

711540.837

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université 8 Mai 1945 Guelma
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie des Procédés

Mémoire de Projet de Fin d'Etudes

2^{ème} Année Master

Analyses statistiques physico-chimiques des eaux embouteillées

Filière : Génie des Procédés

Spécialité : Génie Chimique

Présenté par :

ZOUIDI Rima

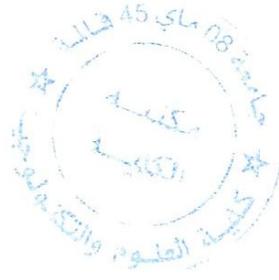
Sous la direction de :

Dr NACEF Mouna

Septembre 2016



16/3294



وجعلنا من الماء كل شيء حي

وجعلنا من الماء كل شيء حي



Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

*A mon père qui m'a encouragé durant mes études, et son
affection qui m'a amené à finir mon projet.*

*A ma mère pour ses sacrifices en témoignage de toute mon
affection tout au long de mes études.*

*A mon mari qui m'a encouragé pour finir mon projet, de
même pour ma belle-famille.*

A mes chers frères et sœurs.



REMERCIEMENTS

Je tiens tout d'abord à remercier ALLAH le Tout Puissant, c'est grâce à lui ce travail a été réalisé. Et aussi à vous, prophète Mohammed (Que la paix soit sur vous), j'adresse mes sincères salutations pour tout ce que vous avez donné à l'humanité.

Je remercie particulièrement, Dr MounaNacef, pour avoir accepté d'encadrer ce travail et pour ses compétences qui m'ont permis de mener à bien cette étude.

Nos remerciements vont aussi à messieurs le chef de département de Génie des Procédés et les membres du jury pour avoir accepté de juger notre travail.

A tous ceux qui ont contribué à l'avancement et la réalisation de ce mémoire, j'exprime mes profonds remerciements.



Résumé

L'eau embouteillée destinée à la consommation sur le marché algérien présente une grande variété de marques. La plupart de ces eaux a pour origine le nord du pays.

Les paramètres et éléments majeurs affichés sur les étiquettes des bouteilles montrent des différences sensibles. La teneur de ces éléments est fonction des interactions que l'eau a pu avoir avec son environnement avant d'être puisée.

L'étude physico-chimique et statistique des eaux minérales, eaux de source et eaux minérales gazéifiées a révélé la nature globale de ces eaux.

La comparaison des valeurs affichées sur les étiquettes avec celles que nous avons mesurées à l'aide des protocoles expérimentaux a montré une divergence accrue dans les chiffres. Cette différence peut être attribuée au défaut de mise à jour des étiquettes.

Les résultats de ces différentes investigations statistiques ont permis de caractériser les eaux embouteillées commercialisées en l'Algérie.

Mots clés : Eaux embouteillées, Paramètres physicochimiques, métaux lourds

Table des matières

Introduction Générale.....	1
I.1 Introduction :.....	2
I.2 Structure et propriétés de l'eau :.....	2
I.2.1 Structure :.....	2
I.2.2 Propriétés :.....	2
I.2.2.a Propriétés physiques :.....	2
I.2.2.b Propriétés chimiques de l'eau :.....	3
I.2.2.c. Propriétés biologiques de l'eau :.....	4
I.3 Les trois états de l'eau :.....	4
I.3.1. Passage d'un état à l'autre :.....	4
I.3.2 Structure de l'eau dans ses trois états :.....	5
I.3.3. Diagramme des phases.....	6
I.4 Cycle naturel de l'eau :.....	6
I.5 Ressources hydriques naturelles :.....	8
I.5.1 Eaux souterraines :.....	8
I.5.2 Eaux de surface :.....	9
I.5.3 Eaux de mers et océans :.....	10
I.6 L'usage de l'eau :.....	10
I.6.1 Usage domestique :.....	10
I.6.2 Les besoins agricoles :.....	10
I.6.3 Les besoins industriels :.....	10
I.7 Pollution des eaux :.....	11
I.7.1. Types de pollution :.....	11
I.7.2 Les principaux polluants des eaux :.....	12
I.8 Conclusion :.....	13
II.1 Introduction :.....	14
II.2 Définitions complémentaires :.....	14
II.2 Propriétés d'une eau minérale naturelle :.....	15
II.3 Différents types des eaux minérales naturelles et de sources :.....	16
II.4 Processus de production des eaux embouteillées :.....	16
II.4.1 Etape du captage:.....	16

II.4.2 Etape de l'acheminement :	16
II.4.3 Etape de traitement de l'eau de source:	17
II.4.4 Etapes de remplissage:	17
II.4.5. Etapes d'emballage:	18
II.5 Elément essentiel à l'embouteillage :	18
II.5.1 Durée de conservation :	18
II.5.2 L'étiquetage :	19
II.5.3 Le numéro de lot :	19
II.6 Les eaux embouteillées en Algérie :	19
II.6.1 Cartographie des eaux :	20
II.6.2 Les Allégations :	21
II.6.3 Les allégations scientifiques des eaux embouteillées:	21
II.7 Conclusion	23
III.1 Introduction :	24
III.2 Description des eaux minérales naturelles et eau de source échantillonnées :	24
III.3 Méthodes d'analyse :	25
III.3.1 Paramètres physiques :	26
III.3.1.1 Température et conductivité :	26
III.3.2 Minéralisation et les éléments minéraux majeurs de l'eau :	26
III.3.2.1 Dureté :	26
III.3.2.2 Alcalinité (TA – TAC) :	27
III.3.2.3 Chlorures (Cl ⁻) :	29
III.3.3 Cations alcalinoterreux :	30
III.3.3.1 Ions calcium (Ca ²⁺) :	30
III.3.3.2 Ions magnésium (Mg ²⁺) :	31
III.3.3.3 Cations alcalins (ion de sodium Na ⁺ et potassium K ⁺) :	32
III.4. Métaux lourds :	35
III.5 Conclusion :	38
IV.1 Introduction :	39
IV.2 Eaux embouteillées concernées par ce travail :	39
IV.3 Résultats et discussion :	39
IV.3.1 Caractérisation des eaux embouteillées :	39
IV.3.2 Définition de la balance ionique :	41
IV.3.3 Analyse des éléments chimiques majeurs :	43

IV.4 Rapports caractéristiques :	46
IV.4.1 Méthodes d'analyses graphique et empirique :	46
IV.5 Comparaison entre les valeurs mesurées et les valeurs de l'étiquette :	50
IV.6 Caractérisation physico-chimique des eaux embouteillées :	53
IV.7 Conclusion :	54
Conclusion Générale	55
Bibliographie	

Liste des figures

Fig. I.1 Structure de la molécule d'eau.....	2
Fig. I.2 Les trois états de l'eau.....	5
Fig. I.3 Structure de l'eau dans ses trois états.....	5
Fig. I.4 Diagramme des phases de l'eau.....	6
Fig. I.5 Cycle naturel de l'eau.....	7
Fig. I.6 Pourcentages de l'usage de l'eau.....	10
Fig. I.7 Causes principales de la pollution de l'eau.....	11
Fig. II.1 Schéma du processus de production des eaux embouteillées.....	18
Fig. II.2 Embouteillage de l'eau minérale naturelle.....	19
Fig. II.3 Cartographie de quelques eaux embouteillées algériennes.....	20
Fig. III.1 Localisations des zones de conservation des eaux embouteillées analysées.....	25
Fig. III.2 Conductimètre Ohaus 3100.....	26
Fig. III.3 Détermination de la dureté totale « virage de couleur du violet au bleu ».....	27
Fig. III.4 Détermination de TAC « virage de l'indicateur coloré au rouge orange ».....	28
Fig. III.5 Détermination des chlorures« virage de couleur au rougeâtre ».....	30
Fig. III.6 Détermination du calcium « virage de couleur du rose au violet ».....	31
Fig. III.7 Photomètre à flamme de marque PFP7.....	32
Fig. III.8 Courbe d'étalonnage de l'élément sodium.....	34
Fig. III.9 Courbe d'étalonnage de l'élément potassium.....	34
Fig. III.10 Spectrophotomètre d'absorption atomique AAnalyst 400 de Perkin Elmer.....	36
Fig. III.11 Courbes d'étalonnage des différents éléments, (A): Cu, (B): Zn, (C): Cr.....	37
Fig. IV.1 Teneur en sodium par rapport au potassium.....	47
Fig. IV.2 Teneur en $(\text{SO}_4^{2-} + \text{HCO}_3^-)$ V_S de $(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$	47
Fig. IV.3 Rapport de la teneur en calcium à celle du magnésium; à gauche est calcium au sulfates ; à droite.....	48

Fig. IV.4 Teneur en $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ Vs HCO_3^-	49
Fig. IV.5 Teneur en Na^+ Vs de Cl^-	49

Liste des Tableaux

Tableau I.1 Principales différences entre eaux de surface et eaux souterraines.....	9
Tableau. I.2 Principaux types de pollution des eaux continentales, nature de produits polluants et leurs origines.....	13
Tableau II.1 Différences entre l'eau minérale, l'eau de source et l'eau de robinet.....	15
Tableau II.2 Distribution des eaux embouteillées dans les wilayas Algériennes	20
Tableau II.3 Eaux minérales naturelles et eaux de source	21
Tableau III.1 Eaux minérales naturelles échantillonnées.....	24
Tableau III.2 Eaux de source échantillonnées.....	25
Tableau III.3 Préparation des solutions étalons pour le dosage du sodium.....	33
Tableau III.4 Préparation des solutions étalons pour le dosage du potassium.....	34
Tableau III.5 Les conditions opératoires du spectrophotomètre pour chaque élément.....	37
Tableau IV.1 Dénomination des eaux embouteillées concernées par ce travail.....	39
Tableau IV.2 Paramètres affichés sur les étiquettes des bouteilles d'eau.....	40
Tableau IV.3 Valeurs mesurées la balance ionique des cations et anions présents dans les eaux embouteillées.....	42
Tableau IV.4 Statistique descriptive des éléments chimiques des eaux de source.....	44
Tableau IV.5 Comparaison entre les valeurs mesurées et l'étiquetage des eaux embouteillées dans le cas des éléments Calcium, Magnésium et Chlorures.....	50
Tableau IV.6 Comparaison entre les valeurs mesurées et l'étiquetage des eaux embouteillées dans le cas des éléments sodium et potassium.....	51
Tableau IV.7 Valeurs mesurées des différents métaux lourds présents dans les eaux embouteillées.....	52

INTRODUCTION GENERALE

Introduction Générale

L'eau est la substance minérale la plus répandue sur la Terre. Elle couvre les trois quarts de sa surface, elle est aussi emmagasinée dans les cavités de son sous-sol et suspendue dans l'atmosphère qui l'entoure. Elle se présente sous trois formes (solide, liquide et vapeur) et selon divers qualités dont l'eau salée est la plus dominante. Elle est à la base de l'activité métabolique et constitue l'essence de la vie de toute la biosphère. L'eau est indispensable au développement, à l'hygiène, à la santé et aux loisirs.

L'eau peut aussi être source de maladies du fait de sa contamination par des déchets ménagers, industriels, agricoles et divers déchets organiques.

Des normes de rigueur ont été établies par les organismes de santé publique pour assurer la qualité de l'eau. Ces normes sont en rapport avec les paramètres physico-chimiques de l'eau.

Depuis plusieurs années, le marché algérien a vu une croissance dans le nombre de marques d'eaux embouteillées commercialisées. Ces eaux sont, bien sûr, sujettes à une législation rigoureuse ainsi qu'à des contrôles périodiques qui assurent un approvisionnement sécurisé en terme de santé pour la population algérienne.

Dans ce contexte, cette étude présente une recherche statistique des eaux commercialisées en Algérie afin de déterminer leur nature. Les eaux minérales naturelles, eaux de sources ainsi que les eaux minérales gazéifiées font l'objet de ce travail.

Ce mémoire s'articule autour de quatre chapitres.

Le premier chapitre introduit l'eau en tant qu'élément essentiel à la vie.

Le deuxième chapitre s'intéresse aux eaux minérales et aux eaux de sources.

Le troisième chapitre détaille le matériel utilisé et les protocoles expérimentaux suivis.

Les résultats obtenus avec leurs discussions sont regroupés dans le quatrième chapitre.

La conclusion générale mettra en lumière les principaux résultats obtenus.

CHAPITRE I
GENERALITE SUR L'EAU ET SA
POLUTION

I.1 Introduction :

L'eau est un corps chimique composé des éléments oxygène et hydrogène, de formule chimique H_2O . C'est un élément indispensable à la vie, c'est le substrat fondamental des activités biologiques et le constituant le plus important des êtres vivants.[1]

I.2 Structure et propriétés de l'eau :

I.2.1 Structure :

L'atome d'oxygène possède 6 électrons périphériques. Sa valence est égale à 2. L'hydrogène possède un électron périphérique et établit une liaison de covalence avec l'oxygène, fig.I.1.

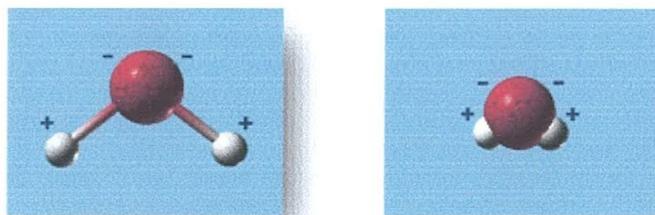


Fig. I.1 : Structure de la molécule d'eau [2]

Du fait de la présence de deux doublets non liants sur l'atome d'oxygène, l'eau a une structure tétraédrique. La géométrie de la **molécule d'eau est donc coudée**. Les études spectroscopiques montrent que l'angle $H-\hat{O}-H$ est de $104,5^\circ$ et que la distance interatomique $d_{O-H} = 95,7$ pm (picomètre) soit $9,57 \cdot 10^{-11}$ m. [2]

I.2.2 Propriétés :

Même si l'eau est un liquide inodore, incolore et sans saveur, d'autres propriétés physiques ou chimiques lui confèrent des qualités qu'il faut connaître pour comprendre mieux le rôle fondamental que joue cette molécule sur notre planète aussi bien comme facteur essentiel pour les écosystèmes que comme élément vital pour les êtres vivants.[3]

I.2.2.a Propriétés physiques :

L'eau a de nombreuses propriétés physiques assez particulières, telles que :

▪ ***La Température d'ébullition :***

La température d'ébullition est dans les conditions normales est égale à 100°C.[3]

▪ ***La masse volumique :***

Elle varie avec la température et la pression, mais aussi avec la teneur en sels dissous. L'eau a une masse volumique de 1g/cm³. [3]

▪ ***La viscosité :***

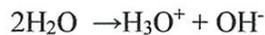
Elle diminue lorsque la température croît ; par contre, elle augmente avec la teneur en sels dissous. Contrairement aux autres liquides, une pression modérée, rend l'eau moins visqueuse aux basses températures. [3]

▪ ***La tension superficielle :***

Elle est définie comme une force de traction qui s'exerce à la surface du liquide en tendant toujours à réduire le plus possible l'étendue de cette surface. Elle est extrêmement élevée ; 73erg/cm à 18°C. [3]

▪ ***La conductivité électrique:***

L'eau est légèrement conductrice. Cette conductivité très faible, mais jamais nulle est expliquée par une légère dissolution de la molécule d'eau selon l'équation chimique :



Elle est exprimée en $\mu\text{s/cm}$. [3]

I.2.2.b. Propriétés chimiques de l'eau :

L'énergie de formation de la molécule d'eau, 242 kJ/mol, est élevée. Il s'ensuit que l'eau possède une grande stabilité. Cette stabilité, associée aux propriétés électriques et à la constitution moléculaire de l'eau, la rend particulièrement apte à la mise en solution de nombreux corps gazeux, liquides polaires, et surtout solide. La plupart des substances minérales peuvent se dissoudre dans l'eau, ainsi qu'un grand nombre de gaz et de produits organiques.

