

**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'Étude**  
*Master*

---

---

**Etude de la qualité de l'eau potable**  
**de la ville de Guelma**

---

---

**Filière : Génie des Procédés**

**Spécialité : Génie des Procédés des matériaux**

**Présenté par :**

**-MIHOUB INES**

**-BOUZOBRA ALA EDDINE**

**Sous la direction de :**

**- Pr. LAHIOUEL YASMINA**

**-Dr. BEDDIAF SOUAD**

**Année 2023/2024**

# Remerciement

*Grâce à Allah nous sommes parvenus à achever cet humble travail et que nous espérons qu'il soit utile à ceux qui s'y intéressent.*

*Au terme de ce stage je tiens à exprimer mes vifs remerciements à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail tout particulièrement :*

*A notre encadreur Pr. Lahiouel Yasmîna et Mme Beddiaf Souad que nous prions de bien vouloir agréer l'expression de nos remerciements les plus sincères, pour leur précieuse aide et le soutien qu'elles nous ont procuré, leurs conseils, leurs remarques, propices et vos efforts.*

*A Monsieur le chef de laboratoire Amraoui Saleh de la station de traitement des eaux potables de Hammam Debagh Mr. Amraoui Saleh. Vous nous avez permis d'effectuer un travail intéressant, celui de contrôle de la qualité de l'eau. Nous avons apprécié votre patience et la clarté de vos avis qui nous ont orienté dans notre travail, veuillez croire en notre gratitude et notre haute considération, sans oublier de conférer nos plus sincères remerciements à tout le personnel de la station en citant Mbarka, Amel, Radia, Wahiba, Samira, Souad.*

*Un grand merci à Pr. B.H. BENHAMZA, directeur du Laboratoire d'Analyses Industrielles et Génie des matériaux (LAIGM), et Pr. M.L CHELAGHMIA, pour nous avoir autorisés à accéder au laboratoire pour utiliser le spectroscope d'absorption atomique.*

*Nous tenons à témoigner nos sincères remerciements aux membres du jury de bien vouloir examiner le contenu de ce travail.*

# *Dédicace*

*Louange à Dieu seul,  
Ce modeste travail est dédié spécialement :*

*À ma chère maman **GHANIA**, Quoi que je fasse ou que je dise, je ne saurai point te remercier comme il se doit. Ma raison de vivre, ton affection me couvre, ta bienveillance me guide et ta présence à mes côtés a toujours été ma source de force pour affronter les différents obstacles.*

*À mon cher papa **ZIDANE**, tu as toujours été à mes côtés pour me soutenir et m'encourager. Que ce travail traduit ma gratitude et mon affection, je dis merci d'avoir fait de moi celui que je suis aujourd'hui.*

*À mes chères sœurs **Roumaïssa, Rym et Rania**, à mes chers frères **Ramzi et Mohamed Amine**, qui je le sais, ma réussite est très importante à leurs yeux. Que Dieu vous garde pour moi.*

*À mon meilleur ami **LINA**, mes enseignants et pour ceux qui m'ont donné de l'aide un jour, que Dieu vous paye pour tous vos bienfaits.*

*Pour finir, à tous ceux que j'aime et qui m'aiment, je dédie ce mémoire.*

*Mihoub Ines*

# Dédicace

*Je dédie ce modeste travail à :*

*Mes chers parents, appréciation et gratitude pour tous les efforts et ressources qu'ils ont déployés pour ma réussite dans mes études,*

*Mes chers frères,*

*Toute ma famille,*

*Tous mes amis sans exception,*

*Merci à tous ceux qui ont contribué directement ou indirectement à la réalisation de ce projet.*

**BOUZOBRA ALA EDDINE**

# Sommaire

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

## *Chapitre I : Généralités sur le traitement de l'eau potable*

I. Introduction .....	3
I.2. Définition.....	3
I.3. Cycle de l'eau.....	3
I.4. Types d'eaux potables.....	4
I.4.1. Eau minérale naturelle.....	4
I.4.2. Eau de source.....	5
I.4.3. Eau de robinet.....	5
I.5. Les paramètres de qualité des eaux.....	5
I.5.1. Paramètres organoleptiques.....	5
I.5.2. Les paramètres physico-chimiques liés à la composition naturelle des eaux.....	6
I.5.3. Les paramètres physico-chimiques liés aux substances toxiques.....	12
I.5.4. Les paramètres bactériologiques.....	12
I.6. Conclusion.....	13

## *Chapitre II : Les Métaux Lourds*

II.1. Introduction.....	16
II.2. Définition .....	16
II.3. Classification des métaux lourds.....	17
II.3.1. Les métaux essentiels.....	17
II.3.2. Les métaux toxiques.....	17
II.4. Les sources des métaux lourds.....	17
II.4.1. Les sources naturelles.....	17
II.4.2. Les sources anthropiques.....	17
II.5. Contamination de l'environnement par les métaux lourds.....	18
II.5.1. Contamination de l'eau.....	18
II.5.2. Contamination des sols.....	18
II.6. Principales propriétés physico-chimiques des métaux lourds.....	18
II.6.1. Solubilité.....	18
II.6.2. Volatilité.....	19

