarbonatée magnésienne
Saida	$r \text{HCO}_3^- > r \text{Cl}^- > r \text{SO}_4^{2-} > r \text{NO}_3^- > r \text{NO}_2^-$ $r \text{Mg}^{++} > r \text{Ca}^{++} > r \text{Na}^+ > r \text{K}^+$	Bicarbonatée magnésienne
Sfid	$r \text{HCO}_3^- > r \text{Cl}^- > r \text{SO}_4^{2-} > r \text{NO}_3^- > r \text{NO}_2^-$ $r \text{Ca}^{++} > r \text{Mg}^{++} > r \text{Na}^+ > r \text{K}^+$	Bicarbonatée calcique
Mouzaïa	$r \text{HCO}_3^- > r \text{Cl}^- > r \text{SO}_4^{2-} > r \text{NO}_3^- > r \text{NO}_2^-$ $r \text{Ca}^{++} > r \text{Na}^+ > r \text{Mg}^{++} > r \text{K}^+$	Bicarbonatée calcique
Lalla Khedidja	$r \text{HCO}_3^- > r \text{Cl}^- > r \text{SO}_4^{2-} > r \text{NO}_3^- > r \text{NO}_2^-$ $r \text{Ca}^{++} > r \text{Mg}^{++} > r \text{Na}^+ > r \text{K}^+$	Bicarbonatée calcique
Ifri	$r \text{HCO}_3^- > r \text{Cl}^- > r \text{SO}_4^{2-} > r \text{NO}_3^- > r \text{NO}_2^-$ $r \text{Ca}^{++} > r \text{Mg}^{++} > r \text{Na}^+ > r \text{K}^+$	Bicarbonatée calcique
Toudja	$r \text{HCO}_3^- > r \text{Cl}^- > r \text{SO}_4^{2-} > r \text{NO}_3^- > r \text{NO}_2^-$ $r \text{Ca}^{++} > r \text{Mg}^{++} > r \text{Na}^+ > r \text{K}^+$	Bicarbonatée calcique
Batna	$r \text{HCO}_3^- > r \text{Cl}^- > r \text{SO}_4^{2-} > r \text{NO}_3^- > r \text{NO}_2^-$ $r \text{Mg}^{++} > r \text{Ca}^{++} > r \text{Na}^+ > r \text{K}^+$	Bicarbonatée magnésienne
Hamamet	$r \text{HCO}_3^- > r \text{SO}_4^{2-} > r \text{Cl}^- > r \text{NO}_3^- > r \text{NO}_2^-$ $r \text{Ca}^{++} > r \text{Mg}^{++} > r \text{Na}^+ > r \text{K}^+$	Bicarbonatée calcique
Youkous	$r \text{HCO}_3^- > r \text{SO}_4^{2-} > r \text{NO}_3^- > r \text{Cl}^- > r \text{NO}_2^-$ $r \text{Ca}^{++} > r \text{Mg}^{++} > r \text{Na}^+ > r \text{K}^+$	Bicarbonatée calcique
Guedila	$r \text{HCO}_3^- > r \text{SO}_4^{2-} > r \text{Cl}^- > r \text{NO}_3^- > r \text{NO}_2^-$ $r \text{Ca}^{++} > r \text{Mg}^{++} > r \text{Na}^+ > r \text{K}^+$	Bicarbonatée calcique
Manbaa	$r \text{HCO}_3^- > r \text{SO}_4^{2-} > r \text{Cl}^- > r \text{NO}_3^- > r \text{NO}_2^-$ $r \text{Ca}^{++} > r \text{Mg}^{++} > r \text{Na}^+ > r \text{K}^+$	Bicarbonatée calcique
Milok	$r \text{SO}_4^{2-} > r \text{HCO}_3^- > r \text{Cl}^- > r \text{NO}_3^- > r \text{NO}_2^-$ $r \text{Ca}^{++} > r \text{Mg}^{++} > r \text{Na}^+ > r \text{K}^+$	Sulfatée calcique
El Golea	$r \text{HCO}_3^- > r \text{Cl}^- > r \text{SO}_4^{2-} > r \text{NO}_3^- > r \text{NO}_2^-$ $r \text{Na}^+ > r \text{Mg}^{++} > r \text{Ca}^{++} > r \text{K}^+$	Bicarbonatée sodique

## Chapitre IV : Etude qualitative comparative de quelques eaux minérales en Algérie

---

### 3.2.2-Diagramme de Piper

Le diagramme de Piper permet d'avoir une approche globale de la composition chimique des eaux souterraines et de classer et comparer ces eaux entre elles.

Le report des teneurs sur le diagramme montre que le regroupement des eaux étudiées en majeure partie sur les losanges des familles :

- \* Bicarbonatée calcique et magnésienne.
- \* Chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne.

Selon le diagramme de Piper la majorité des eaux minérales embouteillées en Algérie sont regroupées en un faciès principal: bicarbonatée calcique et magnésienne (Fig.20).



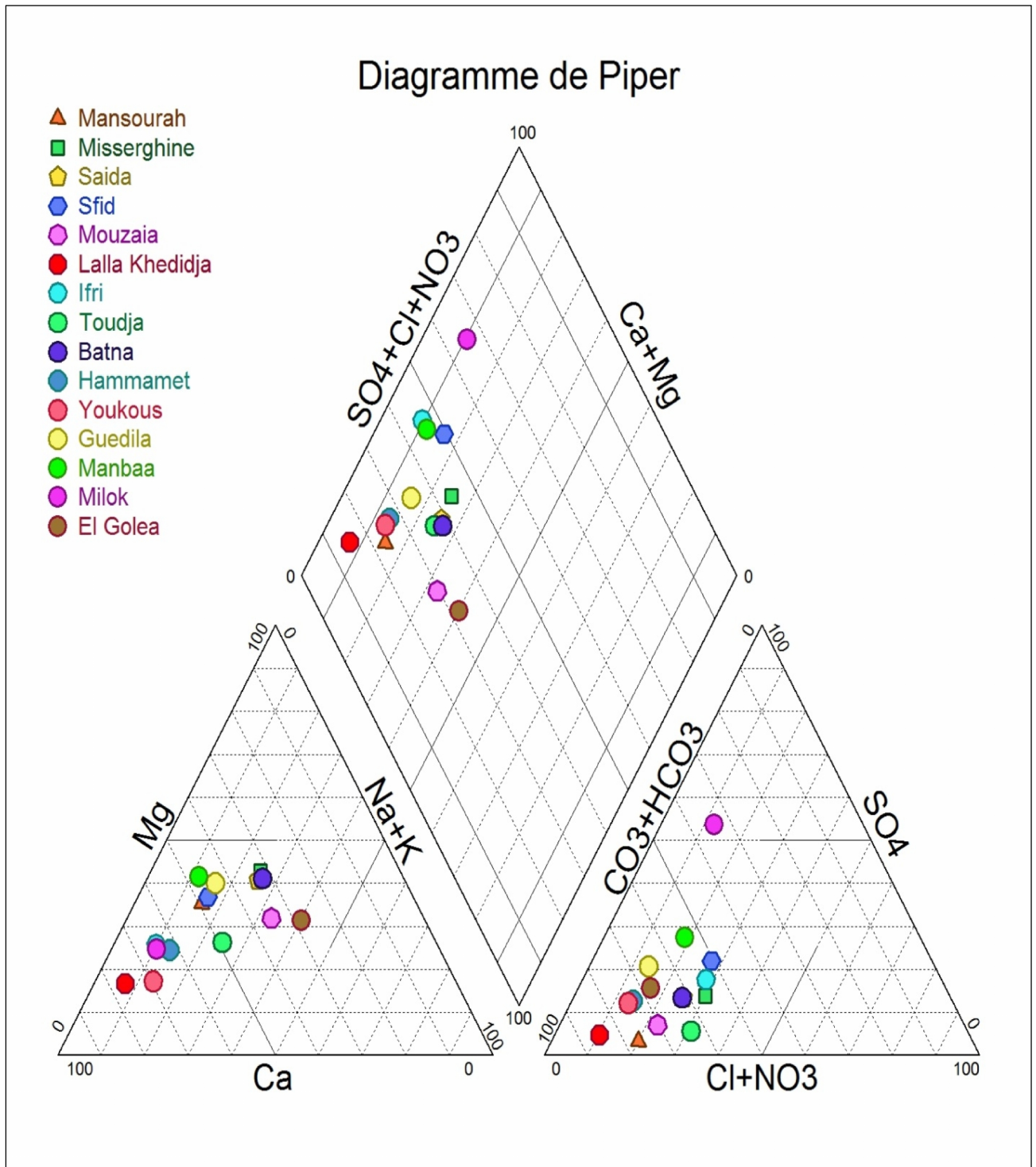


Figure 20 : Représentation graphique des eaux sur le diagramme de Piper.