La solvation (ou action hydratante de l'eau) est le résultat d'une destruction complète ou partielle des divers liens électrostatiques entre les atomes et les molécules du corps à dissoudre,

pour les remplacer par de nouveaux liens avec les molécules d'eau, et forger ainsi de nouvelles structures : il se produit une véritable réaction chimique (une solvation complète et une dissolution).[3]

I.2.2.c. Propriétés biologiques de l'eau :

L'eau, l'oxygène et le dioxyde de carbone contribuent à créer des conditions favorables au développement des êtres vivants via le cycle biologique. Cycle au cours duquel s'effectue une série d'échanges où l'eau entre pour une grande part dans la constitution des êtres vivants.[3]

I.3 Les trois états de l'eau :

L'eau peut exister à l'état :

- **solide**: les molécules d'eau sont parfaitement organisées de façon à former un état dur et solide.
- **liquide** : Dans cet état, les molécules d'eau sont un peu dans tous les sens, mais proches les unes des autres.
- **gazeux** : Les molécules d'eau sont désordonnées et très espacées les unes des autres.[4]

I.3.1. Passage d'un état à l'autre :

L'eau peut changer d'état à tout moment, il faut juste que certaines conditions soient présentes. En fonction de la température.

Les passages d'un état à l'autre portent des noms, Fig. I.2 :

- **La condensation** : c'est le passage de l'état gazeux à liquide. Il existe également la condensation solide, qui est le passage de l'état de gaz à solide, sans passer par la phase liquide.
- **L'évaporation** : c'est le passage de l'état liquide à l'état gazeux.
- **La fusion** : c'est le passage de l'état solide à liquide.
- **La sublimation** : c'est le passage directement de l'état solide à l'état gazeux.
- **La solidification** : c'est le passage de l'état liquide à solide. [4]

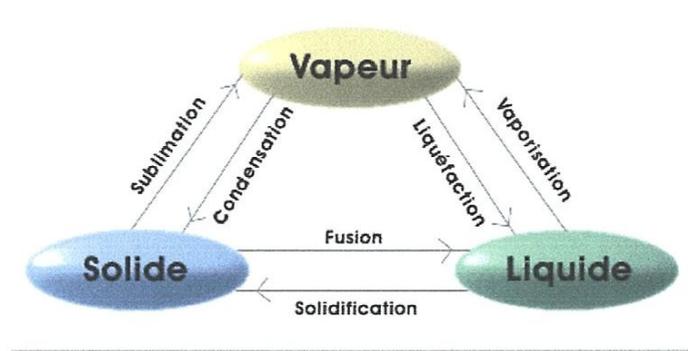


Fig. I.2 : Les trois états de l'eau [5]

I.3.2 Structure de l'eau dans ses trois états :

- **L'état liquide :**

Lorsque l'eau passe de l'état solide à l'état liquide, il subsisterait des amas ou des « icebergs » de tétraèdres élémentaires organisés suivant une structure hexagonale ou autre, entre lesquels s'intercalent des molécules d'eau libres, dont la proportion augmente avec la température.[6]

- **L'état solide :**

Il existe trois formes amorphes de glace; ce sont les glaces BD (basse densité) ; HD (haute densité) et X (très haute densité), ces deux dernières ne pouvant être obtenues que sous haute pression.[6]

- **L'état vapeur :**

Le point d'ébullition correspond à une rupture totale des liaisons, les molécules d'eau isolées sont alors animées d'une grande agitation thermique, passant à l'état gazeux sous forme de bulles au sein du liquide s'échappant par la surface libre de l'eau sous forme de vapeur, dans laquelle toutes les molécules sont séparées les unes des autres, Fig.I.3. [6]

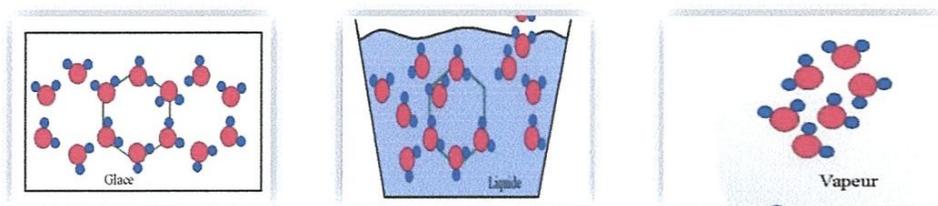


Fig. I.3 : Structure de l'eau dans ses trois états [5]

I.3.3. Diagramme des phases

Le diagramme des phases illustre les domaines de température et de pression où l'eau se trouve à l'état gazeux, liquide et solide.

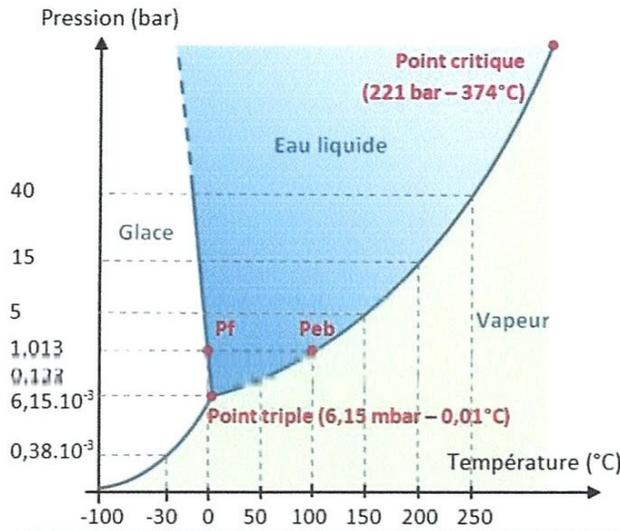


Fig. I.4: Diagramme des phases de l'eau [7]

Il montre que le point triple correspond à une température de $0,01^{\circ}\text{C}$ et une pression de $6,15$ hectopascals soit $6,15 \cdot 10^{-3}$ bar. En dessous du point triple, l'eau ne peut pas exister sous forme liquide. La courbe de changement de phase liquide-vapeur (appelée courbe de vaporisation) est limitée supérieurement en un point appelé point critique. Au-delà de ce point, l'eau devient un fluide supercritique qui possède la propriété de dissoudre des substances insolubles dans l'eau en dessous du point critique.

La pente de la courbe de fusion (changement de phase liquide-solide) est négative dans un large domaine de pression pour une température proche de celle du point triple. Cela explique qu'une augmentation de la pression favorise la fusion de la glace.[6]

I.4 Cycle naturel de l'eau :

La terre est recouverte à plus de 70 % d'eau. La totalité de l'eau contenue sur terre forme ce que l'on appelle l'hydrosphère, dont le volume total est estimé à 1400 millions de km^3

Cependant, l'eau douce ne représente que $39,2$ millions de km^3 . [8]

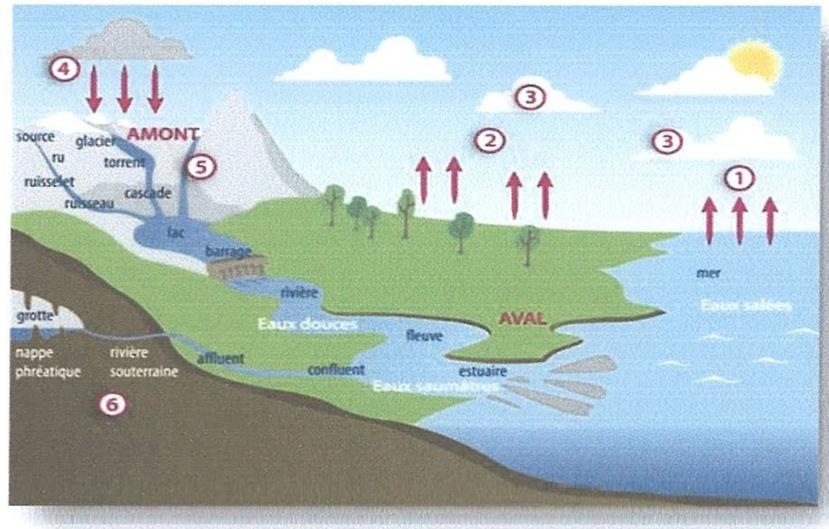


Fig. I.5 :Cycle naturel de l'eau[9]

1) L'évaporation:

Le soleil réchauffe l'eau des sols humides et des plans d'eau : rivières, fleuves, lacs, mers et océans. Il la fait ainsi passer de l'état liquide à l'état de vapeur. L'eau évaporée monte dans l'atmosphère pour former des nuages (90 % des précipitations).

2) La transpiration des végétaux :

Les végétaux puisent l'eau dans le sol et la rejette sous forme de vapeur (10 % des précipitations): c'est la transpiration des végétaux. Elle est également appelée évapotranspiration.

3) La condensation:

La vapeur d'eau, en se refroidissant au contact des couches d'air rendu plus froides par les vents, se transforme en très fines gouttelettes : c'est la condensation. Elle est à l'origine de la formation des nuages.

4) Les précipitations:

Les précipitations proviennent des nuages. Transportés par la circulation atmosphérique, les nuages se déplacent et sous l'effet de la pesanteur, l'eau retombe sur le sol sous forme d'eau, de neige ou de grêle. Environ 60% des précipitations sont stockées dans le sol et s'évaporent à nouveau.

5) *Le ruissellement:*

Une faible proportion des précipitations (15%) reste sur le sol ou sur les surfaces imperméables et s'écoule directement vers les cours d'eau (ruisseau, rivière, fleuve) pour se jeter dans les mers et les océans. C'est le ruissellement.

6) *L'infiltration:*

Une partie de l'eau de pluie (25 %) pénètre dans le sous-sol. Ce phénomène s'appelle l'infiltration. En s'infiltrant, l'eau remplit les cavités et interstices des roches et forme une nappe phréatique. L'eau contenue dans ce réservoir (nappe d'eau ou phréatique) trouve parfois un chemin naturel vers l'extérieur. L'endroit où jaillit l'eau hors du sol s'appelle une source. [9]

I.5 Ressources hydriques naturelles :

Les réserves disponibles d'eaux naturelles sont constituées des eaux souterraines (infiltration, nappe), des eaux de surface retenues ou en écoulement (barrages, lacs, rivières) et des eaux de mer.[3]

I.5.1 Eaux souterraines :

Du point de vue hydrogéologique les couches aquifères se divisent en :

- ***Nappes phréatiques ou alluviales :***

Peu profondes et alimentées directement par les précipitations pluvieuses ou les écoulements d'eau en dessus.

- ***Nappes captives :***

Plus profondes que le premier et séparées de la surface par une couche imperméable, l'alimentation de ces nappes est assurée par l'infiltration sur leurs bordures. La nature du terrain sous lequel se trouvent ces eaux est un déterminant de leurs compositions chimiques, cependant elles sont appelées aussi les eaux propres car elles répondent en général aux normes de potabilité. Pourtant, ces eaux sont moins sensibles aux pollutions accidentelles, elles perdent totalement leur pureté originale dans le cas de contamination par des polluants. Quand une eau souterraine contient une concentration en certains minéraux dépassant les normes de potabilité, mais elle représente des propriétés thérapeutiques on la distribue en bouteilles avec parfois un traitement bien défini, ces eaux sont dites eaux minérales.[3]

Tableau I.1 : Principales différences entre eaux de surface et eaux souterraines.[3]

Caractéristique	Eaux de surface	Eaux souterraines
Température	Variable suivant saisons	Relativement constante
Turbidité	Variable, parfois élevée	Faible ou nulle (sauf en terrain karstique)
couleur	Liée surtout aux MES sauf dans les eaux très douces et acides (acides humiques)	Liée surtout aux matières en solution (acides humique...)
Minéralisation globale	Variable en fonction des terrains, des précipitations, des rejets, etc.	Sensiblement constante en général nettement plus élevée que dans les eaux de surface de la même région
Fer et Manganèse dissous	Généralement absents	Généralement présents
nitrate	Peu abondants en général	Teneur parfois élevée
Micropolluants minéraux et organiques	Présents dans les eaux de pays développés, mais susceptibles de disparaître rapidement après suppression de la source	Généralement absents mais une pollution accidentelle subsiste beaucoup plus longtemps
Eléments vivants	Bactéries, virus	Ferrobactéries fréquentes

I.5.2 Eaux de surface :

Cette classification englobe toutes les eaux circulantes ou stockées à la surface des continents (rivières, lacs, étangs, barrages, etc.). La composition chimique des eaux de surface dépend de la nature des terrains traversés par ces eaux durant leurs parcours dans l'ensemble des bassins versants. Ces eaux sont le siège, dans la plupart des cas, d'un développement d'une vie microbienne à cause des déchets qui y sont rejetés et de l'importante surface de contact avec le milieu extérieur. C'est à cause de ça que ces eaux sont rarement potables sans traitement préalable, le tableau I.1, décrit brièvement les principales caractéristiques qui différencient l'eau de surface et l'eau souterraine. [3]

I.5.3 Eaux de mers et océans :

Les mers et les océans constituent des énormes réservoirs d'eau, elles représentent près de 97,4% du volume d'eau existant actuellement sur notre planète, le reste est la part des eaux continentales (eaux souterraines et superficielles). Les eaux de mers sont caractérisées par une grande salinité, elles sont dénommées aussi « eaux saumâtres », ce qui rend leur utilisation difficile, notamment le coût très élevé pour leur traitement.[3]

I.6 L'usage de l'eau :

L'eau peut être utilisée par l'homme de différentes façons. Elles sont citées dans ce qui suit, Fig1.6.

I.6.1 Usage domestique :

Les eaux de consommation publique sont utilisées à différentes fins. Un habitant consomme 230 L par jour, n'en utilise que 1 % pour la boisson et 6 % pour la préparation de la nourriture, les 93 % restant sont consacrés aux bains-douches (39 %), aux sanitaires (20 %), au lavage du linge (12 %), de la vaisselle (10 %), à des usages domestiques divers (6 %) et au lavage des voitures et arrosage du jardin (6%). [1]

I.6.2 Les besoins agricoles :

L'agriculture est une grande consommatrice d'eau pour l'irrigation et l'élevage. L'irrigation nécessite des volumes considérables. Un hectare de maïs consomme 20000 m³ d'eau pendant sa période végétative, et un hectare de riz 40000 m³ en moyenne.[1]

I.6.3 Les besoins industriels :

Dans l'industrie, l'eau a de multiples fonctions, par exemple celle de fluides de refroidissement et de substance primaire (dans le domaine de la production) ou de solvant et de milieu réactionnel (dans l'industrie chimique par exemple).[1]

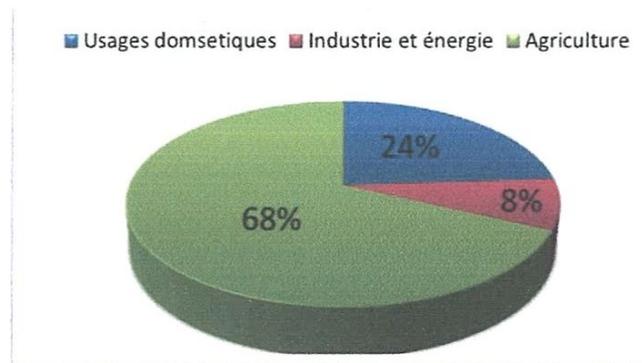


Fig. I.6 : Pourcentages de l'usage de l'eau[9]

I.7 Pollution des eaux :

La pollution ou la contamination de l'eau peut être définie comme la dégradation de celle-ci en modifiant ses propriétés physique, chimique et biologique; par des déversements, rejets, dépôts directs ou indirects de corps étrangers ou de matières indésirables telles que les microorganismes, les produits toxiques, les déchets industriels.