II.6.3. Persistance .....	19
II.7. Les facteurs influençant la mobilité des métaux lourds .....	19
II.7.1. Le pH .....	19
II.7.2. Le potentiel redox (Eh) .....	19
II.7.3. La température .....	20
II.8. La forme des métaux lourds dans les eaux .....	20
II.9. Différents métaux lourds dans la nature .....	20
II.9.1. Cadmium .....	20
II.9.2. Plomb .....	20
II.9.3. Zinc .....	21
II.9.4. Cuivre .....	21
II.9.5. Mercure .....	21
II.9.6. Nickel .....	22
II.9.7. Cobalt .....	22
II.9.8. Manganèse .....	23
II.9.9. Chrome .....	23
II.9.10 Arsenic .....	24

### *Chapitre III : L'indice de Qualité de l'eau Canadien CCME*

III.1. Introduction .....	28
III.2. Historique de la méthode IQE .....	28
III.3. Les différents types d'indices IQE .....	28
III.3.1. L'indice de Horton .....	29
III.3.2. Indice de la qualité de l'eau National Sanitation Foundation (NSFWQI) .....	29
III.3.3. Indice de qualité de l'eau de l'Oregon (d'OWQI) .....	30
III.3.4. Indice de qualité de l'eau Dinius (de DWQI) .....	30
III.3.5. Indice de la qualité de l'eau Colombie-Britannique (BCWQI) .....	30
III.3.6. Indice de la qualité de l'eau Conseil canadien des ministres de l'environnement (CCME) .....	30
III.3.7. Indice de qualité de l'eau de loisirs (RWQI) .....	31
III.4. Pourquoi utiliser l'indice CCME .....	31
III.5. Calcul de l'indice Canadien CCME .....	32
III.6. Description générale de l'indice .....	34
III.7. Conclusion .....	35

## *Chapitre IV : Résultats et Discussions*

<b>IV.1. Introduction</b> .....	37
<b>IV.2. Comparaison entre l'eau brute et l'eau traitée</b> .....	38
<b>IV.3. Pourquoi contrôler l'eau</b> .....	38
<b>IV.4. Contrôler l'eau mensuellement</b> .....	39
<b>IV.5. Les étapes de l'analyse de l'eau</b> .....	40
<b>IV.5.1. Nettoyage des flacons :</b> .....	40
<b>IV.5.2. Prélèvement et échantillonnage :</b> .....	41
<b>IV.5.3. Technique de prélèvement :</b> .....	41
<b>IV.5.4. Analyses physico-chimiques :</b> .....	42
<b>IV.6. Analyse des paramètres de contrôle de l'eau brute</b> .....	45
<b>IV.7. Analyse des paramètres de contrôle de l'eau traitée</b> .....	54
<b>IV.8. Calcul de l'indice canadien de la qualité des eaux (CCME) sur deux mois :</b> <b>Novembre – Décembre</b> .....	63
<b>IV.8.1. Calcul de l'indice de qualité de l'eau brute (CCME) pour les deux mois :</b> <b>Novembre – Décembre</b> .....	63
<b>IV.8.2. Calcul de l'indice de qualité de l'eau traitée (CCME) pour les deux mois :</b> <b>Novembre – Décembre</b> .....	65
<b>IV.9. Résultats obtenus par l'absorption atomique</b> .....	68
<b>IV.9. 1. Cadmium</b> .....	69
<b>IV.9.2. Chrome</b> .....	70
<b>IV.9.3. Cuivre</b> .....	71
<b>IV.10. Conclusion</b> .....	72
<b>Conclusion</b> .....	74