## Chapitre IV : Etude qualitative comparative de quelques eaux minérales en Algérie

### 3.3- Classification chimique des eaux minérales d'après Stabler

La formule caractéristique de Stabler est basée sur le calcul du pourcentage de chaque ion par rapport à la concentration totale. On trouve la quantité en réaction chimique pour-cent (r %), puis on classe séparément les anions et les cations par ordre décroissant de gauche à droite. Les résultats trouvés permettent de définir les faciès.

Tableau n°12 : Formule caractéristiques et faciès des eaux minérales étudiées.

faciès chimique	Formule caractéristique	% du faciès
Bicarbonatée calcique	$r \text{HCO}_3^- \% > r \text{Cl}^- \% > r \text{SO}_4^{2-} \% > r \text{NO}_3^- \% > r \text{NO}_2^- \%$ $r \text{Ca}^{++} \% > r \text{Mg}^{++} \% > r \text{Na}^+ \% > r \text{K}^+ \%$	34
	$r \text{HCO}_3^- \% > r \text{Cl}^- \% > r \text{SO}_4^{2-} \% > r \text{NO}_3^- \% > r \text{NO}_2^- \%$ $r \text{Ca}^{++} \% > r \text{Na}^+ \% > r \text{Mg}^{++} \% > r \text{K}^+ \%$	7
	$r \text{HCO}_3^- \% > r \text{SO}_4^{2-} \% > r \text{Cl}^- \% > r \text{NO}_3^- \% > r \text{NO}_2^- \%$ $r \text{Ca}^{++} \% > r \text{Mg}^{++} \% > r \text{Na}^+ \% > r \text{K}^+ \%$	27
Bicarbonatée magnésienne	$r \text{HCO}_3^- \% > r \text{Cl}^- \% > r \text{SO}_4^{2-} \% > r \text{NO}_3^- \% > r \text{NO}_2^- \%$ $r \text{Mg}^{++} \% > r \text{Ca}^{++} \% > r \text{Na}^+ \% > r \text{K}^+ \%$	20
Sulfatée calcique	$r \text{SO}_4^{2-} \% > r \text{HCO}_3^- \% > r \text{Cl}^- \% > r \text{NO}_3^- \% > r \text{NO}_2^- \%$ $r \text{Ca}^{++} \% > r \text{Mg}^{++} \% > r \text{Na}^+ \% > r \text{K}^+ \%$	6
Bicarbonatée sodique	$r \text{HCO}_3^- \% > r \text{Cl}^- \% > r \text{SO}_4^{2-} \% > r \text{NO}_3^- \% > r \text{NO}_2^- \%$ $r \text{Na}^+ \% > r \text{Mg}^{++} \% > r \text{Ca}^{++} \% > r \text{K}^+ \%$	6

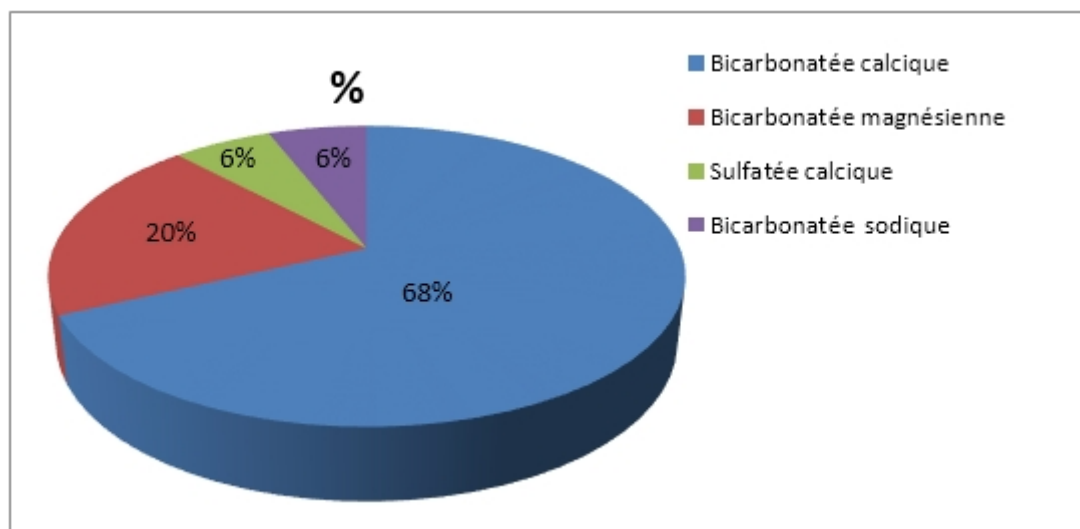


Figure 21 : Pourcentage du faciès chimiques.

#### 4- Indices de Saturation

L'état thermodynamique du milieu aquifère par rapport à certains minéraux peut être déterminé par l'étude de leurs indices de saturation et d'équilibre.

L'état de saturation (I.S) est défini par le logarithme du rapport des produits d'activité ionique (PAI) sur K la constante d'équilibre relative à la dissolution du minéral.

$$I.S = \log (IAP/K)$$

Prenons en considération la présence de la calcite ( $\text{CaCO}_3$ ) en solution par exemple :



Donc le produit d'activité ionique :

$$PAI = a_{\text{Ca}^{2+}} \cdot a_{\text{CO}_3^{2-}}$$

( $a_{\text{Ca}^{2+}}$  = activité de l'ion  $\text{Ca}^{2+}$ )

A l'état d'équilibre thermodynamique, le produit de solubilité de la calcite ( $K_{\text{CaCO}_3}$ ) est :

$$K_{\text{CaCO}_3} = a_{\text{Ca}^{2+}} \cdot a_{\text{CO}_3^{2-}} / a_{\text{CaCO}_3}$$

Alors, l'indice de saturation exprimé est :

$$I.S = \log (IAP / K_{\text{CaCO}_3})$$

Si :

- $I.S = 0$  : l'eau est saturée vis-à-vis de la calcite ;
- $I.S > 0$  : l'eau est sursaturée par rapport à la calcite ;
- $I.S < 0$  : il montre que l'eau est sous-saturée vis-à-vis de la calcite.

De la même manière, les indices de saturation vis-à-vis du gypse, de l'anhydrite, de la calcite, de la dolomite et de l'aragonite sont calculés.

Les indices de saturation ont été calculés par le logiciel « Diagramme », et les résultats sont classés et reportés sur le (tableau13), et sous forme des graphes (Fig.22).

## Chapitre IV : Etude qualitative comparative de quelques eaux minérales en Algérie

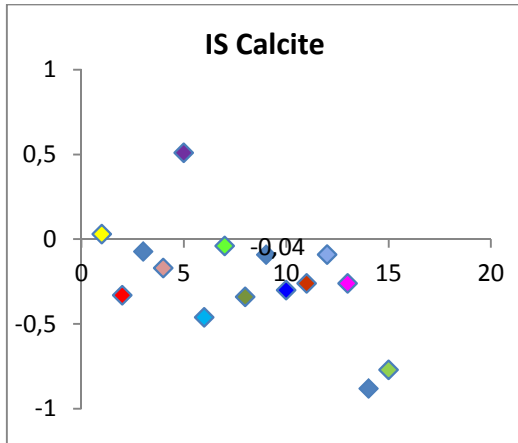
Tableau n°13 : Les indices de saturation.