Ces substances polluantes peuvent avoir différentes origines:

- Urbaine (activités domestiques; eaux d'égout, eaux de cuisine, etc.)
- Agricole (engrais, pesticides)
- Industrielle (chimie, pharmacie, pétrochimie, raffinage, etc.) [10]

I.7.1. Types de pollution :

On distingue deux types de pollutions

▪ *La pollution ponctuelle :*

Elle est formée de rejets localisés, plus ou moins abondants relativement faciles à identifier. Chronique ou accidentelle, cette pollution est provoquée par des déversements domestiques, urbains, agricoles ou industriels peu ou non traités.

▪ *La pollution diffuse :*

Elle est due au lessivage et à l'érosion plus ou moins rapide et accusée des sols, où différentes substances sont entraînées vers les nappes et les rivières tel que les hydrocarbures, les métaux lourds, les pesticides. Cette pollution peut s'étendre sur de grandes surfaces, elle est difficile à identifier et donc difficile à maîtriser, Fig.I.7.[11]

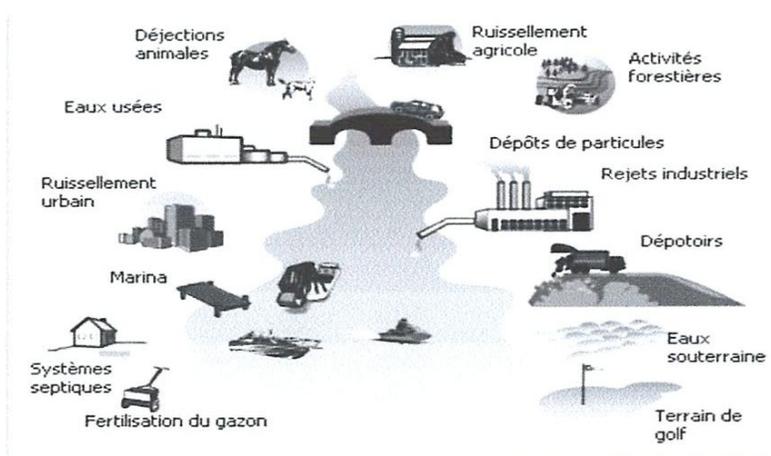


Fig. I.7 : Causes principales de la pollution de l'eau[12]

I.7.2 Les principaux polluants des eaux :

▪ ***Les matières en suspension :***

Les matières en suspension sont de fines particules présentes naturellement dans l'eau des rivières (planctons, débris végétaux fins, minéraux, etc.) elles sont aussi des polluants d'origine humaine pour d'autres (matières organiques et minérales). Elles peuvent réduire la transparence de l'eau (turbidité), ce qui est néfaste pour la biologie des cours d'eau.

▪ ***La pollution organique :***

Certains rejets contiennent des matières organiques, Ces polluants sont biodégradables, ils peuvent être transformés en eau et en CO₂ par des micro-organismes (bactéries, algues). Mais cette biodégradation consomme de l'oxygène, qui ne sera donc plus disponible pour la faune aquatique (poissons, crustacés, etc.)

▪ ***Les matières fertilisantes :***

La présence d'azote et de phosphore en quantité excessive dans les cours d'eau entraîne la prolifération d'algues qui diminuent la luminosité et surtout consomment l'oxygène dissous dans l'eau (phénomène d'eutrophisation). Cette pollution est produite par les eaux usées urbaines, certains effluents industriels et le ruissellement des eaux chargées d'engrais apportés en excès aux cultures.

▪ ***Les polluants métalliques et les polluants chimiques persistants :***

Certains polluants chimiques (des pesticides par exemple) sont particulièrement persistants: ils résistent à la dégradation chimique et biologique. Avec les métaux lourds (plomb, mercure, cadmium, cuivre, zinc, nickel, chrome, etc.), ils forment une famille de polluants très dangereux : absorbés par des plantes ou des petits animaux, ils s'accumulent et se concentrent tout au long de la chaîne alimentaire, au sommet de laquelle se trouve l'homme.

▪ ***Les sels minéraux :***

Présents naturellement dans l'eau en faible quantité, les sels minéraux (chlorures ou sulfates de calcium, de magnésium, de sodium ou de potassium) peuvent voir leur concentration s'élever à la suite de rejets industriels. Cela peut nuire à la biologie aquatique.

▪ ***La pollution microbiologique :***

L'eau peut contenir des micro-organismes pathogènes (des virus, des bactéries et des parasites). Ils sont dangereux pour la santé humaine et limitent donc les usages que l'on peut faire de l'eau (baignade, élevage de coquillage, etc.) [11]

Tableau. I.2 : Principaux types de pollution des eaux continentales, nature de produits polluants et leurs origines[13]

Types de pollution	Nature	Sources
Physique		
pollution thermique	Rejets d'eau chaude	Centrales thermiques
pollution radioactive	Radio-isotopes	Installations nucléaires
Matière organique		
	Glucides, lipides, protides, ammoniac, nitrates	Effluents domestiques, agricoles, agro-alimentaires élevages et piscicultures
Chimique		
Fertilisants	Nitrates, phosphates	Agriculture, lessives
Métaux et métalloïdes	Mercuré, cadmium, plomb, aluminium, arsenic, etc.	industries, agriculture, pluies acides, combustion
Pesticides	Insecticides, herbicides, fongicides	Agriculture, industries
Organochlorés	PCB, solvants	Industries
Composées organiques de synthèse	Nombreuses molécules	Industries
Détersifs	Agents tensio-actifs	Effluents domestiques
Hydrocarbures	Pétrole et dérivés	Industrie pétrolière, transports
Microbiologique	Bactéries, virus, champignons	Effluents urbains et d'élevage

I.8 Conclusion :

L'eau est la chose la plus nécessaire à l'entretien de la vie. L'eau propre est une eau qui est apte à être consommée par l'être humain, cette dernière peut contenir des substances polluantes, c'est pourquoi, elle a besoin d'être protégée, traitée et économisée.

CHAPITRE II
PRODUCTION DES EAUX EMBOUTEILLÉES

II.1 Introduction :

L'eau minérale naturelle est une ressource renouvelable dont la pérennité nécessite une gestion rigoureuse. L'exploitation d'une source minérale naturelle se fait dans le respect de la nature. Elle est un produit dont les industriels optimisent l'exploitation. Il n'est pas rare d'observer des rendements d'utilisation de l'eau minérale très élevés, dépassant les 95%. [14]

II.2 Définitions complémentaires :

▪ *Les eaux potables :*

Une eau est dite potable quand elle satisfait à un certain nombre de caractéristiques la rendant propre à la consommation humaine. [15]

▪ *Eau de robinet :*

L'eau du robinet, ou eau de distribution ou parfois eau courante, est une eau qui provient d'un mélange d'eaux de surface et d'eaux de nappes souterraines. Elles doivent être traitées chimiquement pour les rendre propres à la consommation. [16]

▪ *Les eaux thermales :*

Sont des eaux minérales, plus ou moins chaudes, qui sont destinées, lors de cures, à traiter une ou plusieurs indications thérapeutiques dans des établissements pratiquant la crénothérapie. [17]

▪ *Eau embouteillée :*

Est une eau versée dans un contenant ou un emballage scellé et mise en vente pour la consommation humaine ou d'autres usages de consommation. [14]

▪ *Eau de source :*

Est une eau naturelle embouteillée dont la qualité physico-chimique et microbiologique doit respecter sans traitement les critères de potabilité. [17]

▪ *L'eau minérale :*

C'est une eau naturelle, non traitée, d'origine profonde et de composition constante et qui satisfait à des exigences plus strictes que les autres eaux destinées à la consommation humaine. Par exemple, elle doit être exempte de tout traitement et irréprochable au niveau bactériologie. Elle se doit de posséder des propriétés favorables à la santé reconnues. [17]

Tableau II.1: Différences entre l'eau minérale, l'eau de source et l'eau de robinet[18]

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

II.2 Propriétés d'une eau minérale naturelle :

L'eau minérale naturelle est une eau qui se distingue nettement de l'eau de boisson ordinaire, du fait que:

- a) elle est caractérisée par sa teneur en certains sels minéraux, les proportions relatives de ces sels et la présence d'oligo-éléments ou d'autres constituants,
- b) elle provient directement de nappes souterraines par des émergences naturelles ou forées pour lesquelles toutes les précautions devraient être prises afin d'éviter toute pollution ou influence extérieure sur les propriétés physiques et chimiques de l'eau minérale naturelle,
- c) elle est constante dans sa composition et stable dans son débit et sa température, compte tenu des cycles de fluctuations naturelles mineures,
- d) elle est captée dans des conditions qui garantissent la pureté microbiologique et la composition chimique de ses constituants essentiels,

e) elle est conditionnée à proximité de l'émergence de la source avec des précautions d'hygiène particulières

f) elle n'est soumise à aucun traitement autre que ceux autorisés par la norme.[14]

II.3 Différents types des eaux minérales naturelles et de sources :

▪ *Eau minérale naturelle naturellement gazeuse :*

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

▪ *Eau minérale naturelle non gazeuse*

Une eau minérale naturelle non gazeuse est une eau minérale naturelle qui, à l'état naturel et après traitement, compte tenu des tolérances techniques usuelles, ne contient pas de gaz carbonique libre en proportion supérieure à la quantité nécessaire pour maintenir dissous les sels hydrogénocarbonates présents dans l'eau.

▪ *Eau minérale naturelle dégazéifiée*

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

▪ *Eau minérale naturelle renforcée au gaz carbonique de la source*

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

▪ *Eau minérale naturelle gazéifiée*

Une eau minérale naturelle gazéifiée est une eau minérale naturelle rendue gazeuse, par addition de gaz carbonique d'autre provenance.[14]

II.4 Processus de production des eaux embouteillées :

II.4.1 Etape du captage:

L'eau minérale naturelle est puisée dans les profondeurs, à l'usine d'embouteillage, elle est alimentée par des forages.[19]

II.4.2 Etape de l'acheminement :

L'eau est ensuite acheminée de la source à l'usine d'embouteillage dans des conduits d'eau.[19]

II.4.3 Etape de traitement de l'eau de source:

- **Chloration de l'eau:** le chlore est injecté directement dans les conduites par des pompes.
- **Filtre à sable:** L'eau chlorée entre ensuite dans le filtre à sable qui a pour rôle l'élimination des matières en suspension.
- **Stockage de l'eau :** Il se fait dans une cuve alimentée d'une pompe pour éviter la stagnation d'eau qui constitue un milieu favorable pour le développement des micro-organismes.
- **Filtre à Charbon actif :** Son rôle est de fixer les composés organiques dissous, qui ont échappés à la dégradation biologique naturelle. De plus, ce filtre réalise une dé-chloration, en retenant les grosses particules en suspension: (sable, bous, etc.)
- **Pré filtration :** Cette étape précède la filtration, afin d'éviter le colmatage de l'entrée des fibres des modules de l'ultrafiltre.
- **Ultrafiltration :** désinfecte l'eau en éliminant l'ensemble des matières en suspension dans l'eau ainsi que les bactéries et virus.

Stockage d'eau ultra filtrée dans une cuve de stockage qui permet de subvenir aux besoins en eau, et permet également d'alimenter le processus se trouvant en aval.

- **Traitement ultra-violet «lampes UV»:** il désinfecte l'eau contre les bactéries et virus, et permet de s'assurer de la destruction de tous les micro-organismes avant osmoseur.
- **Injection d'anti-escalant avant l'osmoseur:** il permet de disperser les ions calcium et magnésium afin qu'ils ne s'incrustent pas sur les membranes d'osmose.
- **Osmose inverse :** c'est l'étape la plus importante dans la purification de l'eau. Elle assure la déminéralisation de l'eau ultra filtrée.
- **Eau de mélange:** l'eau obtenu après osmose inverse est mélangée en fonction des paramètres fixés avec l'eau ultra filtrée et stérile, ce mélange permet de rehausser la minéralisation de l'eau.
- **Stockage d'eau osmosée:** il est réalisé dans une cuve de stockage alimentée d'une pompe pour éviter la stagnation de l'eau et par conséquent l'apparition de germes.
- **Stérilisation par ultraviolet:** L'eau est stérilisée de nouveau par les lampes UV avant l'alimentation de ligne d'embouteillage.[19]

II.4.4 Etapes de remplissage:

Le remplissage des bouteilles est réalisé dans une salle hermétique bien entretenue du point de vue hygiénique car elle constitue une partie critique dans le processus d'embouteillage.

Les étapes de l'embouteillage sont comme suit :

- Rinçage des bouteilles par l'eau chaude pour éliminer les germes.

- Remplissage des bouteilles par l'eau traitée.
- Etiquetage et indication de la date de fabrication et d'expiration.[19]

II.4.5. Etapes d'emballage:

Les bouteilles sont empaquetées en pack de six bouteilles, par des films en plastique rétractables, deux phases suivent alors :

- **Stockage:** Le produit fini est stocké dans un endroit aéré pendant 48 heures, le temps nécessaire pour la réalisation des analyses microbiologiques.
- **Expédition:** Après autorisation d'expédition par le laboratoire, le produit fini est libéré pour la distribution et la vente.[19]

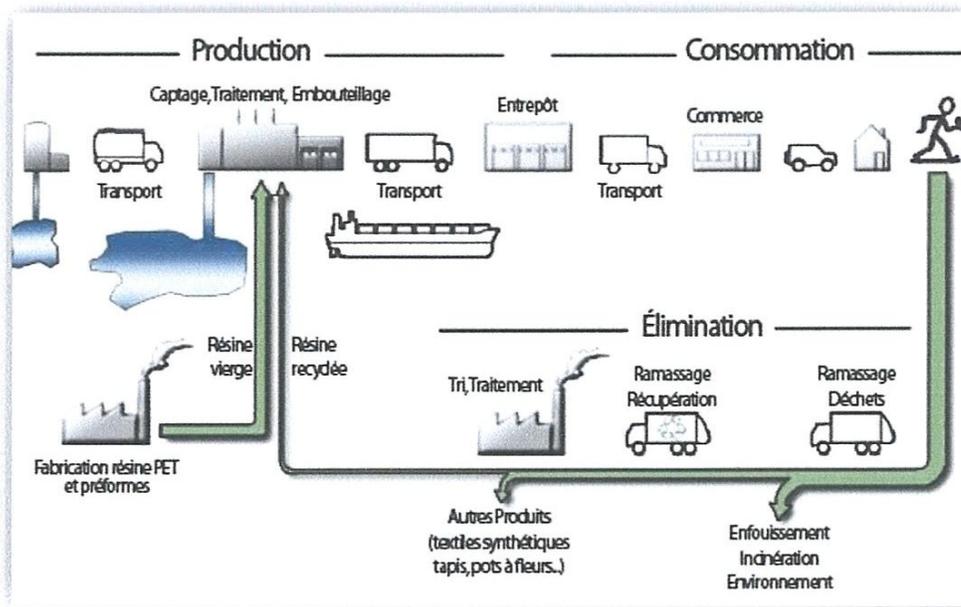


Fig. II.1 :Schéma du processus de production des eaux embouteillées [20]

II.5 Elément essentiel à l'embouteillage :

II.5.1 Durée de conservation :

L'eau embouteillée se conserve de un à deux ans en tenant compte sur la date de péremption, elle doit être maintenue à l'abri de la lumière de soleil. [14]

II.5.2 L'étiquetage :

L'étiquetage des denrées alimentaires joue un rôle essentiel dans le marché intérieur et doit être en concordance avec ses objectifs fondamentaux. Pour satisfaire, ses trois fonctions essentielles (identification des eaux embouteillées, information du consommateur et marquage du produit), l'étiquetage doit être clairement reconnaissable, lisible, simple, compréhensible, intéressant et significatif, sans tromper le consommateur.[21]

II.5.3 Le numéro de lot :

Au titre de l'identification du lot, chaque récipient doit porter une inscription gravée ou une marque indélébile en code ou en clair permettant d'identifier l'usine de production et le lot de fabrication. Le lot de fabrication est identifié par une indication comportant une référence à la date de fabrication. Cette indication est précédée de la mention « lot ». [21]