# *Liste des Figures*

<b>Figure I.1</b> : la molécule d'eau:.....	3
<b>Figure I.2</b> : Le cycle de l'eau :.....	4
<b>Figure I.3</b> : Conductimètre .....	7
<b>Figure I.4</b> : pH- mètre .....	7
<b>Figure I.5</b> : Turbidimètre .....	9
<b>Figure II.1</b> : Tableau Périodique De Métaux Lourds.....	16
<b>Figure IV.1</b> : Nettoyage des flacons .....	41
<b>Figure IV.2</b> : Prélèvement des échantillons .....	42
<b>Figure IV.3</b> : Méthode électrochimique.....	42
<b>Figure IV.4</b> : Spectromètre d'absorption atomique .....	43
<b>Figure IV.5</b> : Variations du pH de l'eau sur 6 mois.....	45
<b>Figure IV.6</b> : Variations de la conductivité de l'eau sur 6 mois .....	46
<b>Figure IV.7</b> : Variations de la température de l'eau sur 6 mois.....	47
<b>Figure IV.8</b> : Variations de la teneur en Ammonium de l'eau sur 6 mois.....	48
<b>Figure IV.9</b> : Variations de la teneur en Phosphate de l'eau sur 6 mois.....	49
<b>Figure IV.10</b> : Variations de la teneur du chlorure de l'eau sur 6 mois.....	50
<b>Figure IV.11</b> : Variations de la teneur en ions Fer dans l'eau sur 6 mois.....	51
<b>Figure IV.12</b> : Variations de la teneur en Nitrate de l'eau sur 6 mois .....	52
<b>Figure IV.13</b> : Variations de la teneur en Sulfate de l'eau sur 6 mois .....	53
<b>Figure IV.14</b> : Variations du pH de l'eau sur 6 mois.....	54
<b>Figure IV.15</b> : Variations de la conductivité de l'eau sur 6 mois .....	55
<b>Figure IV.16</b> : Variations de la température de l'eau sur 6 mois.....	56
<b>Figure IV.17</b> : Variations de la teneur en de l'eau sur 6 mois .....	57
<b>Figure IV.18</b> : Variations de la quantité de phosphate de l'eau sur 6 mois .....	58
<b>Figure IV.19</b> : Variations de la quantité de chlorure de l'eau sur 6 mois .....	59
<b>Figure IV.20</b> : Variations de la teneur de l'ions de fer de l'eau sur 6 mois .....	60
<b>Figure IV.21</b> : Variations du Nitrate de l'eau sur 6 mois .....	61
<b>Figure IV.22</b> : Variations de la quantité de Sulfate de l'eau sur 6 mois .....	62
<b>Figure IV.23</b> : Variation de la concentration de Cadmium .....	69
<b>Figure IV.24</b> : Variation de la concentration du Chrome .....	70
<b>Figure IV.25</b> : Variation de la concentration du cuivre .....	71

# *Liste des Tableaux*

<b>Tableau I.1 :</b> Les normes des paramètres organoleptiques d'une eau potable.....	6
<b>Tableau I.2 :</b> Normes Algériennes de potabilité de l'eau de consommation .....	8
<b>Tableau I.3 :</b> Les normes des paramètres physico-chimiques liés aux substances indésirables selon l'OMS et le journal officiel Algérien. (OMS, 2006 ; JORA, 2011) .....	11
<b>Tableau III.1 :</b> Classement des catégories de qualité de l'eau .....	35
<b>Tableau IV.1 :</b> Comparaison entre l'eau brute et l'eau traitée.....	38
<b>Tableau IV.4:</b> Tableau des résultats d'adsorption atomique .....	68

# *Liste des Abréviations*

**TAC** : Alcalimétrie complet.

**TA** : Alcalimétrie simple.

**OMS** : Organisation Mondiale de la Santé.

**Eh** : Le potentiel redox.

**QI** : Quotient intellectuel.

**pH** : Potentiel d'Hydrogène.

**COND** : La Conductivité.

**TEMP** : La Température.

**S1** : solution étalon de l'acide nitrique de concentration 0,1.

**S2** : solution étalon de l'acide nitrique de concentration 0,4.

**S3** : solution étalon de l'acide nitrique de concentration 0,8.

**S4** : solution étalon de l'acide nitrique de concentration 1,2.

**ADE** : Algérienne des eaux.

**BCWQI** : Indice de la qualité de l'eau Colombie-Britannique.

**CCMEWQI** : Conseil canadien des ministres de l'indice de qualité de l'eau pour l'environnement

**OWQI** : Indice de qualité de l'eau de l'Oregon.

**DWQI** : Indice de qualité de l'eau Dinius.

**NSFWQI** : Indice de la qualité de l'eau National Sanitation Foundation.

**RWQI** : Indice de qualité de l'eau de loisirs.

**F1** : Étendue.

**F2** : Fréquence.

**F3** : Amplitude.

**IQE** : Indice de qualité de l'eau.

**CCME** : Le Conseil canadien des ministres de l'environnement.

**WQI** : Water Quality Index (En anglais).

**IQBP** : L'indice de qualité bactériologique et physicochimique.

## Résumé

---

Dans la ville de Guelma, la qualité de l'eau potable, particulièrement celle traitée par la station de Hammam Debbagh, est assurée par des contrôles strictes des aspects physico-chimiques, bactériologiques et la surveillance des métaux lourds. Les paramètres physico-chimiques essentiels incluent le pH, la conductivité, l'alcalinité et la turbidité.

Sur le plan bactériologique, des tests réguliers sont effectués pour détecter la présence de coliformes totaux et fécaux, ainsi que d'*Escherichia coli* (E. coli), indicateurs clés de contamination fécale.

L'absence de ces bactéries est cruciale pour garantir que l'eau soit exempte de pathogènes. En complément, la station procède à des désinfections efficaces pour éliminer toute trace de micro-organismes. En ce qui concerne les métaux lourds comme le Cadmium, Cuivre et Chrome, des contrôles sont mis en place pour garantir que leurs concentrations restent inférieures aux limites recommandées. Grâce à ces mesures de contrôle rigoureuses et à la surveillance continue, l'eau potable fournie aux habitants de Guelma est maintenue à un niveau de qualité élevé, assurant ainsi la sécurité et la santé publique.