	Nom	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	IsCalcite	IsAragonite	IsDolomite	IsGypse	IsAnhydrite
1	Mansourah	362	0.03	-0.12	0.04	-2.31	-2.53
2	Misserghine	260	0.33	-0.47	0.40	-1.90	-2.12
3	Saida	376	-0.07	-0.22	0.07	-1.70	-1.92
4	Sfid	268	-0.17	-0.31	-0.31	-1.50	-1.72
5	Mouzaïa	833.87	0.51	0.36	1.11	-1.48	-1.70
6	Lalla Kedidja	160	0.46	-0.61	-1.46	-2.66	-2.88
7	Ifri	265	0.04	-0.19	-0.35	-1.49	-1.72
8	Toudja	197.4	0.34	-0.48	-0.82	-2.35	-2.57
9	Batna	378	-0.09	-0.23	0.06	-1.73	-1.95
10	Hammamet	208.6	-0.30	-0.45	-0.88	-2.01	-2.23
11	Youkous	216.07	0.26	-0.40	-0.99	-2.00	-2.22
12	Guedila	326.96	-0.09	-0.24	-0.10	-1.56	-1.78
13	Manbaa	231.8	-0.26	-0.41	-0.44	-1.52	-1.74
14	Milok	65	0.88	-1.02	-2.04	-1.63	-1.85
15	El Golea	178	-0.77	-0.92	-1.37	-2.36	-2.58

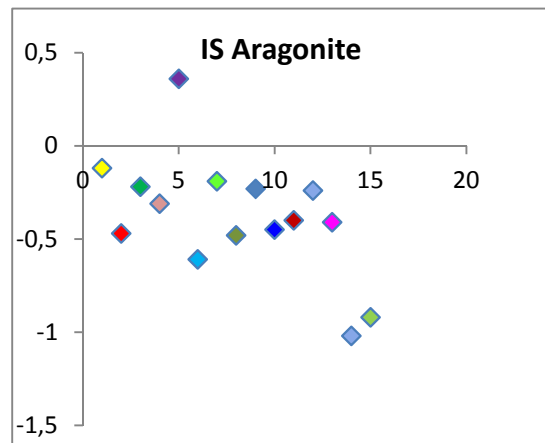
Comme nous l'avons montré précédemment, les Bicarbonates étant le principal élément conditionnant la minéralisation des eaux minérales algériennes, nous avons représenté sur les graphes de la figure 22, les indices de saturation des différents minéraux carbonatés en fonction des Bicarbonates.

La figure 22 (A, B, C, D, E) montre que les eaux minérales embouteillées étudiées sont sous-saturées par rapport à l'aragonite, le gypse et l'anhydrite sauf celle de Mouzaïa qui est sursaturée par rapport les différents minéraux, tandis que la majorité des eaux étudiées sont pratiquement en équilibre avec la calcite et la dolomite.

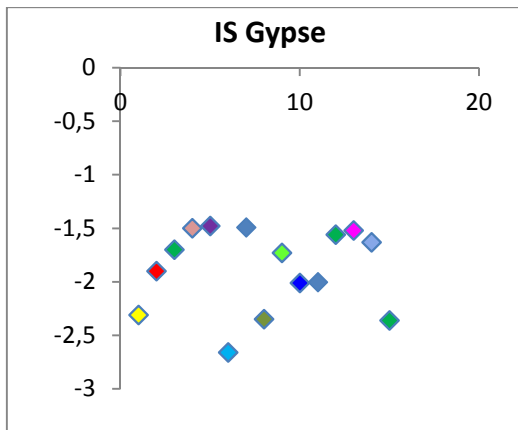
## Chapitre IV : Etude qualitative comparative de quelques eaux minérales en Algérie



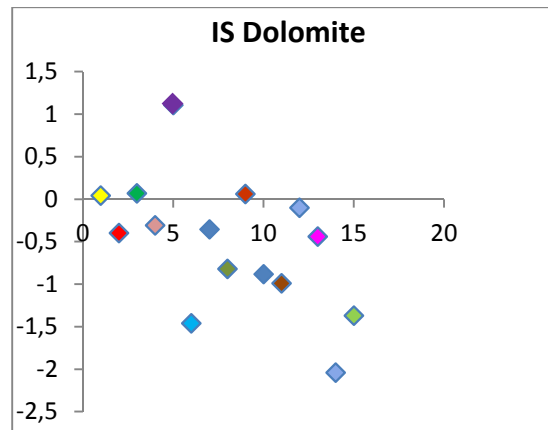
**A) Variation d'Is Calcite.**



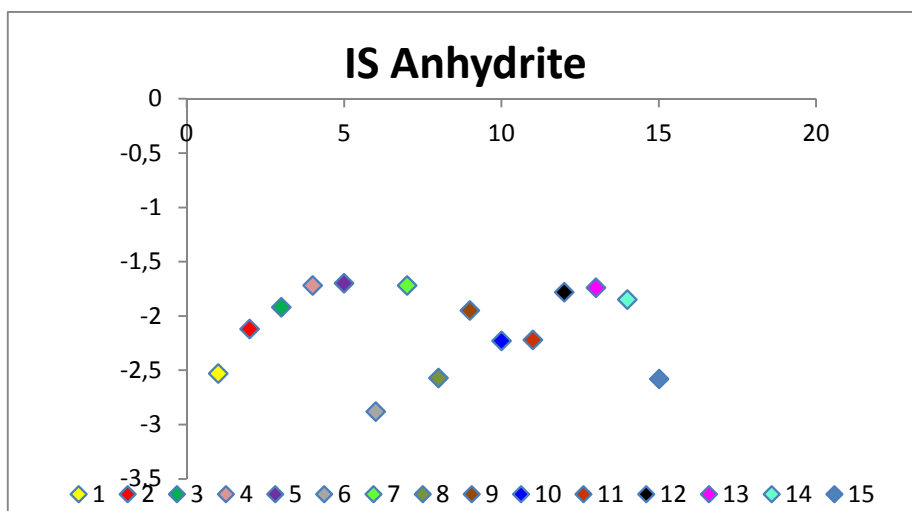
**B) Variation d'Is Aragonite.**



**C) Variation d'Is Dolomite.**



**D) Variation d'Is Gypse.**



**E) Variation d'Is Anhydrite.**

Figure 22 : Variation des Indices de Saturation.

## 5- Etude statistique des données hydrochimiques

### 5-1 Paramètres statistiques élémentaires : (tableau 14)

Les calculs des paramètres statistique permet de présenter les donner pour chaque variable la moyenne et l'écart-type, les résultats sont représentées dans le tableau ci-dessous.

Nous avons entrepris une étude statistique statique sur les quinze eaux, dans cette étude nous avons pris en considération les dix variables des compositions chimique écrites sur les étiquettes.

Tableau n°14 : Statistique descriptive des variables en (mg/l).

Variable	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
Ca <sup>++</sup>	24	136	69.37	24.83
Mg <sup>++</sup>	7	75	31.29	18.8
Na <sup>+</sup>	5.5	147	36.06	35.005
K <sup>+</sup>	0.54	5	2.44	1.477
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	65	833.87	288.45	173.942
Cl <sup>-</sup>	10	150	53.39	36.86
SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	7	92	51.78	29.43
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.07	28	8.16	7.672
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0.00	0.04	0.004	0.011
R.S.	187	1280	446.39	281.20

A partir de ce tableau, on peut conclure que les moyennes des éléments chimiques sont des bonnes valeurs conformes aux normes de l'OMS.

Parmi les cations, c'est le Calcium qui prédomine avec une valeur de moyenne de « 69.4 mg/l » devant le Sodium « 36 mg/l », Magnésium « 31.3 mg/l » et le Potassium « 2.4 mg/l ».

Parmi les anions, ce sont les Bicarbonates qui prédominent avec une valeur moyenne de « 288.5 mg/l » devant les Chlorures « 53,4 mg/l », les Sulfates « 51.8 mg/l », Nitrates « 8.16 mg/l » et les Nitrites « 0.004 mg/l ».

Nous pouvons remarquer que les valeurs des écarts-type sont plus importantes pour les Bicarbonates, les Chlorures et le Sodium.