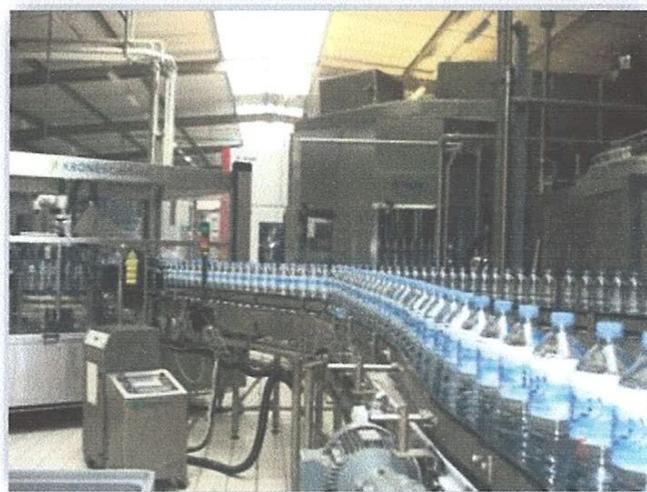


Fig. II.2 : Embouteillage de l'eau minérale naturelle [22]

II.6 Les eaux embouteillées en Algérie :

Un grand nombre de marques d'eaux embouteillées (eaux minérales et de source) est produit et distribué dans notre pays, nous citons quelques-uns : Bouglez, Aïn Souda, Alma, Ayris, Batna, Ben Haroun, Bourached, Cordial, Dhaya, Djemila, El Goléa, Guedila, Fezguia, Hammamet, Ifren, Ifri, LallaKhedidja, Lejdar, Manbaâ El Ghezlane, Mansourah, Mileza, Milok, Misserghine, Mont Djurdjura, Mouzaïa, Nestlé Vie Pure, N'Gaous, Qniaa, Saïda, Sfid, Sidi Rached, Sidi Okba, Sidi Yakoub-Texanna, Thevest, Togi, Toudja et Youkous. [23]

II.6.1 Cartographie des eaux :

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 2 marques commercialisées. Les marques produites et distribuées sont composées de 17 eaux de source dont une est gazéifiée (Cordial) et 20 marques d'eaux minérales naturelles. [23]

Tableau II.2 : Distribution des eaux embouteillées dans les wilayas Algériennes [23]

Région /wilaya	Nombres des marques	Taux (%)
Sétif, Batna, Guelma, Tarrf, Biskra	12	32,43
Béjaïa, Tizi Ouzou, Bouira Bordj Bou Arreridj, Jijel	15	40,54
Oran, Sidi Bel Abbès, Saïda, Tlemcen, Tiaret	6	16,22
Blida	2	5,41
Laghouat	1	2,70
El Ménéa	1	2,70
Total	37	100,00

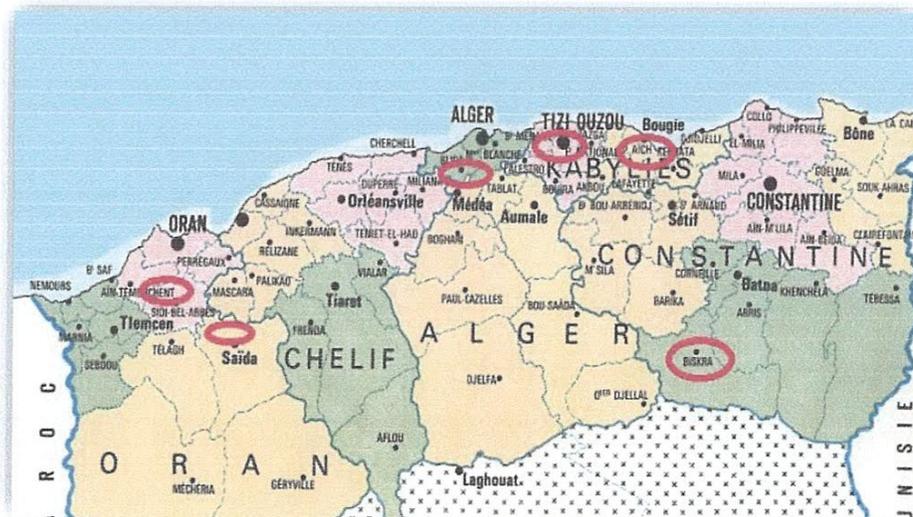


Fig.II.3 : Cartographie de quelques eaux embouteillées algériennes.[14]

Tableau II.3 : Eaux minérales naturelles et eaux de source [23]

Marque des eaux minérales naturelles			Marque des eaux de source		
Aïn Souda	Alma	Misserghine	Alma	Lejdar	Bourached
Batna	Djemila	Mouzaïa	Ayris	Mileza	SidiRached
Ben Haroun	El Goléa	N'Gaous	Cordial	Dhaya	Mont Djurdjura
Bouglez	Ifri	Saïda	Fezguia	Qniaa	Manbaâ El
Hammamet	Guedila	Sidi Okba	Ifren	Texenna	Ghezlane
LallaKhedidja	Mansourah	Thevest	Sfid	Togi	Nestlé Vie Pure
SidiYakoub	Milok	Toudja			
		Youkous			

II.6.2 Les Allégations :

L'allégation c'est un message présent sur l'emballage d'un produit alimentaire qui affirme, suggère, ou implique que l'aliment possède certaines propriétés.

Il existe différents types d'allégations:

- **Les allégations nutritionnelles quantitatives** :Ce sont les allégations relatives aux quantités de nutriments présents ou non dans le produit.
- **Les allégations nutritionnelles fonctionnelles** : Ce sont des allégations qui renseignent sur le rôle dans l'organisme d'un nutriment ou d'une substance.
- **Les allégations concernant le mode de fabrication** :Sont les allégations relatives à un procédé de fabrication
- **Les allégations santé** :Ce sont des allégations qui affirment ou suggèrent que la denrée sur laquelle elles sont apposées possède des propriétés particulières ayant un effet favorable sur la santé de l'individu qui la consomme. Les allégations de santé sont autorisées si elles sont fondées scientifiquement. C'est-à-dire que l'effet favorable défini dans l'allégation doit être prouvé scientifiquement.[21]

II.6.3 Les allégations scientifiques des eaux embouteillées:

▪ Les bicarbonates :

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 bonnes pour les sportifs pour lutter contre l'acidité produite par le muscle lors de l'effort. [23]

▪ Les sulfates :

Lorsque les teneurs sont élevées en sulfates (plus de 400 mg/l), l'eau est laxative et peut provoquer des diarrhées. A partir de ces teneurs, elle aura un goût «médical ». La présence de sulfates dans l'eau facilite le transit intestinal. [23]

▪ Les chlorures :

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

Le chlore est naturellement éliminé par l'urine, mais une surdose peut provoquer des vomissements.

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.[23]

▪ Le 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 contribue au bon fonctionnement du système nerveux et la contraction musculaire. Une carence en cet élément peut provoquer des crampes, la spasmophilie, l'anxiété, des troubles digestifs. A forte dose, il a des effets laxatifs.[23]

L'eau calcique ne devrait pas être considérée comme une source de nourriture en calcium. Elle est utile pour les personnes qui souffrent de désordres à l'estomac et au foie, pour empêcher des hautes pressions, l'ostéoporose et pour la croissance des enfants.

▪ Le potassium :

Le potassium est un élément-clé de la contraction musculaire. Un excès de 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.[23]

▪ Les nitrates et les 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 problème d'oxygénation du sang.[23]

▪ Le sodium :

Les eaux pauvres en sodium sont conseillées en cas d'hypertension ou de rétention d'eau.[16]

▪ Le 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.[23]

▪ La silice :

Le silicium permet la constitution du squelette humain qui en comporte 7 g. Les besoins liés à la croissance du squelette et des divers tissus conjonctifs sont puisés par le fœtus dans le corps de la future maman. Le silicium est nécessaire pour la croissance car il accélère le processus de calcification et de fixation du calcium sur les os.

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.[23]

▪ Le potentiel hydrogène pH :

Le pH des eaux minérales doit être conforme à ce que prévoient la réglementation algérienne (entre 6,5 et 8,5) et les experts.[23]

▪ Le résidu sec :

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

- plus de 1 500 mg/l : eau riche en sels minéraux ;
- entre 500 et 1 500 mg/l : eau moyennement minéralisée ;
- entre 50 et 500 mg/l : eau faiblement minéralisée ;
- résidu sec < 50 mg/l : eau très faiblement minéralisée.[23]

II.7 Conclusion

Les eaux minérales sont puisées dans des environnements géologiques et hydrogéologiques très diversifiés caractérisant la géologie du pays.

L'Algérie jouie d'une grande variété d'eaux minérales et de source bien que l'étiquetage indique les principales caractéristiques de celles-ci, il est impératif d'en faire une analyse plus informative.

CHAPIRE III
METHODES ET PROTOCOLES

III.1 Introduction :

L'objectif de ce travail est l'étude de quelques eaux embouteillées (eaux minérales et de source) produites en Algérie afin d'orienter les citoyens qui sont de plus en plus enclins à en boire.

Les analyses ont été réalisées au niveau du laboratoire pédagogique de l'université 08 mai 1945, ainsi qu'aux laboratoires de recherche L.A.I.G.M. (Laboratoire d'Analyses Industrielles et Génie des Matériaux) et L.G.C.H. (Laboratoire de Génie Civile et d'Hydraulique) de la même université.

A cet effet, nous avons pris en compte dix-huit (18) marques produites et distribuées à l'échelle du pays : Lallakhedidja, Milza, Saïda, Thevest, Mouzaïa, Aïn Souda, Arwa, Bouglez, Besbassa, Ovital, Ifri, Nestlé eau pure, Youkous, Djurdjura, Batna, Guedila, , Mouzaïa eau gazeuse et Ifri eau gazeuse.

III.2 Description des eaux minérales naturelles et eau de source échantillonnées :

Nous avons analysé au total 18 échantillons d'eau embouteillées comme présenté dans les tableaux III.1 et III.2 et leur localisation sur le territoire national est décrite par la figure III.1 selon le code des wilayas :

Tableau III.1 : Eaux minérales naturelles échantillonnées

Wilaya de conservation/code	Eau minérale naturelle	Date de fabrication	Date limite de consommation	Numéro de lot
Tiziouzou /15	Lallakhedidja	17/03/2016	17/03/2017	Bp077
Guelma /24	Aïn Souda	02/03/2016	02/03/2017	103
El-tarf /36	Bouglez	04/09/2015	04/09/2016	247
Béjaïa /6	Ifri	19/02/2016	18/02/2017	B08
Biskra /7	Guedila	22/02/2016	22/02/2017	3
Saida /20	Saïda	11/02/2016	11/02/2017	042
Tébessa /12	Thevest	10/03/2016	10/03/2017	C10
Tébessa	Youkous	25/02/2016	25/02/2017	056
Blida /9	Mouzaïa eau gazeuse	20/09/2015	19/09/2016	2
Blida/9	Mouzaïa	17/03/2016	17/03/2017	17
Béjaïa/6	Ifri eau gazeuse	10/11/2015	10/11/2016	A09
Batna /5	Batna	11/09/2015	10/09/2016	125

Tableau III.2 : Eaux de source échantillonnées

Wilaya de conservation/code	Eau de source	Date de fabrication	Date limite de consommation	Numéro de lot
Bordj Bou Arreridj/34	Milza	08/03/2016	08/03/2017	53
Blida /9	Nestlé vie pure	31/01/2016	30/01/2017	031C
Bouira /10	Djurdjura	10/03/2016	09/03/2017	070
Béjaïa /6	Ovital	11/02/2016	10/02/2017	75
Guelma/24	Besbassa	24/02/2016	23/02/2017	C02
Setif /19	Arwa	05/03/2016	05/03/2017	065

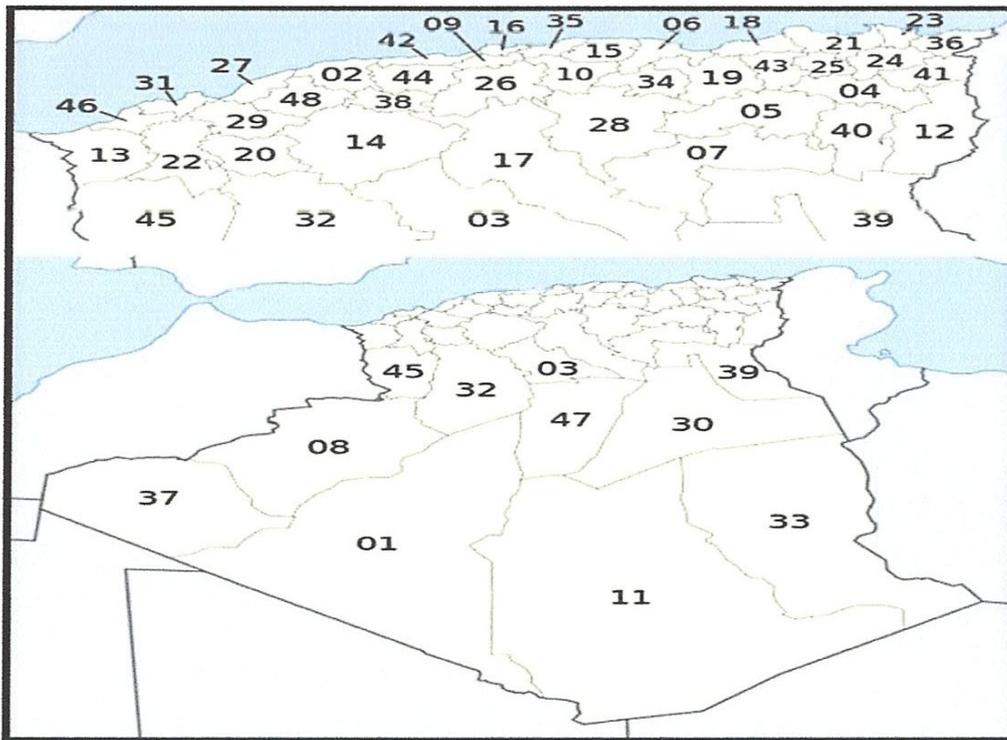


Fig. III.1 : Localisations des zones de conservation des eaux embouteillées analysées[23]

III.3 Méthodes d'analyse :

Dans cette partie, nous présentons les modes opératoires ainsi que les méthodes de calcul des différents paramètres mesurés au laboratoire.

III.3.1 Paramètres physiques :

III.3.1.1 Température et conductivité :

a) Appareillage :

La mesure de la température se fait au même temps avec la conductivité par un conductimètre Ohaus 3100.



Fig. III.2 : Conductimètre Ohaus 3100

b) Lecture :

- Etalonnage du conductimètre à l'aide d'une solution de KCl de $1413 \mu\text{s}/\text{cm}$;
- Rinçage de l'électrode avec l'eau distillée ;
- Chauffage l'eau à analyser à $25 \text{ }^\circ\text{C}$;
- Introduction de l'électrode dans le bécher qui contient l'échantillon d'eau ;
- Lecture après stabilisation pour la conductivité.