---

**Mots Clés** : Eau potable, Paramètres physico-chimiques, Métaux lourds.

## **Abstract**

---

In Guelma city, the quality of drinking water, particularly that treated by the Hammam Debagh station, is ensured by strict controls on physicochemical and bacteriological aspects and the monitoring of heavy metals. The essential physicochemical parameters include pH, conductivity, alkalinity and turbidity.

On the bacteriological level, regular tests are carried out to detect the presence of total and fecal coliforms, as well as *Escherichia coli* (*E. coli*), key indicators of fecal contamination. The absence of these bacteria is crucial to ensure that the water is free of pathogens. In addition, the station carries out effective disinfection to eliminate all traces of microorganisms. With regard to heavy metals such as cadmium, copper and chromium, controls are put in place to ensure that their concentrations remain below the recommended limits. Due to these rigorous control measures and continuous monitoring, the drinking water supplied to the residents of Guelma is maintained at a high level of quality, to ensure safety and public health.

---

**Key Words:** Drinking water, Physico-chemical parameters, Heavy metals.

## ملخص

---

في مدينة قالمة، يتم ضمان جودة مياه الشرب، خاصة تلك التي تعالجها محطة حمام دباغ، من خلال ضوابط صارمة على الجوانب الفيزيائية والكيميائية والبكتريولوجية ومراقبة المعادن الثقيلة. تشمل المعلمات الفيزيائية والكيميائية الأساسية الرقم الهيدروجيني، والموصلية، والقلوية، والعاورة.

ومن الناحية البكتريولوجية، يتم إجراء اختبارات منتظمة للكشف عن وجود القولونيات الكلية وهي المؤشرات الرئيسية للتلوث، (*E. coli* والبرازية، وكذلك الإشريكية القولونية) البرازي. يعد غياب هذه البكتيريا أمرًا بالغ الأهمية لضمان خلو المياه من مسببات الأمراض. بالإضافة إلى ذلك، تقوم المحطة بعملية تطهير فعالة لإزالة كافة آثار الكائنات الحية الدقيقة. وفيما يتعلق بالمعادن الثقيلة مثل الكاديوم والنحاس والكروم، فقد تم وضع ضوابط لضمان بقاء تركيزاتها أقل من الحدود الموصى بها. ومن خلال هذه التدابير الرقابية الصارمة والمراقبة المستمرة، يتم الحفاظ على مياه الشرب المقدمة لسكان قالمة على مستوى عالٍ من الجودة، مما يضمن السلامة والصحة العامة.

---

كلمات مفتاحية: المعادن الثقيلة، المعاملات الفيزيائية و الكيميائية، مياه الشرب



# *Introduction*

### **Introduction :**

L'eau est le sang de la Terre et le support de toute vie et la force motrice de la nature. L'accès à l'eau, sa gestion, son traitement et la préservation de cet or bleu sont essentiels.

L'eau constitue un élément vital pour le développement et le maintien de la vie sur notre planète. Il est donc crucial de préserver et d'assurer la disponibilité continue de l'eau afin de fournir à l'humanité une quantité suffisante pour ses besoins domestiques, agricoles, industriels, etc. Cependant, il ne suffit pas d'assurer une quantité suffisante d'eau, il est également impératif de garantir une qualité irréprochable de cette eau. Pour ce faire, l'eau fait l'objet de nombreux contrôles physiques, chimiques et bactériologiques. Afin de contrôler la qualité de l'eau, il est nécessaire d'effectuer des analyses pour détecter la présence de gaz, de métaux lourds, de matières minérales, de matières organiques en suspension ou en solution, ainsi que d'éventuels micro-organismes.

Les métaux lourds occupent la première place en tant que produits très toxiques, représentant une véritable menace pour les êtres vivants en raison de leurs graves conséquences sur la santé humaine et l'environnement. Présents dans toutes sortes de solution, y compris dans les eaux potables, leur concentration doit être strictement contrôlée et ils doivent être éliminés.

L'indice de qualité de l'eau (IQE) est une méthode simple employée pour évaluer la qualité globale de l'eau en se basant sur un ensemble de paramètres.

Dans cette lignée, notre objectif dans cette étude est l'analyse physico-chimique d'échantillons d'eau prélevés dans plusieurs quartiers de la ville de Guelma, provenant de la station de traitement des eaux de Hammam Debbagh. Le but est d'évaluer la qualité physico-chimique de l'eau et de comparer les résultats des échantillons prélevés avec les valeurs de référence de la station de traitement pour statuer sur la potabilité de l'eau desservie.

Nous avons structuré notre mémoire en quatre chapitres interdépendants :

Le premier chapitre est un rappel sur l'eau d'une façon générale, avec ses caractéristiques organoleptiques, physico-chimiques et bactériologiques.

Le deuxième chapitre expose les métaux lourds qui sont des éléments connus pour leur toxicité et leur capacité à s'accumuler dans les organismes vivants, posant des risques pour la santé humaine et l'environnement.