## Chapitre IV : Etude qualitative comparative de quelques eaux minérales en Algérie

### 5-2 Matrice de corrélation

Les coefficients de corrélation entre les teneurs des différents éléments majeurs sont donnés au tableau ci-dessous :

Tableau n°15 : Matrice de corrélation.

	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	R.S.
Ca <sup>++</sup>	<b>1</b>									
Mg <sup>++</sup>	0.638	<b>1</b>								
Na <sup>+</sup>	0.623	0.861	<b>1</b>							
K <sup>+</sup>	-0.49	-0.49	-0.31	<b>1</b>						
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.812	0.881	0.93	-0.43	<b>1</b>					
Cl <sup>-</sup>	0.734	0.9	0.99	-0.44	0.9	<b>1</b>				
SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	0.244	0.444	0.17	-0.08	0.181	0.324	<b>1</b>			
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.322	0.391	0.16	-0.18	0.242	0.425	0.482	<b>1</b>		
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0.082	-0.2	-0.08	-0.18	-0.151	0.080	-0.26	-0.16	<b>1</b>	
R.S.	0.842	0.854	0.84	-0.54	0.93	0.832	0.31	0.353	-0.08	<b>1</b>

Nous remarquons une bonne corrélation entre :

Ca<sup>++</sup>, Mg<sup>++</sup>, Na<sup>+</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup>, R.S.

Mg<sup>++</sup>, Na<sup>+</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup>, R.S.

Na<sup>+</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup>, R.S.

HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup>, R.S.

Cl<sup>-</sup>, R.S.

Parmi les variables de l'analyse (10), nous remarquons que la plus forte corrélation s'effectue entre le Calcium et les Bicarbonates ( $r = 0.921$ ), la relation entre les deux variables est évidente car la majorité des eaux sont Bicarbonatées calciques.

### 5-3 Analyse en Composantes Principales (ACP)

L'analyse en composantes principales (ACP) est une méthode statistique graphique essentiellement descriptive qui permet la détermination des différentes liaisons entre plusieurs variables.

Dans ce cadre, nous avons considérés 10 éléments dont les teneurs sont exprimées en mg/l. Il s'agit des cations (Ca, Mg, Na et K), des anions ( $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{--}$ ,  $\text{NO}_3^-$  et  $\text{NO}_2^-$ ) et le résidu sec (R.S).

Le cercle de corrélation des variables consiste donc à transformer les principales variables quantitatives initiales, toutes plus ou moins bien corrélés.

#### a) Etude des variables :

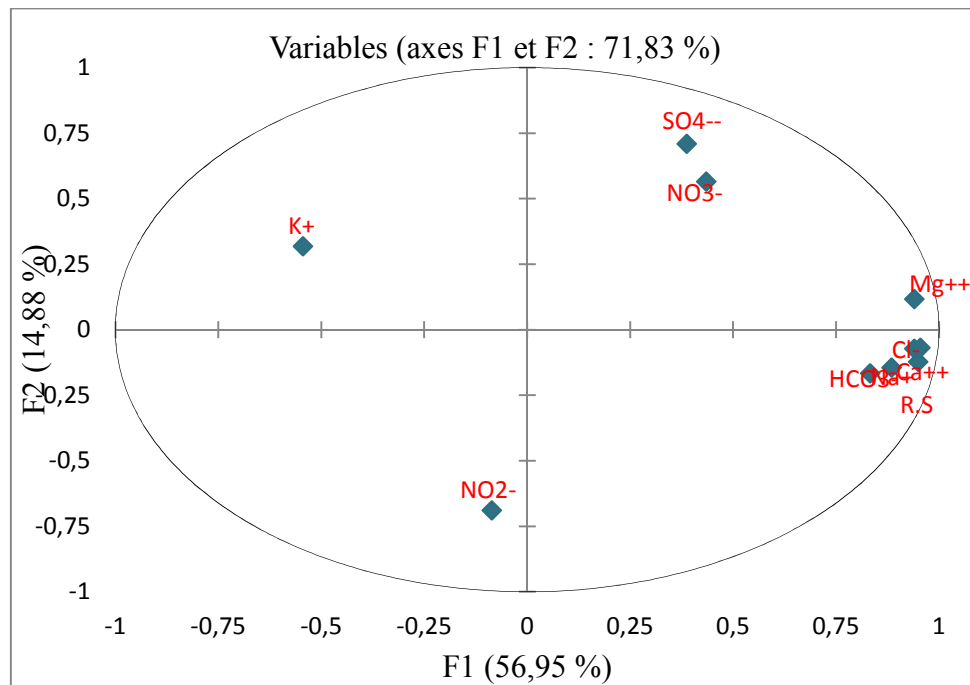


Figure 23 : Cercle de corrélation des variables.

La figure 23 représente l'espace des variables considérées. Les axes 1 et 2 regroupent 71.83 % de la variance total dont 56.95% pour l'axe 1 et 4.88% pour l'axe 2.

Selon l'axe F1, on constate que les paramètres sont bien corrélés ( $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^+$ ,  $\text{Na}^+$  et R.S) à l'exception  $\text{SO}_4^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{NO}_2^-$ . Ce qui confirme la prédominance du faciès bicarbonatés calcique.



## Chapitre IV : Etude qualitative comparative de quelques eaux minérales en Algérie

### b) Etude des individus :

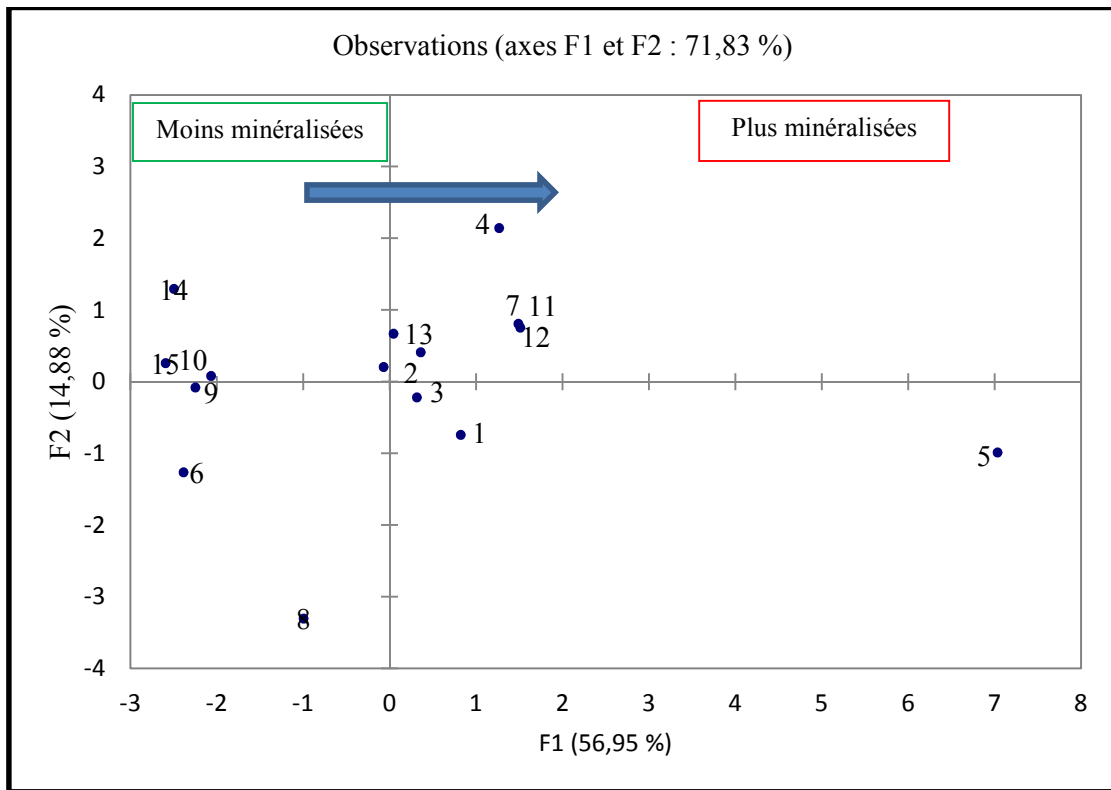


Figure 24 : Cercle de corrélation, étude des individus.