III.3.2 Minéralisation et les éléments minéraux majeurs de l'eau :

III.3.2.1 Dureté :

a) Principe :

On utilise un dosage complexométrique par l'EDTA (Acide Ethylène Diamine Tétracétique). Les titrages complexométriques sont des méthodes titrimétriques basées sur la formation de complexes. Ces complexes sont constitués d'un ion central et de particules (chargées ou neutres) appelées ligands ou coordinats. Les alcalino-terreux présents dans l'eau sont amenés à former un complexe du type chélate par le sel disodique de l'EDTA.[6]

b) Réactif :

- Indicateur coloré : noir Eriochrome T(N.E.T)
- Solution d'EDTA (0,2 N)

- Solution tampon : (250ml solution d'ammoniaque à 1mol/L +250 ml/L d'une solution de chlorure d'ammonium à 1 mol/L).

c) Mode opératoire :

Pour 100mL d'eau à analyser, on va ajouter 2mL de solution tampon (pH=9,5-10) et quelques grains d'indicateur coloré, puis on verse la solution d'EDTA à l'aide de la burette jusqu'au virage du violet au bleu. Ainsi, on note $V_{Dureté}$ le volume de solution d'EDTA versé.[24]

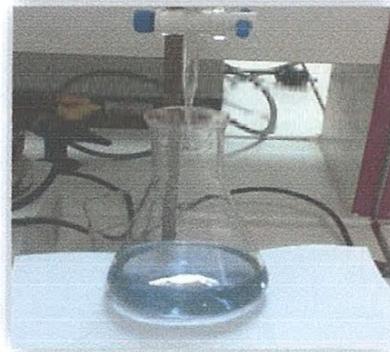
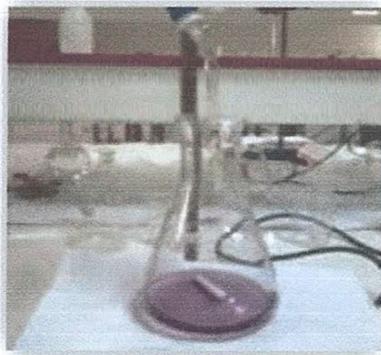


Fig. III.3 : Détermination de la dureté totale « virage de couleur du violet au bleu »

d) Expression des résultats :

$$1^{\circ}TH = 1 \times 10^{-4} \text{ mol/L } ([Ca^{2+}] + [Mg^{2+}]) \quad (\text{III.1})$$

$$\text{Dureté } (^{\circ}F) = V_{EDTA} \text{ (mL)} \quad (\text{III.2})$$

Avec : V_{EDTA} : Volume d'EDTA (volume équivalent).

III.3.2.2 Alcalinité (TA – TAC) :

On distingue deux titres qui sont le titre alcalimétrique simple (TA) et le titre alcalimétrique complet (TAC).

a) Principe :

Cette détermination est basée sur la neutralisation d'un certain volume d'eau par un acide minéral (HCl), dilué en présence d'un indicateur coloré.[24]

b) Réactifs :

- Acide chlorhydrique 0,02 N
- Indicateur coloré :
 - Solution de phénolphtaléine dans l'alcool à 0,5%, qui vire à pH 8.3 mesure le TA,

- Solution de méthylorange à 0,5 % qui vire à pH 4,5 mesure TAC

c) Mode opératoire :

- **Titre alcalimétrique simple (TA) :**

Après le prélèvement de 100mL d'eau à analyser dans un erlenmeyer, on ajoute 02 à 03 gouttes de phénolphaléine. Une coloration rose doit alors apparaître, dans le contraire le TA est nul, ce qui se produit en générale pour les eaux naturelles dont le pH < 8,3.

On verse ensuite doucement l'acide chlorhydrique à l'aide d'une burette, en agitant constamment et ceci jusqu'à décoloration complète de la solution (pH=8,3). On note VTA le volume versé.[6]

- **Titre alcalimétrique complet (TAC) :**

Après le prélèvement de 100 mL d'eau à analyser dans un erlenmeyer, on ajoute 02 gouttes de méthylorange. Puis on titre par l'acide chlorhydrique 0,02 N jusqu'au virage rouge orange (pH = 4).on note V_{TAC} le volume versé.

On retranche 0,5 mL, quantité d'acide nécessaire pour le virage de l'indicateur, qui est un peu plus faible que le pH de neutralisation exacte de l'hydrogénocarbonate.[6]

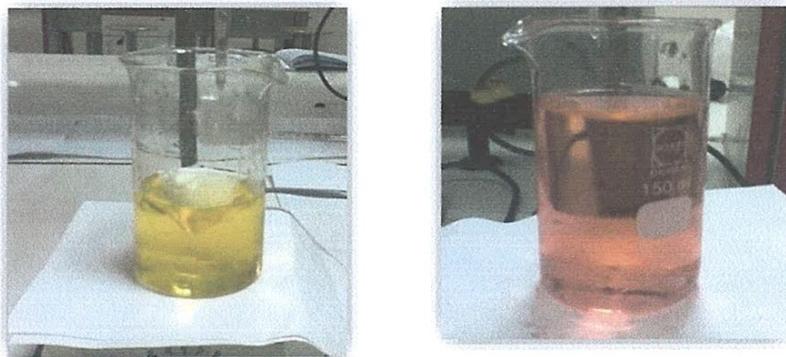


Fig. III.4 : Détermination de TAC « virage de l'indicateur coloré au rouge orange »

d) Expression des résultats :

▪ **Pour TA**

$$TA (^{\circ}F) = V_{TA} (mL)$$

(III.3)

▪ *Pour TAC*

$$\text{TAC } (^{\circ}\text{F}) = V_{\text{TAC}} \text{ (mL)} - 0,5 \quad (\text{III.4})$$

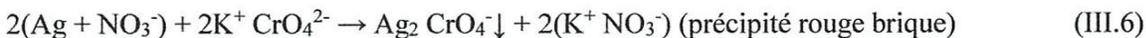
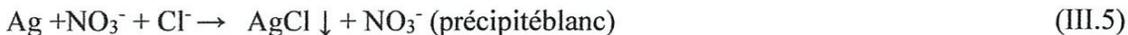
0,5 : le volume nécessaire pour le virage de couleur de l'indicateur.

III.3.2.3 Chlorures (Cl⁻) :

a) Principe :

Les ions chlorures réagissent avec les ions argent pour former un précipité blanc de chlorure d'argent. L'indicateur de fin de réaction est le chromate de potassium K₂CrO₄ qui donne avec l'excès d'ions argent, en milieu neutre, un précipité rouge brique de chromate d'argent. On peut considérer avec une très bonne précision, que le précipité de chromate d'argent commence à apparaître uniquement lorsque les ions chlorure ont réagi.[6]

Les réactions mises en jeu dans ce dosage sont :



b) Réactifs :

- Solution de chromate de potassium à 10 %
- Solution de nitrate d'argent 0,1 N

c) Mode opératoire :

On suit les étapes ci-dessous :

- On introduit un volume de 25mL d'eau à analyser dans un erlenmeyer
- On ajoute 02 à 03 gouttes de solution de chromate de potassium K₂CrO₄
- On titre à l'aide de la solution de nitrate d'argent (0,1N) jusqu'à apparition d'une teinte rougeâtre, qui doit persister 1 à 3 minutes.[24]

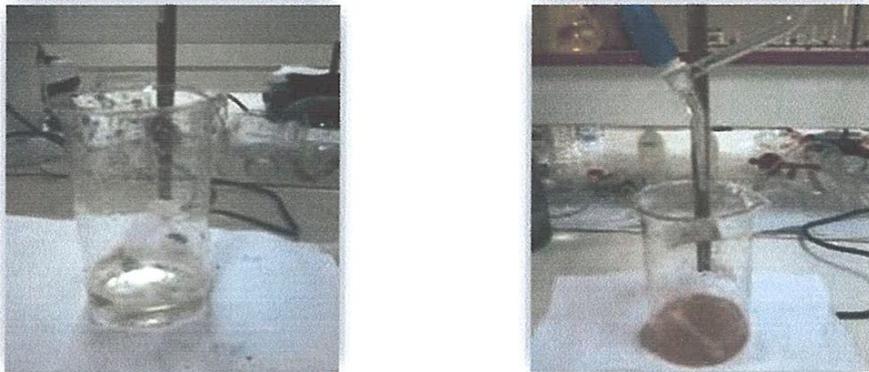


Fig. III.5 : Détermination des chlorures « virage de couleur au rougeâtre »

d) Expression des résultats :

$$\text{Teneur en chlorures (Cl}^{-}\text{) (mg / L) = } V_{\text{AgNO}_3} \times N_{\text{AgNO}_3} \times (M_{\text{Cl}} / \text{PE}) \quad (\text{III.7})$$

Alors,

$$\text{Teneur en chlorures (Cl}^{-}\text{) (mg / L) = } V_{\text{AgNO}_3} \text{ titre} \times 142 \quad (\text{III.8})$$

- V_{AgNO_3} : Volume de la solution des nitrates d'argent
- N_{AgNO_3} : Normalité de la solution des nitrates d'argent (0,1N)
- M_{Cl} : Masse molaire du chlore (35,5 g/mol)
- PE : Prise d'essai (volume en litre de l'échantillon nécessaire pour ce dosage (0,02L))

III.3.3 Cations alcalinoterreux :

III.3.3.1 Ions calcium (Ca^{2+}) :

a) Principe :

Le principe est identique à celui de la méthode complexométrique directe pour la dureté totale. Comme le dosage se fait à un pH=12, le magnésium est précipité sous forme d'hydroxyde et n'intervient pas. Par ailleurs, l'indicateur choisi ne se combine qu'avec le calcium.[25]

b) Réactifs :

- Solution d'EDTA 0,001 M
- Solution de NaOH 1 N
- Indicateur coloré : Murexide.

c) Mode opératoire :

Dans un bécher, introduire 10 mL d'eau à analyser, 2 mL de soude et quelques grains de murexide. Procéder au dosage par la solution d'EDTA placée dans la burette. L'indicateur coloré vire du rose au violet.[26]

d) Expression des résultats :

$$\text{Ca}^{2+} (\text{mg/L}) = V_{\text{EDTA1}} \times C_{\text{EDTA}} \times M_{\text{Ca}^{2+}} / \text{PE} \quad (\text{III.9})$$

Avec : V_{EDTA1} : volume d'EDTA (volume équivalent) ;

C_{EDTA} : Concentration d'EDTA (0,001 M) ;

$M_{\text{Ca}^{2+}}$: Masse molaire du calcium = 40 g/mol ;

PE : Prise d'échantillon (0,01 L).

Il en résulte:

$$\text{Ca}^{2+} (\text{mg/L}) = V_{\text{EDTA1}} \times 4 \quad (\text{III.10})$$

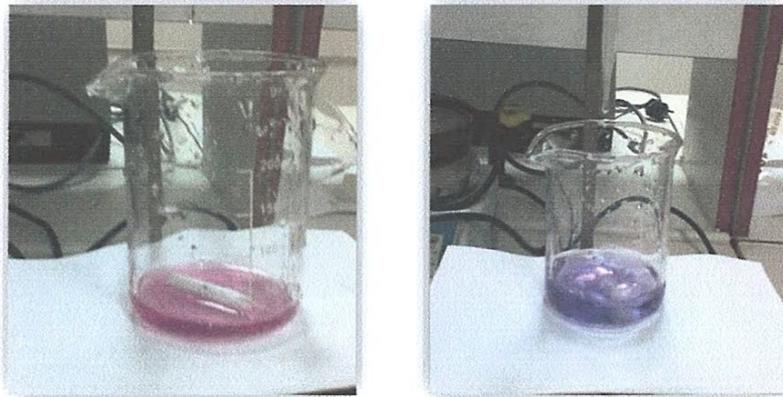


Fig. III.6 : Détermination du calcium « virage de couleur du rose au violet »

III.3.3.2 Ions magnésium (Mg^{2+}) :

La dureté magnésienne de l'eau analysée est la différence entre la dureté totale et la dureté calcique.

$$\text{Mg}^{2+} (\text{mg/L}) = (V_{\text{EDTA}} - V_{\text{EDTA1}}) \times C_{\text{EDTA}} \times M_{\text{Mg}^{2+}} / \text{PE} \quad (\text{III.11})$$

Avec : $M_{\text{Mg}^{2+}}$: Masse molaire de Mg^{2+} = 24,3 g/mol ;

Alors,

$$\text{Mg}^{2+} \text{ (mg/L)} = (\text{V}_{\text{EDTA}} - \text{V}_{\text{EDTA1}}) \times 2,43 \quad (\text{III.12})$$

III.3.3.3 Cations alcalins (ion de sodium Na^+ et potassium K^+) :

a) Principe :

La photométrie à flamme repose sur le fait que les composés des métaux alcalins et alcalo-terreux peuvent être dissociés thermiquement dans une flamme et que la plupart des atomes produits sont excités à un haut niveau d'énergie. Lorsque ces atomes retournent à l'état initial, ils émettent des radiations dans le spectre visible. Chaque atome émet une radiation à une longueur d'onde spécifique de cet élément.[6]

b) Matériel :

L'appareil utilisé est un photomètre à flamme d'émission de marque PFP7 à lecture digitale directe.



Fig. III.7 : Photomètre à flamme de marque PFP7 [27]

c) Réactifs :

▪ Solution étalon chlorure de sodium

0,36 g de chlorure de sodium NaCl de qualité analytique a été pesé, puis dissout avec l'eau distillée dans une fiole jaugée de 500 mL.

▪ Solution étalon chlorure de potassium

Nous avons opéré de la même façon que pour le sodium en utilisant 0,477 g de chlorure de potassium KCl au lieu de NaCl .

d) Mode opératoire :▪ *Les instructions du constructeur ont été suivies pour la mise en œuvre de l'appareil :*

Le détail des opérations de démarrage (débits de gaz et conditions de flamme), la stabilisation de l'appareillage, les conditions de mesure, de rinçage (système aspiration /nébulisation) et arrêt.

▪ *Le dosage des éléments Na^+ et K^+ se fait comme suit :*

- La sélection de la longueur d'onde propre à l'élément (589 nm pour le sodium et 766 nm pour le potassium).
- Ajustement de la largeur de fente et de la gamme de sensibilité.
- Réglage des pressions et des débits des gaz.
- Mesure les intensités d'émission en aspirant les différents étalons suivis des échantillons.[6]

Remarque :

Si l'échantillon contient des matières en suspension, un filtrage est nécessaire pour éviter l'encrassement capillaire du brûleur.

Pour le stockage des solutions :

- On évite la lumière
- Les solutions sont gardées à une température de 25°C
- Les flacons en verre sont à éviter

e) Etablissement des courbes d'étalonnage :▪ *Elément Sodium :***Tableau III.3 : Préparation des solutions étalons pour le dosage du sodium**

Numéro des fioles	T	I	II	III	IV	V
Solution étalon de Na^+ à 500mg/L	0	2	4	6	8	12
Eau distillée (mL) q.s.p	100	100	100	100	100	100
Correspondance en (mg/L) de Na^+	0	10	20	30	40	60

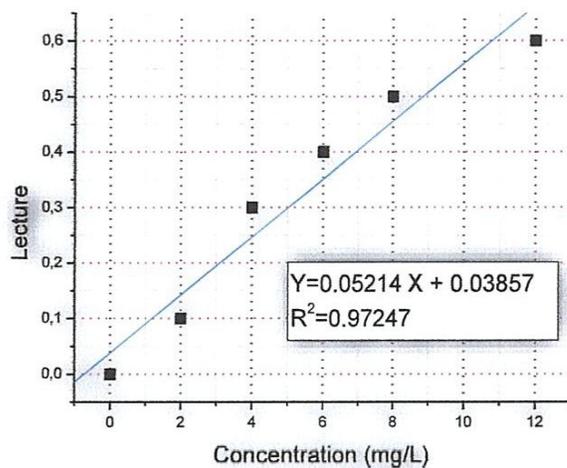


Fig. III.8 : Courbe d'étalonnage de l'élément sodium

▪ *Elément potassium :*

Tableau III.4 : Préparation des solutions étalons pour le dosage du potassium

Numéro des fioles	T	I	II	III	IV
Solution étalon de K^+ à 500mg/L	0	1	2	3	4
Eau distillée (mL) q.s.p	100	100	100	100	100
Correspondance en (mg/L) de K^+	0	5	10	15	20

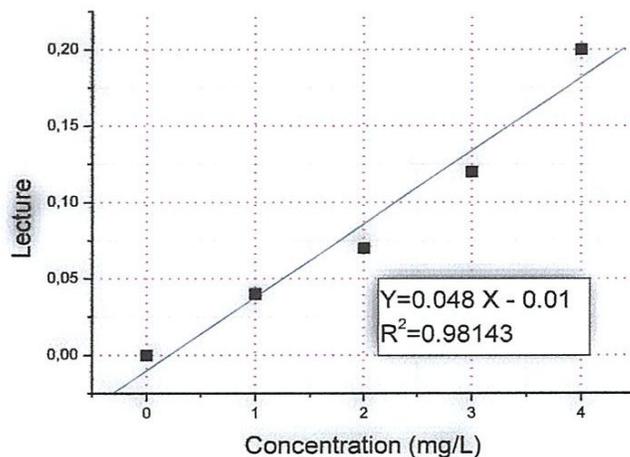


Fig. III.9 : Courbe d'étalonnage de l'élément potassium

f) Expression des résultats :

La courbe donne directement les teneurs de sodium et de potassium exprimée en milligramme de chaque ion Na et K par litre d'eau.