Le troisième chapitre est consacré aux matériels et méthodes utilisés pour évaluer la qualité des eaux échantillonnées. Il donne aussi un aperçu sur les indices de qualité de l'eau les plus utilisés avec leurs structures mathématiques.

Le quatrième chapitre relate les différents résultats obtenus et leurs interprétations.



*Chapitre I :*

*Généralités sur le Traitement  
de l'eau Potable*



## I. Introduction :

L'eau, composante vitale de la vie, occupe une part prépondérante dans la structure de tous les organismes vivants. Composée d'un atome d'oxygène et de deux atomes d'hydrogène, formant la molécule  $H_2O$ , l'eau est reconnue comme un solvant universel. Elle gèle à  $0^{\circ}C$  et se transforme en vapeur à  $100^{\circ}C$ , point d'ébullition standard. Ses caractéristiques essentielles incluent l'absence d'odeur, de couleur et de saveur

## I.2. Définition :

L'eau est une substance liquide transparente, dépourvue de saveur et d'odeur, qui réfracte la lumière et peut dissoudre de nombreux composés. Sur le plan chimique, elle est constituée de deux molécules d'hydrogène et d'une molécule d'oxygène. Dans l'environnement naturel, l'eau existe sous trois formes : solide, liquide et gazeuse [1].

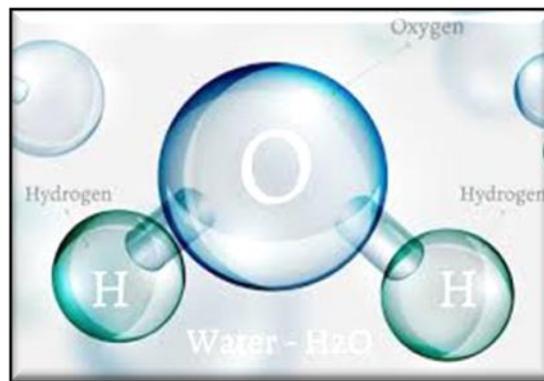


Figure Erreur ! Il n'y a pas de texte répondant à ce style dans ce document.-1

**Figure I.1** : la molécule d'eau [2].

## I.3. Cycle de l'eau :

L'eau est un corps essentiel pour tous les organismes vivants. 71 % de la surface de la terre est recouverte d'eau, dont 97% de l'eau salée et 3% de l'eau douce dans différents réservoirs. L'eau peut changer d'état sans intervention humaine. Ces changements d'états dépendent essentiellement de la température et de la pression mais aussi des composés chimiques. Le cycle de l'eau (Fig. I.2) décompose le phénomène complexe de ces transformations successives de l'eau en différents états. Les trois phases principales du cycle

peuvent être résumées ainsi : évaporation, précipitation, écoulements souterrains et ruissellement. Leur élément moteur est l'énergie solaire.

En fonction des caractéristiques géologiques du sous-sol, les eaux souterraines peuvent connaître de longues périodes d'emmagasinements de l'ordre du millénaire.

Les eaux de surface résultent des précipitations. Une partie de cette eau s'évapore et retourne dans l'air sous forme de vapeur d'eau. La deuxième durcit à cause du froid, ou s'écoule à la surface du sol et pénètre jusqu'à la nappe phréatique.

Le cycle de l'eau se fait donc, par évaporation permanente des eaux de mer ou de rivière, formant des nuages et des brouillards, puis retombent sous forme de précipitations dans les lacs, rivières et océans [3].

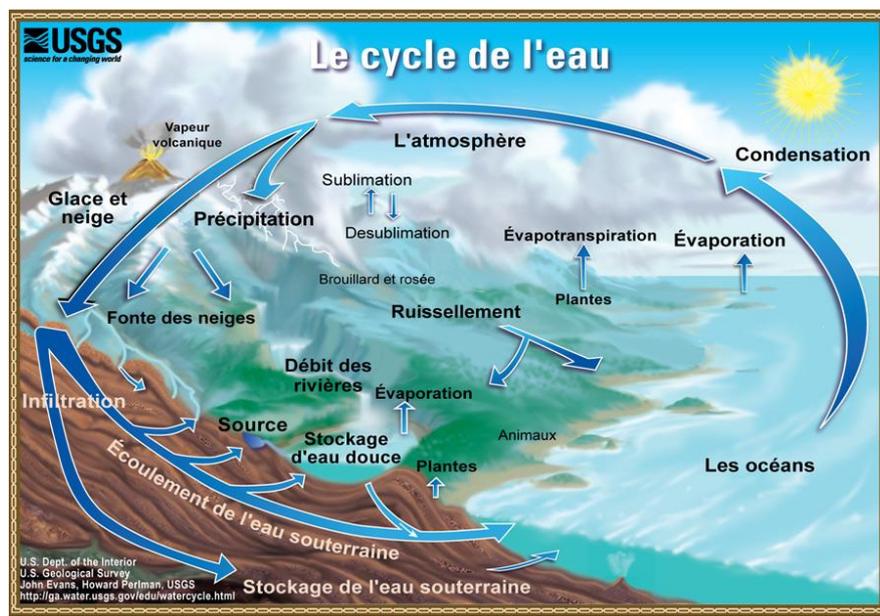


Figure I.2 : Le cycle de l'eau [4]