On distingue :

Les eaux minérales de l'Ouest Algérien sont plus minéralisées tandis que les eaux minérales de centre et de l'Est d'Algérie sont moins minéralisées, sauf l'eau de Mouzaia et Ifri.

Les eaux minérales de Sahara sont très faiblement minéralisées sauf Guedila et Manbaa.

La minéralisation des eaux en Algérie augmente de l'Est vers l'Ouest et de Sud vers le Nord.

## 6- Etude des rapports caractéristiques

Tableau n°20 : Rapports caractéristiques.

Nom	$rMg^{++}/rCa^{++}$	$rNa^{+}/rk^{+}$	$rSO_3^{-}/rCl^{-}$
Mansourah	0.72	51.02	0.81
Misserghine	1.33	26	0.5
Saida	1.12	49.32	0.6
Sfid	0.78	24	1
Mouzaïa	0.91	250	0.32
Lalla Kedadja	0.22	17.32	0.5
Ifri	0.4	11.2	0.7
Toudja	0.54	42.52	0.18
Batna	1.27	51.02	0.6
Hammamet	0.4	5.102	1.03
Youkous	0.25	4.22	1
Guedila	0.91	24.66	1.6
Manbaa	0.89	33	1.7
Milok	0.38	3.15	6
El Golea	1.1	12.24	1

### ✓ Rapport $rMg^{++}/rCa^{++}$

73.3% des eaux étudiées en un rapport inférieur à l'unité ; ce qui montre l'importance de Calcium par rapport au Magnésium. La prédominance de Calcium est liée à la dissolution des formations calcaires.

26.6% des eaux étudiées en un rapport supérieur à l'unité, cela est lié à la dissolution des formations dolomitique.

### ✓ Rapport $rNa^{+}/rk^{+}$

Pour ce rapport on trouve 100% sont supérieurs à l'unité, caractérisé par la prédominance du sodium expliquant le lessivage des formations riche en argile.

### ✓ Rapport $rSO_4^{-}/rCl^{-}$

53.3% des eaux étudiées en un rapport inférieur à l'unité ; ce qui montre que les Chlorures dominant par rapport aux sulfates, s'expliquant par le lessivage des roches salifères.

46.6% des eaux étudiées en un rapport supérieur à l'unité ce qui montre que les sulfates dominant aux Chlorures. Cela est lié au lessivage des terrains gypsifères.

## 7- Eude Comparative

Dans le cadre de cette étude, nous avons comparé la composition chimique de nos eaux avec celle de quelques eaux minérales embouteillées connues en Europe (fig. 24) « Evian, Vichy, Saint-Yorre et Vittel ».

Le tableau ci-dessous présente les caractéristiques des eaux européennes étudiées.

Tableau n° 21: Caractéristique de quelques eaux minérales en Europe.

Nom	Faciès chimique	Conductivité μS/cm	Minéralisation mg/l	Dureté F°
Evian	Bicarbonatée calcique	468	305	30
Vichy	Bicarbonatée calcique	5267	3476	30
Saint Yorre	Bicarbonatée sodique	7233	5483	27
Vittel	Bicarbonatée calcique	1274	840	66

La figure 25 nous a montré la bonne corrélation existant entre la conductivité et la minéralisation.

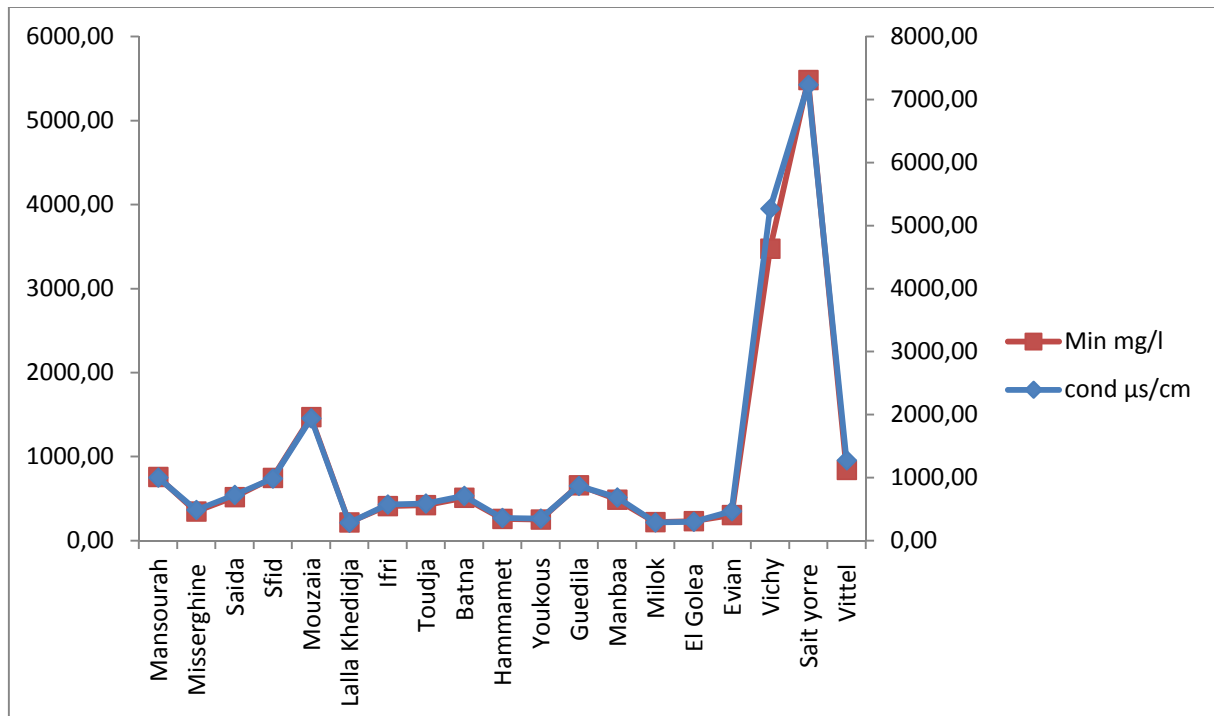


Figure n° 25: Courbes de corrélation de la minéralisation et la conductivité entre eaux étudiées.

## Chapitre IV : Etude qualitative comparative de quelques eaux minérales en Algérie

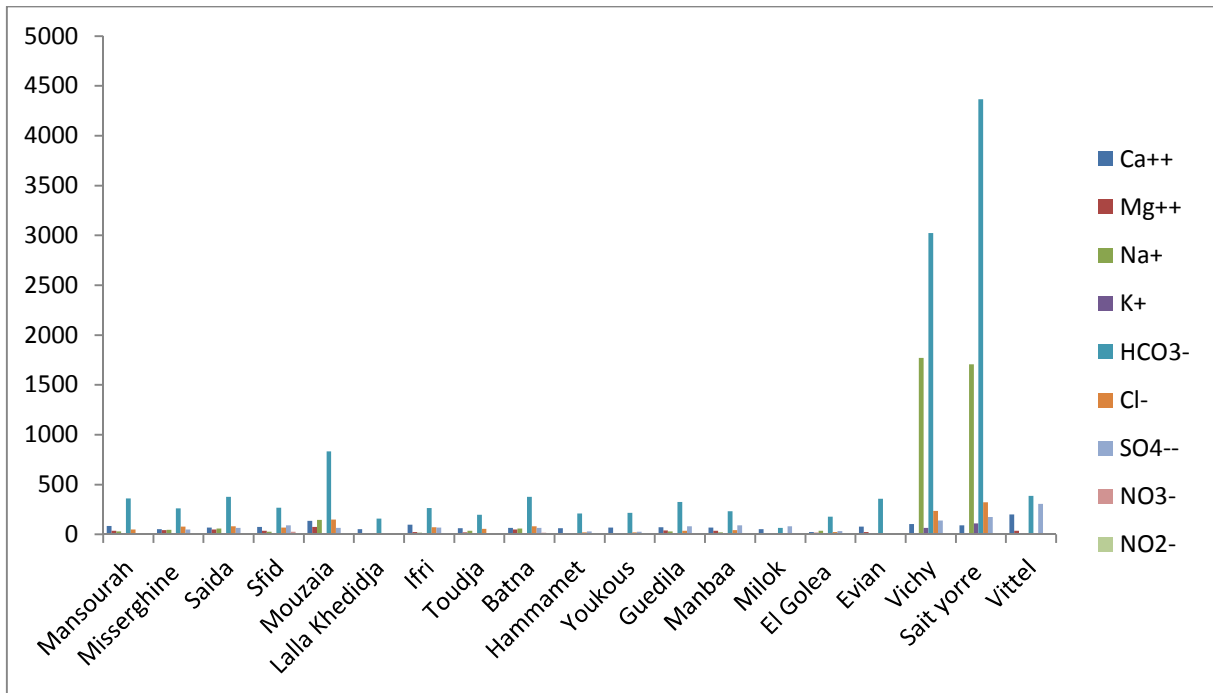


Figure n° 26 : Représentation graphique des éléments majeurs.