III.4. Métaux lourds :

Dans notre étude trois métaux ont été étudiées en l'occurrence : le Cuivre (Cu), le Zinc (Zn), et le Chrome (Cr). La méthode d'analyse utilisée pour le dosage de ces espèces métalliques est la spectrométrie d'absorption atomique.

a) Principe :

Lors du procédé d'absorption atomique une énergie fournie à l'atome provient d'une source lumineuse appelée lampe à cathode creuse. L'atome dans son état de base absorbe l'énergie lumineuse à une longueur d'onde spécifique et passe à un état d'excitation. Un détecteur mesure la quantité de lumière absorbée et un signal électronique est produit en fonction de l'intensité lumineuse. Ce signal est traité et la quantité d'analyte dans l'échantillon est déterminée en fonction de l'absorbance mesurée. Le contact entre les atomes et la source lumineuse est assuré par la cellule d'absorption. La cellule d'absorption est en fait une flamme générée par la combustion d'un mélange air/acétylène (2500°C) ou un mélange protoxyde d'azote/acétylène (3100°C) pour les éléments réfractaires.

L'échantillon à analyser est aspiré par l'appareil et transformé en aérosol. La flamme atomise ensuite les éléments contenus dans l'aérosol qui passent à travers le faisceau de la lampe à cathode creuse.

La lampe à cathode creuse émet le spectre lumineux spécifique à l'élément analysé. La cathode et l'anode de la lampe sont composées uniquement de l'élément dont le spectre lumineux doit être produit. Un potentiel électrique est appliqué entre l'anode et la cathode, ce qui a pour effet d'ioniser le gaz contenu dans la lampe. Les ions de gaz vont ensuite entrer en collision avec la cathode, ce qui déloge les atomes métalliques. Ces atomes vont aussi entrer en collision avec les ions de gaz ce qui les fait passer à un état d'excitation. Ils retournent aussitôt à leur état de base ce qui produit l'énergie lumineuse désirée.[28]

b) Matériel :

- Le dosage a été réalisé à l'aide d'un spectrophotomètre d'absorption atomique AAnalyst 400 de Perkin Elmer.

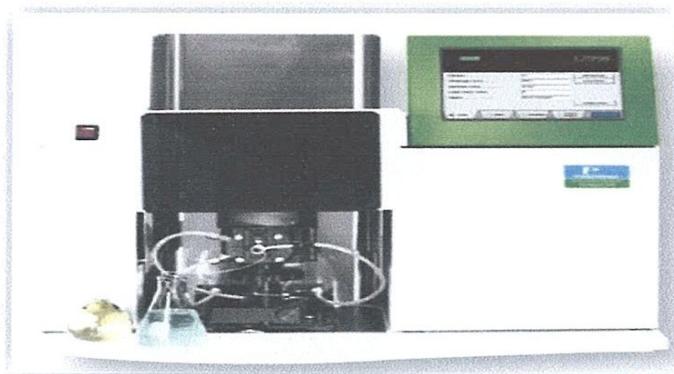


Fig. III.10 : Spectrophotomètre d'absorption atomique AAnalyst 400 de Perkin Elmer [28]

c) Réactif :

- Acide nitrique concentré HNO_3 (65%)
- Solution standard commercial à 1000 mg/L de chaque élément à doser.

d) Préparation des solutions :

- On prépare environ 200 mL de 1 % HNO_3 pour l'utiliser comme solution de référence "blanc".
- Pour chaque élément à doser on prépare une gamme d'étalons (standard) à différentes concentrations. Pour cela, on prépare environ 200 à 250 mL de chacun des 4 standards à 1 % HNO_3 de l'élément qu'on veut déterminer.

e) Etablissement des courbes d'étalonnage :

Le tableau III.6 regroupe les conditions opératoires du spectrophotomètre d'absorption atomique pour chaque élément.

La séquence d'aspiration pour l'étalonnage linéaire est comme suit :

- On ajuste le carburant et le débit d'oxydant pour obtenir le type de flamme donnée dans les conditions recommandées ;
- Le blanc est aspiré puis les standard.[6]

Tableau III.5 Les conditions opératoires du spectrophotomètre pour chaque élément.

Elément	Longueur d'onde λ (nm)	Flamme recommandée	Solution standard (mg/L)				Coefficient de corrélation
			I	II	III	IV	
Chrome	357,9	Air Acétylène	1	2	4	—	0,99054
Cuivre	324,8	Air Acétylène	1	2	4	5	0,998966
Zinc	213,9	Air Acétylène	0,25	0,5	0,7	1	0,999694

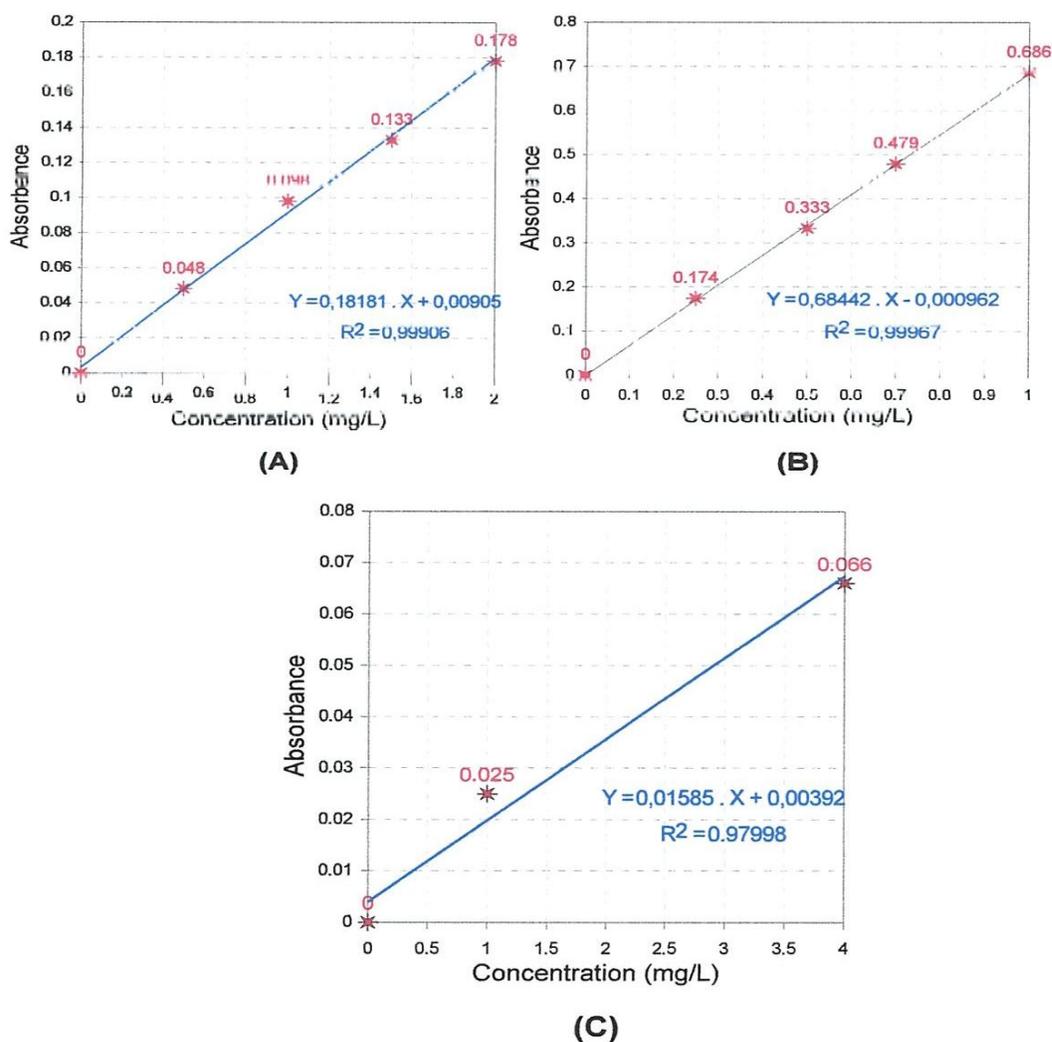


Fig. III.11 Courbes d'étalonnage des différents éléments, (A): Cu, (B): Zn, (C): Cr

f) Mode opératoire :▪ *Analyse des échantillons :*

Pour effectuer l'analyse des échantillons, nous avons procédé comme suit :

- Analyse de la solution référence 1 % HNO₃"blanc" ;
- Analyse des solutions standards successivement, l'appareil trace la courbe d'étalonnage et établit le coefficient de corrélation R² ;
- Les échantillons ont été analysés de manière successive et au besoin, nous avons lavé le conduit d'aspiration de l'appareil à l'eau distillée ou à l'acide nitrique à 1 % entre deux échantillons.
- Chaque lecture d'absorbance correspond à une concentration qui est calculée en se référant à l'équation de la courbe d'étalonnage.[6]

g) Expression des résultats :

L'appareil affiche les résultats en mg/L du métal dosé.

III.5 Conclusion :

Dans ce chapitre et d'après les analyses qui ont été faites au niveau du laboratoire, nous avons vu les différents protocoles et techniques expérimentales d'analyse de quelques paramètres qui déterminent la qualité de l'eau embouteillée.

Ce chapitre nous a permis, surtout, de nous familiariser avec l'établissement des courbes d'étalonnage et de l'utilisation des différents appareillages de laboratoire pour déterminer les différents paramètres physiques, chimiques.

CHAPITRE IV
RESULTATS ET DISCUSSIONS

IV.1 Introduction :

Le but envisagé dans cette partie est la caractérisation et la classification des eaux embouteillées commercialisées en Algérie en se basant sur les compositions physicochimiques indiquées dans les étiquettes commerciales conformément aux analyses effectuées par des laboratoires agréés. Cette étude est basée sur des techniques graphiques et statistiques multivariées. Certains paramètres ont été analysés et comparés avec ceux affichés sur les étiquettes des eaux embouteillées.

IV.2 Eaux embouteillées concernées par ce travail :

Pour rappel, 18 échantillons d'eaux sont concernés par ce travail. Les eaux embouteillées des différentes régions algériennes seront dénommées selon le tableau (IV.1)

Tableau IV.1 : Dénomination des eaux embouteillées concernées par ce travail

Type d'eaux embouteillées	Marque	dénomination
Eaux minérales	Guedila	1
	Lallakhedidja	2
	Aïn souda	3
	Bouglez	4
	Ifri	5
	Saida	6
	Thevest	7
	Youkous	8
	Mouzaïa	9
	Batna	10
Eaux de sources	Milza	11
	Nestlé vie pure	12
	Djurdjura	13
	Ovital	14
	Besbassa	15
	Arwa	16
Eaux minérales gazeuses	Mouzaïa	17
	Ifri	18

IV.3 Résultats et discussion :

IV.3.1 Caractérisation des eaux embouteillées :

Le tableau ci-dessous regroupe les données affichées sur les étiquettes des bouteilles d'eau concernées par cette étude. On remarque que toutes les valeurs affichées sont dans les normes en vigueur concernant les eaux de boisson.

Tableau IV.2 : Paramètres affichés sur les étiquettes des bouteilles d'eau

		En mg/L										
marque	pH	Résidu sec	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	
Eaux minérales	1	7,35	564	78	37	29	2	--	40	95	4,5	<0,01
	2	7,22	187	53	7	5,5	0,54	--	11	7	0,42	0
	3	7,85	266	78,80	16,5	19,6	3,2	224,3	23	26,43	9,68	0
	4	6,87	140	4,6	3,75	29	1	48,8	30	10	9	0,06
	5	7,2	380	99	24	15,8	2,1	265	72	68	15	<0,02
	6	7,5	478	68	50	58	02	376	81	65	15	0
	7	7,77	588	89,95	34,05	47,25	0,99	231,8	65	188	2,35	<0,01
	8	7,4	285	77,40	14,50	13,40	4,65	218	25,7	35,8	2	0
	9	6,5-7,3	1280	136	75	145	3	671	150	85	<20>	<0,02>
	10	6,9	650	59	45	15	2	378,2	22	40	0	0
Eaux de sources	11	7,33	680	111	34	29	1	311	10	190	3,2	<0,01
	12	7,6	300	57,9	16,3	12	0,5	210	15	31	8	0
	13	7,20	551	74	28	52	02	271	82	50	19,80	<0,01
	14	6,92	420	91	14	30	1	214	50	86	<15	0
	15	7,29	206	54,16	2,64	5	2	164,70	10	4	9	<0,01
	16	7,33	450	120	23	56	1	256	100	104	46,5	<0,01
Eaux minérales gazeuses	17	6,57	562	136	75	145	1	0	150	85	<8>	0
	18	5,38	380	99	24	15,8	2,1	265	72	68	15	<0,02
Norme Algérienne		6,5-9	2000	200	150	200	12	--	500	400	50	0,2
		6,5-9,5	--	--	--	200	--	--	250	500	50	0,2
Norme OMS												

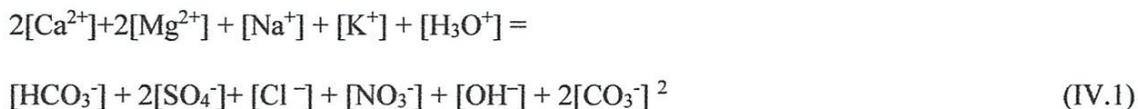
IV.3.2 Définition de la balance ionique :

Toutes les eaux continentales contiennent naturellement des ions, en quantité plus ou moins importante. Ces ions se divisent en cations, à charge positive, et en anions qui sont chargés négativement. Dans les cations et anions identifiés dans les eaux, il y a ceux qu'on qualifie de majeurs, parce que presque toujours présents, comme le calcium (Ca^{2+}) ou les bicarbonates (HCO_3^-), et les mineurs, présents évidemment en faible quantité et souvent le reflet d'eaux particulières ou polluées.

Les cations majeurs comprennent donc le calcium (Ca^{2+}), le magnésium (Mg^{2+}), le sodium (Na^+) et le potassium (K^+). Dans les anions majeurs, on compte les bicarbonates (HCO_3^-), les chlorures (Cl^-) et les sulfates (SO_4^{2-}).

On peut comparer quantitativement les cations et les anions, majeurs et mineurs, présents dans l'eau, et voir, par un bilan ionique, si la somme des uns correspond à celle des autres. Cette balance ionique, effectuée en utilisant une unité commune, l'équivalent par litre (éq/l), permet de vérifier si l'analyse a été bien faite. Dans le cas d'une trop grande différence entre cations et anions, il faut revoir les calculs et/ou les mesures, car une espèce a peut-être été mal estimée ou oubliée.