## I.4. Types d'eaux potables :

### **I.4.1. Eau minérale naturelle :**

Une eau minérale naturelle (selon le décret 89-369 du 6 juin 1989) est « une eau possédant un ensemble de caractéristiques qui sont de nature à lui apporter ses propriétés favorables à la santé. Elle témoigne, dans le cadre des fluctuations naturelles connues, d'une stabilité de ses caractéristiques essentielles, notamment de composition et de température à l'émergence, qui n'est pas affectée par le débit de l'eau prélevée » [5].

**I.4.2. Eau de source :**

Une eau de source (selon le décret 89-369 du 6 juin 1989 relatif aux eaux minérales naturelles et aux eaux potables pré-emballées), est « une eau d'origine souterraine microbiologiquement saine et protégée contre les risques de pollution, apte à la consommation humaine sans traitement ni adjonction autre, qu'une séparation des éléments instables et d'une sédimentation des matières en suspension par décantation ou filtration et (ou) d'une incorporation de gaz carbonique ... ». Elle doit être autorisée par arrêté préfectoral [5].

**I.4.3. Eau de robinet :**

L'eau du robinet provient de source variée, incluant les eaux de surface telles que les lacs, rivières et fleuves, ainsi que des sources souterraines. Pour atteindre le consommateur, elle est soumise à de multiples traitements afin de satisfaire les normes de potabilité réglementaire. Par conséquent, l'eau du robinet se distingue des eaux embouteillées, tant par son origine que par sa pureté [6].

**I.5. Les paramètres de qualité des eaux :**

Pour savoir si une eau est polluée et connaître son degré de pollution, les organismes de contrôle effectuent des prélèvements d'eau et les étudient. La pollution de l'eau est donc évaluée selon plusieurs critères.

**I.5.1. Paramètres organoleptiques :****I.5.1.1 la couleur :**

Le teint de l'eau résulte généralement de la présence de composés colorés issus principalement de la décomposition des matières organiques végétales, de la prolifération d'algues et des minéraux tels que le fer et le manganèse, ainsi que des déchets industriels comme les colorants.

Une eau colorée suscite des inquiétudes quant à sa potabilité et est généralement considérée comme peu attrayante pour la consommation.

Il est donc essentiel de traiter et d'éliminer cette coloration afin de rendre l'eau visuellement acceptable et agréable à boire [7].

I.5.1.2. Goût et saveur :

Le goût peut être décrit comme la combinaison des expériences gustatives, olfactives, et de perception chimique ressenties lorsqu'une boisson est en bouche.

D'un autre côté, la saveur est l'ensemble des sensations expérimentées lors de la stimulation des papilles gustatives par des substances solubles [8].

I.5.1.3. Odeur :

Toute eau destinée à la consommation humaine devrait être exempte d'odeur. La présence d'une odeur peut indiquer une contamination ou la présence de matières organiques en décomposition [7].

**Tableau I.1** : Les normes des paramètres organoleptiques d'une eau potable [3].

Paramètres organoleptiques	Unité	Norme (OMS, 2006)	Norme (UE, 1998)	Norme (Algérienne, 2000)
<b>Turbidité</b>	Unité Jackson	<5	2	≤ 2
<b>Couleur</b>	Mg/l de platine	15	-	≤ 25
<b>Odeur</b>	Seuil de perception 25°C	4	2	≤ 4
<b>Saveur</b>	Seuil de perception 25°C	2	4	≤ 4

## I.5.2. Les paramètres physico-chimiques liés à la composition naturelle des eaux :

I.5.2.1. La température :

La température joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout des gaz, dans la dissociation des sels donc sur la conductivité électrique, dans la détermination du pH, pour la connaissance de l'origine de l'eau et des mélanges éventuels, etc. Pour l'eau potable, la température maximale acceptable est de 15°C. Dans les eaux naturelles et au-dessus de 15°C,

il y a risque de croissance accélérée de micro-organismes, d'algues, entraînant des goûts et des odeurs désagréables ainsi qu'une augmentation de la couleur et de la turbidité.

La température est un paramètre important dans l'étude et la surveillance des eaux qu'elles soient souterraines ou superficielles, les eaux souterraines gardent généralement une fraîcheur constante, mais la température des eaux de surface varie selon plusieurs facteurs, en l'occurrence, les saisons [9].

#### I.5.2.2. La conductivité électrique :

La conductivité (en  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) indique la capacité d'une solution aqueuse à conduire le courant électrique. Elle dépend de la présence des ions et de leur concentration relative, ainsi que de la température à laquelle s'opère la mesure. La mesure de la conductivité électrique permet d'évaluer rapidement, mais approximativement la minéralisation globale de l'eau. Elle s'effectue à l'aide d'un conductimètre [3].