### Résultats obtenus :

Les eaux minérales embouteillées en Algérie sont faiblement minéralisées par rapport à celles qui sont connues ailleurs. Elles sont globalement douces, non dures et tous les éléments chimiques étudiés répondent aux critères de potabilité des eaux minérales.

## 8- Traitement des eaux minérales

### Traitements autorisés pour une eau minérale :

L'eau minérale est un produit naturel qui ne peut pas être modifié.

Le droit algérien n'autorise, à titre exceptionnel, que quelques traitements:

- L'eau peut être filtrée et décantée afin de supprimer les particules solides, par exemple le limon ou le sable.
- Avant la filtration ou la décantation, l'eau peut être aérée. L'oxygène a alors pour effet que certaines matières indésirables sont précipitées et transmises sous forme solide. De cette manière, il est possible de réduire de trop fortes teneurs en sulfure, fer et manganèse (sinon le fer 'rouillerait' dans les bouteilles et provoquerait des dépôts peu appétissants).
- Il arrive parfois que l'on ajoute de l'oxygène à l'eau avant de remplir les bouteilles, ce qui donne une eau "lévitée" hautement appréciée. Ce traitement sert d'aération et n'a qu'un effet extrêmement bref dans le corps.
- Il est permis de supprimer ou de réduire la teneur en acide carbonique (CO<sub>2</sub>) naturel contenue dans les eaux minérales. On peut également ajouter du gaz de source ou de l'acide carbonique étranger.
- Il est interdit de désinfecter l'eau minérale, par exemple par irradiation UV, traitement à l'ozone ou pasteurisation. Une eau minérale naturelle doit être parfaitement pure à la source.

### 9- Conclusion

Les analyses chimiques des eaux minérales embouteillées montrent des minéralisations relativement faibles bien que différentes.

Les méthodes empiriques et graphiques fournissent de précieuses et rapides informations sur le chimisme des eaux minérales et de groupés les eaux minérales. Cependant, ces méthodes sont basées sur un nombre limité de paramètres physico-chimiques. Le diagramme de Schoeller et Piper fournit des informations permettant de classer les eaux minérales par faciès. Les eaux minérales embouteillées étudiées sont la majorité bicarbonatées calciques à magnésiennes.

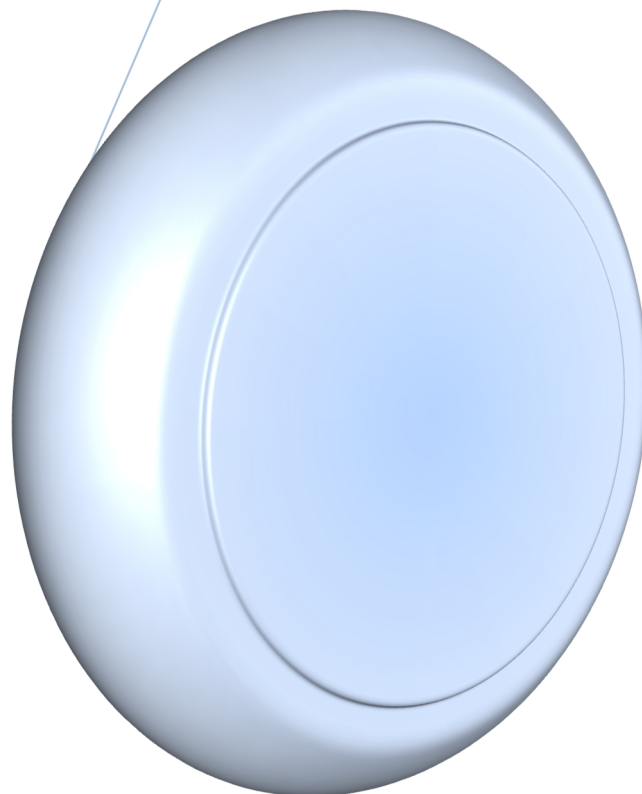
Tous les éléments chimiques étudiés répondent aux critères de potabilité des eaux minérales.

L'étude des indices de saturation montre que les eaux minérales embouteillées étudiées sont sous-saturées par rapport à l'aragonite, le gypse et l'anhydrite, sauf celle de Mouzaïa qui est sursaturée par rapport les différents minéraux, tandis que la majorité des eaux étudiées sont pratiquement en équilibre avec la calcite et la dolomite.

Ainsi, cette combinaison a permis de classer les eaux minérales en deux groupes statistiquement distincts. Le premier groupe englobe les eaux faiblement minéralisées Lalla Khedidja, Toudja, Batna, Hammamet, Youkous, Milok et El Golea, alors que le deuxième groupe est composé des eaux plus minéralisées Mansourah, Misserghine, Saida, Sfid, Mouzaïa, Ifri, Guedila et Manbaa.

L'étude des rapports caractéristiques montre que les eaux minérales étudiées sont bicarbonatées calciques à magnésiennes.

**Conclusion générale**







# CONCLUSION GENERALE

---

## Conclusion générale

Notre présente étude s'est organisée autour de deux axes principaux : l'hydrochimie des eaux minérales, complétée par une étude qualitative comparative de quelques eaux minérale embouteillées. La complémentarité de ces deux approches nous a permis de répondre aux objectifs de l'étude et d'apporter les premières conclusions sur la connaissance des eaux minérales embouteillée.

Nous avons d'abord présenté le fonctionnement du système hydrominéral qui est en conséquence, une structure géologique traversée par un flux d'eau météorique : lieu où l'eau acquiert sa minéralisation.

Les eaux minérales étudiées, sont puisées dans des environnements géologiques et hydrogéologiques très diversifiés, caractérisant la géologie de la région de séjour. En conséquence, il en résulte des eaux minérales naturelles de composition très variée.

La classification des eaux minérales prend en compte les propriétés physico-chimiques et des paramètres susceptibles de présenter un intérêt médical.

L'étude qualitative des eaux minérales embouteillées a permis une comparaison de ces dernières entre elles, et de montrer qu'elles sont faiblement minéralisées par rapport à ce qui est connu ailleurs. Elles sont globalement douces, non dures et tous les éléments chimiques étudiés répondent aux critères de potabilité des eaux minérales.

L'étude des indices de saturation, nous a permis de mettre en évidence l'état d'équilibre des eaux minérales embouteillées en Algérie, par rapport aux principaux minéraux carbonatés, conditionnant la minéralisation des eaux. Les eaux sont particulièrement sursaturées en calcite et dolomite, ce qui confirme leur faciès essentiellement bicarbonatés calciques ou magnésiens.

L'Analyse en Composante Principale des données physico-chimiques montre que les variables :  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ , TDS, sont bien corrélés entre elles, par contre :  $\text{K}^+$ ,  $\text{SO}_4^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ .

L'étude des rapports caractéristiques montre que la majorité des eaux minérales embouteillées en Algérie, sont regroupées en deux principaux faciès à s'avoir, le faciès « bicarbonaté calcique et magnésien » avec des faciès parfois « sulfatés calciques » et

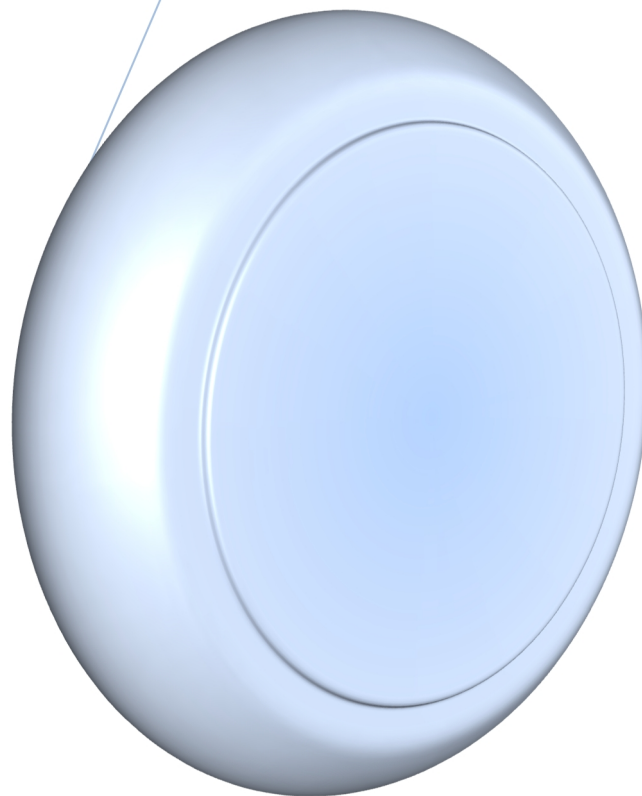
## CONCLUSION GENERALE

---

« bicarbonatés sodiques », ceci est confirmé par la représentation graphique sur les diagrammes de Piper et de Schoeller-Berkaloff.

Les résultats obtenus à l'issue de la présente étude sur les eaux minérales embouteillées, enseigne sur les marques d'eau les plus indiquées à la consommation quotidienne. Ceci est principalement lié à leur minéralisation qui est relativement faible comme c'est le cas de Lalla Khedija, Youkous et Milok.

# **Bibliographie**





# BIBLIOGRAPHIE

---

## Bibliographie

- **ALAYAT H., LA MOUROUX C.**, (2007) : Caractérisation physico-chimique des eaux thermominérales des monts de la cheffia, (extreme N-E algérien). Press Therm Clima ; n°144.
- **ALI ABBOU S., BENMLOUKA M.**, (2013) : Caractéristique physico-chimiques des eaux embouteillées Algérienne et vérification d'étiquetage. Mém. Master II. Univ. Mohammed Boudiaf (USTO). Oran
- **BEAUDRY J.P.**, (1984) : Traitement des eaux. *edit le griffon d'Argile*, Québec.
- **BENAMER N.**, (2008) : Réactualisation de l'étude hydrogéologique du versant Sud du Murdjadjo. Pont Albien – Misserghine – Boyakour (W d'Oran). Mém. Ing. Unvi. Oran.
- **BLAVOUX B.**, (1995) : Apports des techniques isotopiques à la connaissance des gisements d'eau minérale. La Houille blanche, n°2/3, pp 51-58.
- **BLAVOUX B., BERTHIER F.**, (1985) : Les originalités hydrogéologiques et technologiques des eaux minérales. Bull. Soc. Géol. France, T. 1, n°7.
- **CAPACCIONI B., DIDERO M. PALETTA C., IDERO L.**, (2005) : Saline intrusion and refreshing in a multilayer coastal aquifer in the catania plain (Sicily, Southem , Italy) :dynamics of degradation processes according to hydrochemical characteristics of groundwater, J. Hydrol., n°307.
- **CHERY L.**, (2006) : Qualité naturelle des eaux souterraines. Méthode de caractérisation des états de référence des aquifères français. *BRGM edit*. Orléans cedex2- France.
- **CUNEY G.**, (2007) : Characterization of Turkish bottled waters using pattern recognition methods, Chemometrics and Intelligent. Labo. Sys., 86.
- **DEGREMONT J.**, (1989) : Technique de l'eau, *edit., Lavoisier*, Paris, Tome 1.
- **FONTES J.** (1985) : Some considérations on groundwater dating using environmental isotopes. Hydrogeology in the Service of Man, Memoires of the 18th Congress of the International Association of Hydrogeologists, Cambridge.
- **GEOSYSTEM**, (2005) : Etude environnementale et règlementaire. Rapp. Consult-Cevital. EIF\_Lalla Khedidja.
- **HAZZAB A.**, (2011) : Eaux minérales naturelles et eaux de source en Algérie, C. R., Géoscience, n° 343, pp 20-31.

## BIBLIOGRAPHIE

---

- **KHELIFA H.**, (1991) : Contribution à l'étude hydrogéologique des bassins d'alimentation des eaux minérales de Saida et de la source thermale de Hammam Rabi. Mém. Ing. Unvi. Oran.
- **LAINE S** (2009) : Les qualités de l'eau minérale. Rapport de l'Académie nationale de médecine, Place des eaux minérales dans l'alimentation, Novembre 2006. Rapport de l'Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments (AFSSA), Lignes directrices pour l'évaluation des eaux minérales naturelles au regard de la sécurité sanitaire, Mai 2008
- **LAISSOUB B.**, (1974) : Etude des eaux minérales thermale et thermominérales en Oran. Thèse. Doct. En Médecine. Univ.d'Oran. Institut des Sciences Médicales.
- **LOURENÇO C. A., RIBEIRO B.L., CRUZ J.**, (2010) : Classification of natural mineral and spring bottled waters of Portugal using Principal Component Analysis, J. Geochem. Expl. n°107.
- **LOUVRIER M.**, (1971) : Etude hydrochimique de quelques eaux minérales françaises, Application des méthodes de traitement automatique, BRGM rapp. n° 71SGN 313 HYD Orléans, France.
- **MEKABRET I.**, (2013) : Contribution à l'étude hydrogéologique du bassin versant de l'oued Saida. Mém. Ing. Unvi. Oran.
- **SALEH M.A., EWANE E., JONES J., WILSON B.L.**, (2001) : Chemical evaluation of commercial bottled drinking water from Egypt, J. of food composition and analysis, n°14.
- **SEKIOU F. et KELLIL A.** (2014) : Caractérisation et classification empirique, graphique et statistique multivariée d'eaux de source embouteillées de l'Algérie. J. Larhyss ISSN 1112-3680, n°20
- **STUYFZAND P.J.**, (1989) : A new hydrochemical classification of water types, regional characterization of water quality, Proceeding of the Baltimore Symposium. n°112. IAHS. Publ. n°182.
- **TANASKOVIC A., DUSAN G.B, MILJEVIC N.**, (2012) : Multivariate statistical analysis of hydrochemical and radiological data of Serbian spa, waters J. of Geochem Exploration, 112.
- **Bureau de recherches géologique et de mines BRGM**, (2004) : Guide qualité régional pour la ressource en eau thermale. Rapp. Fin. BRGM/RP-52585-FR.

# BIBLIOGRAPHIE

---

## Les arrêtés

- Arrête 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 sources ainsi que les conditions de leur traitement ou les adjonctions autorisées, J. officiel de la république algérienne.
- CEE., (2009) : Directives /54/CE du parlement européen et du conseil du 18 juin 2009 relative à l'exploitation et à la mise dans le commerce des eaux minérales naturelles, J. officiel de l'union européenne. L164/45 du 26/06/2009.
- Décret exécutif n°13-298 du 11 Chaoual 1434 correspondant au 18 aout 2013 complétant le décret exécutif n°2004-196 du 27 Joumada El Oula 1425 correspondant au 15 juillet 2004 relatif à l'exploitation et à la protection des eaux minérales naturelles et des eaux de sources, J. officiel de la république algérienne.
- JORADP, (2004) : Décret Exécutif n° 04 -196 du 15 juillet 2004, relatif à l'exploitation et la protection des eaux minérales naturelles et des eaux de sources, J. officiel de la république algérienne démocratique et populaire (JORADP).
- JORADP, (2011) : Décret exécutif n° 11-125 du 22 mars 2011, relatif à la qualité de l'eau de consommation humaine, J. officiel de la république algérienne.