La relation (IV.1) fait apparaître les concentrations de tous les cations ainsi que les concentrations de tous les anions qui pèsent dans la balance ionique. Selon la forme de la relation, l'unité de concentration est soit le milliéquivalent par litre (meq/l) ou le degré français, soit la milli-mole par litre (mM. l^{-1}). [24]



Il est à noter que la somme des cations ou des anions est égale au dixième de la conductivité exprimée en $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Tableau IV.3 : Valeurs mesurées la balance ionique des cations et anions présents dans les eaux embouteillées

	marque	Cations (mg/l)				Anions (mg/l)					Σ cations	Σ anions
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻		
Eaux minérales	1	78	37	29	2	--	40	95	4,5	0,01	261	234,5
	2	53	7	5,5	0,54	F-0,26	11	7	0,42	0	126,04	25,68
	3	78,80	16,5	19,6	3,2	224,3	23	26,43	9,68	--	213,4	309,84
	4	4,6	3,75	29	1	48,8	30	10	9	0,06	263,9	488
	5	99	24	15,8	2,1	265	72	68	15	0,02	296	602
	6	68	50	58	02	376	81	65	15	--	296,24	675,15
	7	89,95	34,05	47,25	0,99	231,8	65	188	2,35	0,01	201,85	317,3
	8	77,4	14,50	13,40	4,65	218	25,70	35,80	2		570	1011
	9	136	75	145	3	671	150	85	20	0,02	225	480,2
	10	59	45	15	2	378,2	22	40	0	0	46,7	107,8
Eaux de sources	11	111	34	29	1	311	10	190	3,2	0,01	320	704,2
	12	57,9	16,3	12	0,5	210	15	31	8	--	160,9	295
	13	74	28	52	02	271	82	50	19,80	0,01	258	472,8
	14	91	14	30	1	214	50	86	15	0	241	451
	15	54,16	2,64	5	2	164,70	10	4	9	0,01	120,6	191,7
	16	120	23	56	1	256	100	104	46,5	0,01	343	610,5
Eaux minérales	17	136	75	145	1	0	150	85	8	0	568	328
	18	99	24	15,8	2,1	265	72	68	15	0,02	263,9	488

D'après ce tableau, on peut dire que la balance ionique n'est pas toujours vérifiée. Dans tous les cas il manque la valeur des carbonates parfois même celle des bicarbonates.

Néanmoins, les eaux naturelles ne contiennent généralement pas de carbonate ou d'hydroxyde et d'autres part, d'autres ions, le plus souvent à l'état de traces mais parfois non négligeables, peuvent être combinés aux éléments ci-dessus, tel que :

- le baryum (Ba^{++}) et le strontium (Sr^{++}) sont des métaux alcalino-terreux (voir la note importante ci-dessous) et font donc partie de la dureté;
- pour le calcul d'une installation à l'aide d'un logiciel d'échange d'ions, on ajoute souvent le fer divalent (Fe^{++}), le nickel (Ni^{++}) et le cuivre (Cu^{++}) à la dureté;
- l'ammonium (NH_4^+) et le potassium (K^+) sont traités comme le sodium;
- le lithium (Li^+) réagit aussi comme le sodium (Na^+);
- le phosphate (PO_4^{3-}) appartient au groupe SAF;
- le fluorure (F^-), le bromure (Br^-) et l'iodure (I^-) sont des halogènes et se comportent comme le chlorure.

Ce qui pourrait expliquer les valeurs erronées de la balance ionique.

IV.3.3 Analyse des éléments chimiques majeurs :

L'analyse des éléments chimiques majeurs montre une signature géochimique sans grande différence entre les eaux embouteillées : le tableau (IV.4) donne les paramètres statistiques descriptifs de position (la moyenne) et de dispersion (l'écart-type, minimum (Min.) et maximum (max.)) des cations et anions.

Sachant que :

- La moyenne : $\mu = \sum X/N$ (IV.2)
- L'écart type : $\delta = [\sum(X - \mu)^2 / N]^{1/2}$ (IV.3)
- Les paramètres physico-chimiques présentent des dispersions différentes, le maximum de dispersion est enregistré pour le résidu sec dans le cas des deux eaux; minérales et de sources. Ces grandes dispersions des valeurs dévoilent les différences minéralogiques des différents sites aquifères de ces dernières.
- Le faciès géochimique dominant est, pour les cations $Ca^{2+} > Na^+ > Mg^{2+}$ et K^+ . Pour les anions il est dans l'ordre suivant $HCO_3^- > SO_4^{2-} > Cl^-$. Ces valeurs sont en accord avec les résultats de l'article en référence [30]
- Cependant, à titre individuel, cette tendance n'est pas suivie dans 70 % des cas pour les eaux minérales et à 33,33 % pour les eaux de sources pour les cations. Dans tous les cas le magnésium se trouve en deuxième position et le sodium en troisième position.
- Dans le cas des anions, les sulfates et chlorures ont des positions inversées par rapport à celles de la moyenne dans 44,44 % des cas.

Tableau IV.4: Statistique descriptive des éléments chimiques des eaux embouteillées

	Moyenne	Minimum	Maximum	Ecart type	
Eaux minérales gazeuses et non gazeuses	pH	7,109	5,38	7,85	0,625
	Résidu sec [mg/l]	480 :5-500	140	1280	322,234
	Ca ²⁺ [mg/l]	81,563	4,6	136 <150	33,859
	Mg ²⁺ [mg/l]	33,817	3,75	75	22,873
	Na ⁺ [mg/l]	44,863	5,5	145 <200	46,989
	K ⁺ [mg/l]	2,0483	0,54	4,65	1,103
	HCO ₃ ⁻ [mg/l]	223,175	0	378,2	189,609
	Cl ⁻ [mg/l]	61,808	11	150 <200	45,282
	SO ₄ ²⁻ [mg/l]	64,436	7	188 <200	46,724
	NO ₃ ⁻ [mg/l]	8,4125	0	20	6,388
NO ₂ ⁻ [mg/l]	0,0117	0	0.06	0,0166	
Eaux de sources	pH	7,278	6,29	7,6	0,201
	Résidu sec [mg/l]	434,5	206	680	155,239
	Ca ²⁺ [mg/l]	84,677	54,16	120 <150	24,976
	Mg ²⁺ [mg/l]	19,657	2,64	34	10,159
	Na ⁺ [mg/l]	30,667	5	56 <200	18,741
	K ⁺ [mg/l]	1,25	0,5	2	0,559
	HCO ₃ ⁻ [mg/l]	237,783	164,70	311	47,389
	Cl ⁻ [mg/l]	44,5	10	100 <200	35,980
	SO ₄ ²⁻ [mg/l]	77,5	4	190 <200	60,210
	NO ₃ ⁻ [mg/l]	16,917	3,2	46,5	14,244
NO ₂ ⁻ [mg/l]	0,01	0	<0,01	0,00577	

▪ Les sulfates

Les concentrations en sulfates dans les eaux minérales sont comprises entre 7 et 188 mg/L, alors qu'elles oscillent entre 4 et 190 mg/L dans le cas des eaux de source leur présence peut avoir plusieurs origines :

1. L'oxydation des minéraux riches en soufre ; les teneurs mesurées sont alors de quelques mg/L à quelques dizaines de mg/L ;
2. Le lessivage de formations évaporitiques ; les teneurs sont alors de l'ordre de la centaine ou du millier de mg/L.

Les différentes eaux de source embouteillées sont considérées non sulfatées (SO₄ < 200 mg/l). Les différentes teneurs en sulfates sont conformes à la norme de potabilité algérienne. [31]

▪ Les chlorures

Les concentrations en sulfates dans les eaux minérales sont comprises entre 11 et 150 mg/L, alors qu'elles oscillent entre 10 et 100 mg/L dans le cas des eaux de source leur présence peut avoir plusieurs origines, en particulier les interactions eau-roches ignées.[32]

Les eaux de source embouteillées sont considérées non chlorurées ($Cl < 200$ mg/l). L'eau de source présentant les plus fortes teneurs en chlorures est l'eau minérale Mouzaïa dans sa version gazeuse et non gazeuse.

▪ Les Bicarbonates :

Les concentrations en bicarbonates dans les eaux minérales sont comprises entre 3,75 et 378,2 mg/L, alors qu'elles oscillent entre 164,70 et 311 mg/L dans le cas des eaux de source. Leur présence peut avoir plusieurs origines, ces eaux sont considérées non bicarbonatées ($HCO_3^- < 600$ mg/l). La dissolution des minéraux carbonatés et l'action du CO_2 des eaux météoriques et du sol sont, d'une manière générale, à l'origine des bicarbonates.[32]

▪ Le calcium :

Les concentrations en calcium dans les eaux minérales sont comprises entre 4,6 et 136 mg/L, alors qu'elles occupent un intervalle qui s'étend de 54,16 à 120 mg/L dans le cas des eaux de source. Ces eaux sont considérées non calciques ($Ca < 150$ mg/l), le calcium dans les eaux est présent principalement dans les roches carbonatées mais se rencontre également dans certains minéraux des roches ignées. [32]

▪ Le magnésium :

Les concentrations en sulfates dans les eaux minérales sont comprises entre 3,75 et 75 mg/L, alors qu'elles oscillent entre 2,64 et 34 mg/L dans le cas des eaux de source. La dissolution des roches carbonatées et des minéraux magnésiens et l'échange cationique sont à l'origine la plus probable du magnésium dans les eaux de source. [32]

▪ Le 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 de source et les eaux minérales sont considérées non sodiques ($Na < 200$ mg/l). Plus particulièrement, les concentrations en sodium dans les eaux minérales sont comprises entre 5,5 et 145 mg/L, alors qu'elles oscillent entre 5 et 56 mg/L dans le cas des eaux de source

Le Potassium :

Le Potassium est un élément principalement rencontré dans les roches ignées et les argiles. Les concentrations en potassium observées dans les eaux de source sont comprises entre 0,5 et 2 mg/L et entre 0,54 et 4,65 mg/L dans les eaux minérales.

Les Nitrates et les nitrites :

Les teneurs en nitrates varient de 0 mg/l jusqu'à 20 mg/l et celles des nitrites (égale à 0,07mg/l), pour les eaux minérales. Par contre, les teneurs en nitrates variant de 3,2 mg/l jusqu'à 46,5 mg/l et de très faibles teneurs en nitrites (le maximum est inférieure à 0,01mg/l). Les concentrations de ces composées azotées (nitrates et nitrites) sont conformes à la norme de potabilité algérienne. [31]

Le pH :

La moyenne du pH dans les eaux minérales est de 7,109 alors que dans les eaux de sources elle est de 7,278. Donc, on peut qualifier ces eaux sont légèrement basiques.

Résidu sec :

La moyenne du résidu sec dans les eaux minérales est de 480 mg/l, alors que dans les eaux de sources elle est de 434,5 mg/L. Ces valeurs sont entre 50 et 500 mg /L donc ces eaux sont faiblement minéralisées conformément à la norme algérienne.

IV.4 Rapports caractéristiques :**IV.4.1 Méthodes d'analyses graphique et empirique :**

L'étude du chimisme des eaux de source a pour but d'identifier les facies des eaux et l'origine des principaux éléments chimiques ; il se réalise par l'exploitation des rapports caractéristiques et qui sont considérés comme des indicateurs de la qualité de l'eau.

Le rapport Na^+/K^+ :

Le rapport Na^+/K^+ est de l'ordre de 28 pour l'eau de mer [33] et il est généralement inférieur à 10 pour l'eau de pluie. La valeur pour ce rapport que nous avons considéré est égal à 2.

Ces deux rapports partage les eaux en deux groupes; le premier comprend en majorité des eaux minérales et l'eau de robinet distribuée dans la wilaya de Guelma. Ces dernières ont des valeurs du rapport Na^+/K^+ qui se présente une qualité intermédiaire entre l'eau de pluie et l'eau de mer. Le deuxième groupe comprend une variété d'eaux de sources et minérales dont le rapport est supérieur à celui de l'eau de mer. L'eau minérale Mouzaïa et la même eau minérale gazéifiée

présentent un rapport très en deçà de celui de l'eau de mer. En effet la quantité de sodium dans ces eaux-là est très grande en même temps qu'une petite teneur en potassium.

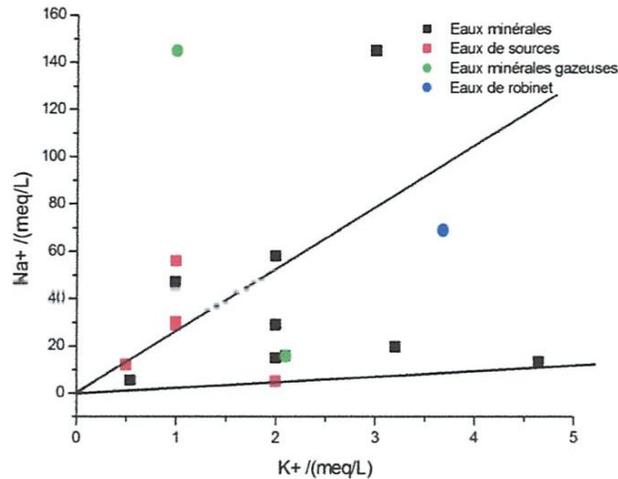


Fig. IV.1: Teneur en sodium par rapport au potassium

▪ $(\text{SO}_4^{2-} + \text{HCO}_3^-) / (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$:

La représentation graphique de $(\text{SO}_4^{2-} + \text{HCO}_3^-)$ en fonction de $(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$ (fig. IV.2) montre que les points sont répartis de part et d'autre de la droite de pente 1. Ceci suggère que les principaux phénomènes géochimiques intervenant, en générale, dans l'acquisition de la charge saline sont liés à l'interaction eau-roche (dissolution et précipitation des minéraux ; calcite (CaCO_3), dolomite ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$), anhydrite (CaSO_4), gypse ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), et échange de base avec les minéraux argileux).

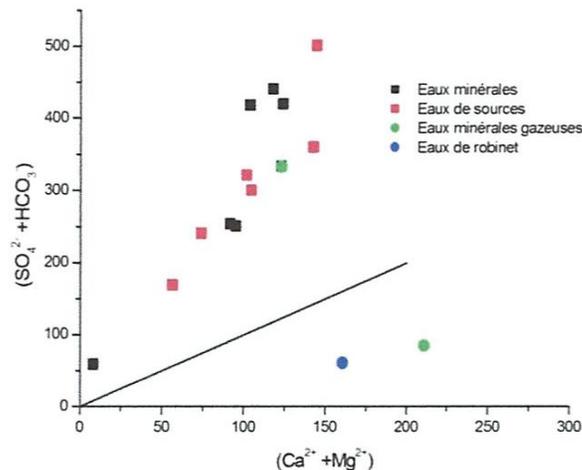


Fig. IV.2 : Teneur en $(\text{SO}_4^{2-} + \text{HCO}_3^-)$ Vs de $(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$

▪ $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$:

Toutes les eaux de source présentent un rapport $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ supérieure à 1 (fig. IV.3), ce qui signifie que le calcium l'emporte sur le magnésium. A priori, l'origine évaporitique du magnésium est faible et le calcium provient de la dissolution de la Calcite (CaCO_3) et du gypse (CaSO_4) comme le confirme le rapport $\text{Ca}^{2+}/\text{SO}_4^{2-}$ (fig. IV.3). Dans cette figure, les points sont disposés au-dessus de la droite de dissolution du gypse (droite de pente 1).