**Figure I.3:** Conductimètre.

#### I.5.2.3. Le potentiel d'hydrogène :

Le pH de l'eau indique si elle est acide ou alcaline en mesurant les concentrations en ions  $\text{H}^+$  et  $\text{OH}^-$ . Cette mesure est cruciale car elle influence de nombreux équilibres physico-chimiques [10].



Figure I.4 : pH- mètre.

#### I.5.2.4. La dureté :

La dureté de l'eau provient principalement de la présence de divers ions métalliques polyvalents, notamment les sels de calcium et de magnésium.

La dureté correspond à la mesure de la capacité de l'eau à interférer avec l'efficacité du savon, les eaux dures requérant nettement plus de savon pour générer de la mousse [10].

Tableau I.2 : Normes Algériennes de potabilité de l'eau de consommation [11]

Paramètres	Unité	Concentration maximale admissible	Norme
pH	/	/	6,5 – 8,5
Conductivité	$\mu\text{s} / \text{cm}$	2000	400
Dureté	Mg de Ca CO <sub>3</sub> /l	500	100

#### I.5.2.5. Oxygène dissous :

La présence d'oxygène dans l'eau résulte des échanges entre l'atmosphère et la surface de l'eau et de l'activité photosynthétique du phytoplancton.

C'est un des paramètres particulièrement utiles pour l'eau et un excellent indicateur de sa qualité. Aussi l'un des paramètres les plus sensibles à la contamination. Sa valeur nous indique à quel point nos cours d'eau sont pollués, et donc dans quelle mesure ils s'auto épurent.

La teneur en oxygène de l'eau varie selon plusieurs facteurs. Elle dépend de l'origine de l'eau, avec les eaux superficielles étant riches ou presque saturées en oxygène, tandis que les eaux profondes en contiennent seulement quelques milligrammes par litre. La température, la pression atmosphérique et la salinité influencent également cette concentration. De plus, la présence de végétaux, de microorganismes, d'algues et de phytoplanctons dans l'eau joue un rôle crucial dans la variation de la teneur en oxygène [12].

#### I.5.2.6. Turbidité :

La réduction de la transparence d'un liquide est due à la présence de matière non dissoute. On compare la lumière diffusée et la lumière transmise par un échantillon d'eau avec celles d'une gamme étalon constituée de solutions de formazine. La mesure de la lumière diffusée est pertinente pour les eaux à faible turbidité, non visible à l'œil nu, comme les eaux de boisson. En revanche, la mesure de la lumière transmise est significative pour les eaux à turbidité visible, comme les eaux polluées, et pour les eaux à faible turbidité contenant des substances qui ne diffusent pas. Pour tout échantillon d'eau, l'analyse de la lumière diffusée et transmise permet de détecter des matières non dissoutes, absorbantes mais diffusant mal, qui ne seraient pas identifiables par la seule mesure de la lumière diffusée [13].



**Figure I.5 :** Turbidimètre.

#### I.5.2.7. Alcalinité :

L'alcalinité d'une eau, à l'inverse de son acidité, correspond à la présence de bases et de sels d'acides faibles. Dans les eaux naturelles, l'alcalinité résulte généralement de la présence d'hydrogénocarbonates, de carbonates et d'hydroxydes. D'autres sels d'acides faibles, tels que les acides humiques, les phosphates, les citrates et les tartrates, peuvent également être dosés et interférer dans la mesure. La silice ionique peut également interférer, notamment lorsque le pH est supérieur à 8,5. On distingue deux titres pour la mesure de l'alcalinité : le titre alcalimétrique simple (TA) et le titre alcalimétrique complet (TAC) [13].

#### I.5.2.8. Les chlorures :

Le chlorure (Cl<sup>-</sup>) est un anion essentiel, étant le principal anion extracellulaire du corps. Il est souvent présent sous forme de sels de sodium (NaCl) et de potassium (KCl). L'eau contient presque toujours des chlorures, mais en proportion très variable. La teneur en chlorures augmente généralement avec le degré de minéralisation de l'eau. Certaines eaux souterraines sont très saumâtres, et cela est également vrai pour les nappes souterraines proches des eaux de surface salines, surtout en cas de pompage excessif [9].

#### I.5.2.9. Les matières en suspension (MES) :

Ce paramètre englobe tous les éléments en suspension dans l'eau, dont l'origine peut être minérale ou organique. À ces composés s'ajoutent les micro-organismes tels que les bactéries, les planctons, les algues et les virus. Ces éléments sont responsables de la turbidité et de la couleur de l'eau [14].

#### I.5.2.10. Salinité :

La salinité de l'eau est déterminée par le pourcentage de chlorure qu'elle contient. Les chlorures sont présents dans toutes les eaux à des concentrations variables, provenant de diverses sources telles que la percolation à travers les terrains salés, les infiltrations d'eaux marines dans les nappes phréatiques ou profondes, les rejets humains (urines), les industries extractives (pétrolières, houillères, etc.), et surtout les industries de sel (salines), de soude et de potasse [15].