## Webographie

- Normes codex pour les eaux minérales naturelles. Codex Standard 108 (1981) [file:///C:/Users/INFORMATIQUE/Downloads/CXS\\_108f.pdf](file:///C:/Users/INFORMATIQUE/Downloads/CXS_108f.pdf) [en ligne].
- Document SEOR
- Lionel Huot (2013) : Qualité des eaux minérales. Gentside Découverte [http://www.maxisciences.com/eau/chaque-besoin-son-eau-minerale\\_art30498.html](http://www.maxisciences.com/eau/chaque-besoin-son-eau-minerale_art30498.html) [en ligne].
- Syndicat des eaux de sources (2014) : Norme de l'association française de normalisation AFNOR <http://www.eauxdesources.org/difference-entre-l-eau-de-source-et-l-eau-minerale--c37-p213.html> [en ligne].
- <http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/doseau/decouv/potable/sourceMin.html> © CNRS - Le CNRS en ligne :Sagascience@cnrs-dir.fr

# **Annexes**







## ANNEXES

Tableau n°03 : Subdivision des eaux embouteillées en Algérie.

Région /wilaya	Nombre	Taux
Sétif, Batna, Guelma, Tarf, Biskra	12	32,43
Béjaïa, Tizi Ouzou, Bouira Bordj Bou Arreridj et Jijel	15	40,54
Oran, Sidi Bel Abbès, Saïda, Tlemcen	5	16,22
Blida	2	5,41
Laghouat, Ghardaïa	2	2,70
El Ménéa	1	2,70
<b>Total</b>	<b>37</b>	<b>100,00</b>

Tableau n°05 : Eaux non mentionnées dans la liste du ministère des ressources en eau mais sont consommable et considérées comme eau minérale ou eau de source dans le marché Algérienne.

Appellation	Wilaya de conservation
lajdar	Tiaret
Manbaa	Biskra
Mont djurdjura	Bouira
Ain Bouglez	Taraf
Sfid	Saida
Sidi Ali Ben Youb	Sidi-Bel-Abbès

## ANNEXES

Tableau n°06 : Compositions chimiques des eaux étudiées.

Nom	R.S mg/l	pH	Ca <sup>++</sup> mg/l	Mg <sup>++</sup> mg/l	Na <sup>+</sup> mg/l	K <sup>+</sup> mg/l	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg/l	Cl <sup>-</sup> mg/l	SO <sub>4</sub> <sup>--</sup> mg/l	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg/l	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> mg/l
Mansourah	660	7	85	37	30	1	362	48	12.1	12	0
Misserghine	320	7.2	52	42	45	3	260	78	50	5	0
Saida	478	7.5	68	50	58	2	376	81	65	15	0
Sfid	650	7.12	74	35	28	2	268	68	91	28	0
Mouzaia	1280	6.57	136	75	147	1	835	150	65	8	0
Lalla Kedidja	187	7.2	53	7	5.5	0.54	160	11	7	0.42	0
Ifri	380	7.2	99	24	15.8	2.4	265	72	68	15	0.02
Toudja	390	/	62.5	20.3	35	1.4	197.4	55.6	13.7	0.07	0.04
Batna	470	/	65	50	60	2	378	80	64	16	0
Hammamet	238	7.38	62.87	15.10	13.2	4.4	208.6	20.4	28.6	5.1	0
Youkous	230.87	7.4	67.32	10.08	11.96	4.82	216.07	20.82	27.36	2.5	0
Guedila	572	7.34	72	39.6	29	2	326.96	38	81	2.59	0
Manbaa	451	7.6	67.52	36.33	19.01	0.98	231.80	44	92	4.28	0
Milok	190	7.7	52.3	12	7.4	4	65	10	80	6	0
El Golea	199	7.3	24	16	36	5	178	24	32	2.4	0
Evian	309	7.2	78	24	5	1	357	4.5	10	3.8	0
Vichy	3325	6.8	103	10	1172	66	3025	235	138	1.1	0.2
Saint yorre	4774	11	90	11	1708	110	4368	322	174	0.1	0
Vittel	841	7.6	201	38	3.8	2	387.9	10.4	306	7	0

## ANNEXES

---

Tableau n°16: Valeur propre.

	F1	F2
Valeur propre	5.695	1.488
Variabilité (%)	56.95	14.877

Tableau n°17 : Vecteurs propres.

	F1	F2
Ca <sup>++</sup>	0.349	-0.137
Mg <sup>++</sup>	0.394	0.096
Na <sup>+</sup>	0.371	-0.119
K <sup>+</sup>	-0.228	0.261
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.398	-0.101
Cl <sup>-</sup>	0.394	-0.059
SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	0.162	0.582
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.182	0.464
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	-0.036	-0.566
TDS	0.400	-0.056

Tableau n°18 : Etude des variables.

	F1	F2
Ca <sup>++</sup>	0.832	-0.167
Mg <sup>++</sup>	0.940	0.117
Na <sup>+</sup>	0.884	-0.145
K <sup>+</sup>	-0.545	0.318
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.949	-0.123
Cl <sup>-</sup>	0.940	-0.072
SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	0.387	0.710
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.434	0.566
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0.086	-0.690
TDS	0.955	-0.069

## ANNEXES

---

Tableau n°19 : Etudes des individus.

N°	Nom	F1	F2
1	Mansourah	0.825	-0.74
2	Misserghine	-0.07	0.204
3	Saida	1.521	0.752
4	Sfid	1.266	2.14
5	Mouzaïa	7.033	-0.99
6	Lalla Khedidja	-2.43	-1.27
7	Ifri	0.316	-0.22
8	Toudja	-0.99	-3.31
9	Batna	1.491	0.807
10	Hammamet	-2.06	0.080
11	Youkous	-2.25	-0.13
12	Guedila	0.360	0.409
13	Manbaa	0.045	0.668
14	Milok	-2.55	1.292
15	El Golea	-2.63	0.257

## **Résumé**

Cette étude a pour but la caractérisation physico-chimique et la classification de quelques eaux minérales embouteillées de l'Algérie. Pour atteindre cet objectif, une présentation détaillée du mode de fonctionnement du système hydrominérale a été donné, suivie de la composition générale des eaux minérales et de leurs classifications relatives.

Différentes méthodes ont été utilisées dont : le diagramme de Piper et Schoeler, l'analyse de la matrice de corrélation, l'Analyse en Composantes Principales (ACP) et l'analyse des rapports caractéristiques des éléments majeurs. Les résultats de ces différentes investigations empiriques, graphiques et statistiques multivariées ont permis de caractériser les eaux minérales embouteillées de l'Algérie, d'identifier les faciès chimiques et de contribuer à l'établissement de classification de ces différentes eaux minérales embouteillées. Les techniques empiriques et graphiques ont permis de classer les eaux minérales embouteillées de l'Algérie en deux groupes.

L'étude qualitative des eaux minérales embouteillées a permis une comparaison de ces dernières entre elles, et de montrer qu'elles sont moyennement minéralisées par rapport à ce qui est connu ailleurs. Elles sont globalement douces, et tous les éléments chimiques étudiés répondent aux critères de potabilité des eaux minérales.

## **ABSTRACT**

This study aims to physicochemical characterization and classification of some bottled mineral waters of Algeria. To achieve this, a detailed presentation of the operation of hydromineral system was given, followed by the composition. General mineral water and their related classifications.

Various methods were used including: Piper and Schoeler diagram, analysis of the correlation matrix, the Principal Component Analysis (PCA) and analyzing the characteristics of the major elements reports. The results of these different empirical investigations, graphical and multivariate statistics were used to characterize the bottled mineral waters of Algeria, to identify the chemical facies and contribute to the establishment of classification of different bottled mineral waters. Empirical and graphic techniques were used to classify mineral waters bottled from Algeria into two groups.

The qualitative study of mineral waters bottled allowed a comparison of the past between them and to show that they are moderately mineralized compared to what is known elsewhere. They are generally mild, and all studied chemical elements meet the criteria of potability of mineral waters.