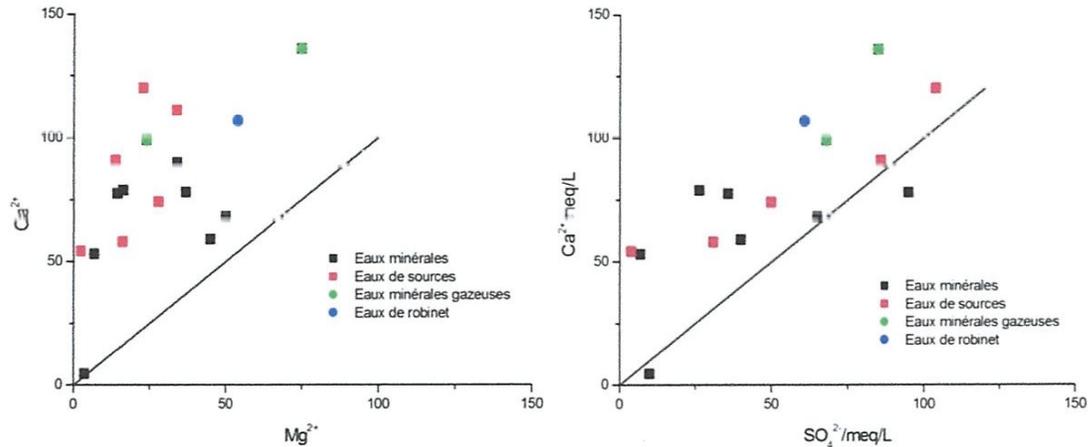


Fig. IV.3: Rapport de la teneur en calcium à celle du magnésium; à gauche est calcium au sulfates ; à droite

▪ $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}/\text{HCO}_3^-$:

Le rapport $(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})/\text{HCO}_3^-$ montre un déficit de $(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$. (figure ci-dessous) tous les points se situent au-dessus de la droite de pente 1. Ainsi, le taux d'ions $(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$. D'origine évaporitique est d'autant plus faible qu'ils sont consommés par la précipitation de la calcite et de la dolomite ainsi que de l'adsorption du calcium et du magnésium par les argiles des ions $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$.

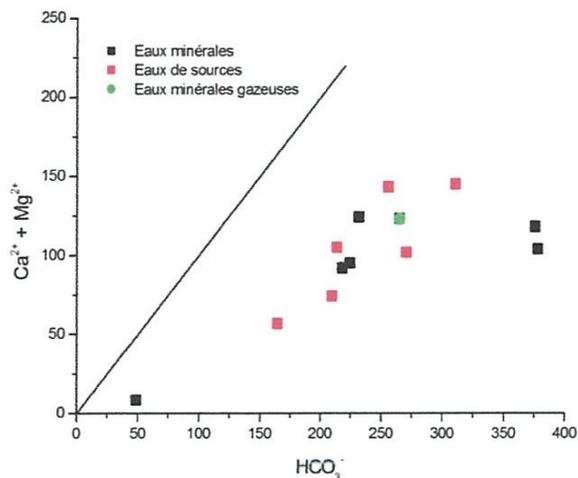


Fig. IV.4 : Teneur en $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ Vs HCO_3^-

▪ Na^+/Cl^-

La corrélation Na^+ vs Cl^- (Fig. IV.5) permet de classer les eaux de source en trois groupes distincts. Un groupe, où les points montrent des rapports Na^+/Cl^- voisins de 1, ce qui plaide en faveur d'une dissolution de l'halite (NaCl contenant à l'état de traces les éléments suivants I, Br, F, Fe, O, Si).

Les points du deuxième groupe présentent des rapports $\text{Na}^+/\text{Cl}^- > 1$, ce qui signifie un enrichissement du Na^+ .

Les points du troisième groupe présentent des rapports $\text{Na}^+/\text{Cl}^- < 1$, (C'est le cas de la plupart des eaux de sources et minérales concernées par cette étude). Ce qui plaide en faveur d'un échange de cations entre le sodium et calcium dans les calcites et dolomites, [31]

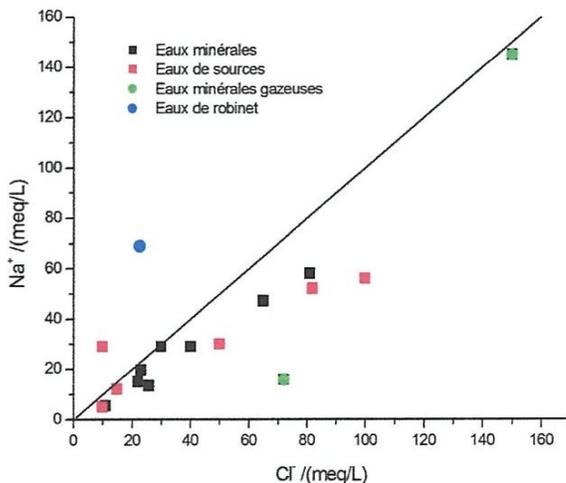


Fig. IV.5: Teneur en Na^+ Vs de Cl^-

IV.5 Comparaison entre les valeurs mesurées et les valeurs de l'étiquette :

Nous avons essayé de comparer les valeurs affichées sur l'étiquette des différentes eaux embouteillées avec le résultat de nos propres analyses effectuées au laboratoire. Le calcul de l'erreur a été fait selon l'équation suivante :

$$\text{Erreur } (\varepsilon) = ((\text{valeur mesurée} - \text{valeur étiquette})/\text{valeur étiquette}) * 100\% \quad (\text{IV.4})$$

Les résultats sont rassemblés dans les tableaux [IV.5-IV.6]

Tableau IV.5: Comparaison entre les valeurs mesurées et l'étiquetage des eaux embouteillées dans le cas des éléments Calcium, Magnésium et Chlorures.

Marque	(Ca ²⁺)			(Mg ²⁺)			(Cl ⁻)			
	(E)	(M)	ε	(E)	(M)	ε	(E)	(M)	ε	
Eaux minérales	1	78	66	15,38	37	70,47	90,46	40	56,72	41,8
	3	78,8	72,8	7,61	16,50	76,545	363,90	23	28,36	23,3
	5	99	97,2	1,82	24	43,03	79,29	72	70,9	1,53
	8	77,4	76	1,81	14,50	9,72	32,97	25,7	14,18	44,82
	4	4,6	12	160,87	3,75	21,87	483,2	30	42,54	41,8
	6	68	22	67,65	50	112,99	125,99	81	85	4,94
	10	59	46	22,03	45	64,395	43,1	22	35	59,09
Eaux minérales gazeuses	15	54,16	74,8	38,11	2,64	5,589	111,71	10	14,18	41,8
	17	136	68	50	75	121,5	62	150	141,8	5,467
	18	99	28	71,72	24	87,48	264,5	72	85,08	18,167

L'indice E est relatif à l'étiquetage alors que l'indice M est relatif aux mesures effectuées au laboratoire.

D'après ce tableau on remarque que les valeurs affichées sur les étiquettes sont très souvent assez loin des valeurs mesurées surtout dans le cas de l'élément magnésium pour lequel l'erreur a atteint près de 483 %. Cette différence peut être attribuée au manque de mise à jour des étiquettes.

L'erreur de mesure au laboratoire est à écarter, ou du moins négligeable étant donné que la moyenne des erreurs ne dépasse pas les 28 % pour les eaux Ifri et Youkous.

La comparaison entre les valeurs étiquetées et mesurées pour le sodium et potassium est représentée dans le tableau ci-dessous.

Tableau IV.6 : Comparaison entre les valeurs mesurées et l'étiquetage des eaux embouteillées dans le cas des éléments sodium et potassium.

	Marque	(Na ⁺) _E	(Na ⁺) _M	ε	(K ⁺) _E	(K ⁺) _M	ε
Eaux minérales	1	29	0,4	98,62	2	0,07	96,5
	2	5,5	0	100	0,54	0,03	94,44
	3	19,6	0,1	99,49	3,2	0,05	98,44
	4	29	0,2	99,31	1	0,04	96
	5	15,8	0,4	97,47	2,1	0,06	97,14
	6	58	0,6	98,97	2	0,07	96,5
	7	47,25	0,5	98,94	0,99	0,09	90,91
	8	13,40	0,1	99,25	4,65	0,05	98,92
	9	145	1,1	99,24	3	0,07	97,67
	10	15	0,1	99,33	2	0,07	96,5
Eaux de sources	11	29	0,4	98,62	1	0,04	96
	12	12	0,3	97,5	0,5	0,04	92
	13	52	0,6	98,85	2	0,06	97
	14	30	0,4	98,67	1	0,05	95
	15	5	0,1	98	2	0,03	98,5
	16	56	0,6	98,93	1	0,04	96
Eaux minérales gazeuses	17	145	1,1	99,24	1	0,07	93
	18	15,8	0,4	97,47	2,1	0,06	97,14

D'après ce tableau on remarque que les valeurs affichées sur les étiquettes sont assez loin des valeurs mesurées dans le cas des deux éléments (Na⁺ et K⁺) pour lesquels l'erreur est comprise entre 90,91 et 100 % pour toutes les eaux, Cette différence peut être attribuée au manque de remise à niveau des étiquettes.

Tableau IV.7 : Valeurs mesurées des différents métaux lourds présents dans les eaux embouteillées

Les eaux embouteillées	Métaux lourds (mg/L)		
	Cu	Cr	Zn
1	0	0.041	0.011
2	0	0,034	0,009
3	0	0.032	0.001
4	0	0.024	0.041
5	0	0,036	0.009
6	0	0.036	0.014
7	0	0.042	0,008
8	0	0,043	0
9	0,016	0,034	0,012
10	0	0,036	0,009
11	0	0,036	0
12	0	0.031	0.008
13	0	0,032	0,073
14	0	0.033	0,008
15	0	0.034	0.009
16	0,004	0.028	0.028
17	0	0.033	0.005
18	0	0.030	0.009
Norme Algérienne	<2	<0.05	<5
OMS	<2	<0.050	<3

D'après le tableau ci-dessus, on constate que les teneurs en chrome, cuivre et zinc sont en deçà des normes en vigueur pour la législation algérienne et l'organisation mondiale de la santé. Ce qui est en fait, une bonne nouvelle pour le consommateur des eaux embouteillées nommées dans ce tableau. L'absence d'industrie polluante en métaux lourds expliquerait ces résultats.

IV.6 Caractérisation physico-chimique des eaux embouteillées :

▪ **Les bicarbonates**

Dans le cas des eaux étudiées, Nestlé Vie Pure peut être classées comme moyennement bicarbonatées. [23]

▪ **Les sulfates :**

Par rapport aux autres constituants de base l'eau de Thevest peut être classifiée comme très légèrement sulfatée. [23]

▪ **Les chlorures :**

Trois marques (LallaKhedidja, Milza et Mouzaïa) présentent des teneurs très faibles en chlorures. [23]

▪ **Le calcium et magnésium :**

On remarque que les teneurs en calcium pour les eaux Mouzaïa, Milza, Arwa et l'eau gazeuse Mouzaïa présentent les plus grandes teneurs en calcium, alors que les eaux Mouzaïa ont les plus grandes teneurs en magnésium. Ce qui confère à ces deux eaux de très grandes qualités minérales.

▪ **Le potassium :**

L'eau minérale Bouglez affiche une teneur de potassium dépassant largement la limite autorisée. Elle doit de ce fait être consommée avec beaucoup de modération. [23]

▪ **Les nitrates et les nitrites :**

L'eau minérale Bouglez présente une grande teneur de nitrate qui dépasse les normes. [23]

▪ **Le sodium :**

De ce fait, les marques des eaux (Mouzaïa, Youkous, Batna, Mileza, Nestlé, Bouglez et Aïn Souda) conviennent aux régimes hyposodiques. Alors que les eaux qui contiennent des valeurs grandes en sodium, quant à elles, ne doivent pas être consommées par des personnes ayant des régimes à restriction en sel. [16]

▪ **Le fluor :**

L'eau minérale qui indique une teneur en fluor est LallaKhedidja. [23]

IV.7 Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons présenté en détails les différents résultats obtenus avec leurs discussions. Nous pouvons conclure que le choix d'une eau minérale, pour besoin thérapeutique, devrait être fait après consultation d'un nutritionniste. Si c'est pour des besoins de boisson quotidienne, il y a lieu de choisir l'eau la plus convenable pour toute la famille, sur la base de critères suivants :

- une eau avec un résidu situé entre 500 et 800 mg/l peut être la plus adaptée à la famille ;
- des faibles teneurs en métaux lords, en nitrates, en sulfates, et éventuellement en chlore et sodium qui sont très importants.

CONCLUSION GENERALE

Conclusion Générale

L'eau est un élément vital pour l'être humain. Il est important de l'avoir en qualité et en quantité suffisante garantissant ainsi une vie saine et sans danger à long terme. La protection de la santé et de l'environnement consiste en la sauvegarde des ressources en eau contre tout type de pollution.

Dix huit (18) échantillons d'eaux embouteillées algériennes ont été investiguées. Les eaux minérales et eaux de source étudiées sont puisées dans des environnements géologiques et hydrogéologiques très diversifiés caractérisant la géologie du pays.

Les différentes analyses ont été effectuées grâce à une collaboration active entre le laboratoire pédagogique de l'université 08 mai 1945, ainsi qu'aux laboratoires de recherche L.A.I.G.M. (Laboratoire d'Analyses Industrielles et Génie des Matériaux) et L.G.C.H. (Laboratoire de Génie Civile et d'Hydraulique) de la même université.

L'analyse a porté sur un certain nombre de paramètres physico-chimiques de réseaux tels que la température, pH, la dureté totale, les ions Cl^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ et Na^+ , etc. Cette étude nous a permis de mettre en évidence un certain nombre de paramètres qui entrent en jeu dans la détermination de la qualité de ces eaux.

On note que certaines marques d'eau sont plus indiquées à la consommation quotidienne du fait de leur légèreté et composition : LallaKhedija, Guedila, Ifri, Nestlé vie pure, etc. Pour terminer, il y a lieu de mettre en œuvre plus de rigueur dans la prise en charge des analyses affichées sur les emballages des eaux embouteillées afin que le consommateur soit mieux rassuré.

Le dosage des métaux lourds montre qu'ils n'y a pas un dépassement aux lignes directrices fixées par les normes Algériennes et celles de l'OMS.

Les teneurs en ions majeurs restent conformes aux normes et respectent les valeurs limites de la qualité d'une eau potable destinée à la consommation humaine.

Bibliographie

- [1] : **Aissaoui.A**, « Evaluation du niveau de contamination des eaux de barrage hammam Grouz de la région de Oued Athmania (wilaya de Mila) par les activités agricoles », magister, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 2013.
- [2] : <http://acces.ens-lyon.fr/acces/terre/eau/comprendre/proprietes-physico-chimique-de-lea>
- [3] : **Lounnas.A**, « Amélioration des procédés de clarification des eaux de la station Hamadi-Kroma de Skikda », magister, Université du 20 Août 1955 Skikda, 2009.
- [4] : <http://sciencejunior.fr/chimie/les-trois-etats-de-leau>.
- [5] : <https://www.google.dz/search=structure+de+la+molecule+d'eau&biw>.
- [6]: **Nabti.Z**, « Etude physico-chimique et mise en évidence de la présence de métaux lourds dans les eaux de robinets et sources », master, université 8 mai 1945 de Guelma, 2015.
- [7] : **ThérèseEncrenaz**, « Les états ortho et para de l'eau », la recherche de l'eau dans l'Univers, Belin suo 2004.
- [8] : <http://www.ong-waterforlifeafrica.ci/cycle-eau.php>.
- [9] : <http://eau.seine-et-marne.fr/cycle-naturel-de-l-eau>.
- [10] : **Mekhalif.F**, « Réutilisation des eaux résiduaires industrielles épurées comme eau d'appoint dans un circuit de refroidissement », magister, Université du 20 Août 1955 Skikda, 2009.
- [11]: **Goudjil.M**, « Etude de la pollution minérale et organique des eaux souterraines de la cuvette de Ouargla, Sud-Est Algérien », master, Université Kasdi Marbah Ouargla, 2011.
- [12] : <https://www.google.dz/search?q=images+de+la+pollution+de+ eau&biw>.
- [13] : http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/doseau/decouv/degradation/03_différentes_gdes.htm.
- [14] : **Farch.S**, « Caractéristique physico-chimiques des eaux embouteillées algérienne et vérification d'étiquetage », master II, université Mohamed Boudiaf d'Oran, 2014.
- [15] : **SARDI.K**, « Contrôle de la qualité de l'eau de la station d'hémodialyse De l'EHU 1^{er} Novembre », master II, Université Mohamed Boudiaf d'Oran, 2014.