#### I.5.2.11. Le fer :

Le fer contenu dans les eaux superficielles peut avoir une origine tellurique, mais il provient le plus souvent du lessivage des terrains et de la pollution minière ou métallurgique.

Le fer se trouve sous forme ferrique et précipite sous forme d'hydroxyde ferrique, il est donc associé aux matières en suspension (MES). Son élimination dans l'eau potable repose sur l'oxydation chimique ou biologique [16].

#### I.5.2.12. Les nitrates :

Le nitrate, sel de l'acide nitrique, a pour formule chimique  $\text{NO}_3^-$ . Sa formation nécessite de l'azote (N) et de l'oxygène (O). Les nitrates sont naturellement présents dans l'eau, mais leur concentration varie de 0,1 à 1 mg/L pour l'eau souterraine selon les milieux. L'apport de nitrates dans le sol, puis dans les eaux, est fortement lié à la quantité de matières organiques présentes et aux conditions du milieu [17].

#### I.5.2.13. Les nitrites :

Les nitrites sont présents dans le sol, les eaux et les plantes, mais en quantités relativement faibles. Ils résultent soit d'une oxydation incomplète de l'ammoniac, soit d'une réduction des nitrates. Ils peuvent également provenir d'une gestion inadéquate des filtres à sable, des filtres à charbon actif ou des étapes de nitrification-dénitrification biologique lors du traitement des eaux. Cependant, une concentration élevée de nitrites dans l'eau est suspecte car elle est souvent associée à une détérioration de la qualité microbiologique [17].

#### I.5.2.14. Le Magnésium :

La majorité des eaux naturelles contiennent généralement une petite quantité de magnésium, un élément significatif de la dureté de l'eau. Le magnésium peut donner un goût désagréable à l'eau, et sa teneur dépend de la composition des roches sédimentaires rencontrées [18].

#### I.5.2.15. Ammonium :

L'azote ammoniacal se trouve sous la forme toxique  $\text{NH}_3$ . Sa présence dans les eaux indique un processus de dégradation incomplète de la matière organique. Le  $\text{NH}_4^+$  (ion ammonium) se transforme assez rapidement en nitrites ( $\text{NO}_2^-$ ) et nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) par oxydation. L'ammoniaque pose également le problème d'augmenter la consommation de chlore nécessaire lors de la désinfection [18].

**Tableau I.3 :** Les normes des paramètres physico-chimiques liés aux substances indésirables selon l'OMS et le journal officiel Algérien. (OMS, 2006 ; JORA, 2011).

Paramètre	Selon L'OMS	Selon le journal Algérien
<b>La Turbidité</b>	5 NTU	5 NTU
<b>Les nitrites</b>	0,2 mg/l	0,2 mg/l
<b>Les nitrates</b>	50 mg/l	50 mg/l
<b>Les chlorures</b>	250 mg/l	500 mg/l
<b>Le fer</b>	Pas de valeur guide	0,3 mg/l
<b>Le Magnésium</b>	50 mg/l	Non mentionné
<b>Ammonium</b>	0,5 mg/l	0,5 mg/l

### I.5.3. Les paramètres physico-chimiques liés aux substances toxiques :

Certains éléments toxiques présents dans l'eau, notamment les matériaux lourds tels que le plomb, le nickel, le mercure, le chrome, le cyanure, le cadmium et l'arsenic, représentent un danger pour la santé.

### I.5.4. Les paramètres bactériologiques :

L'analyse bactériologique des eaux potables consiste en la recherche d'un certain nombre de germes tests, car il est très difficile d'identifier tous les germes dangereux dits de contamination fécale. La recherche et la numération portent sur : Les coliformes totaux, les coliformes fécaux, Escherichia coli (E-coli).

#### I.5.4.1. Les coliformes totaux :

Les coliformes totaux désignent les espèces de bactéries de la famille des Enterobacteriaceae. Ces bactéries sont des bacilles Gram-négatifs, aérobies ou anaérobies facultatifs. Elles se caractérisent par leur capacité à produire des colonies foncées avec des reflets verts métalliques en moins de 24 heures à une température de 37°C, lorsqu'elles sont cultivées sur un milieu endo contenant du lactose [19].

#### I.5.4.2. Les coliformes fécaux :

Groupe de bactéries coliformes qui produisent du gaz à partir du lactose en 48 heures à 44°C. Ces microorganismes appelés aussi « coliformes d'origine fécales » [19].

#### I.5.4.3. Escherichia coli (E-coli) :

Le terme «E. coli » présumée fait référence à des coliformes thermo tolérants capables de produire de l'indole à partir de tryptophane à 44°C. Ces bactéries appartiennent au groupe des coliformes totaux et leur présence dans l'eau suggère une contamination ainsi qu'un risque potentiel de présence d'autres bactéries ou virus [19].

### **I.6. Conclusion :**

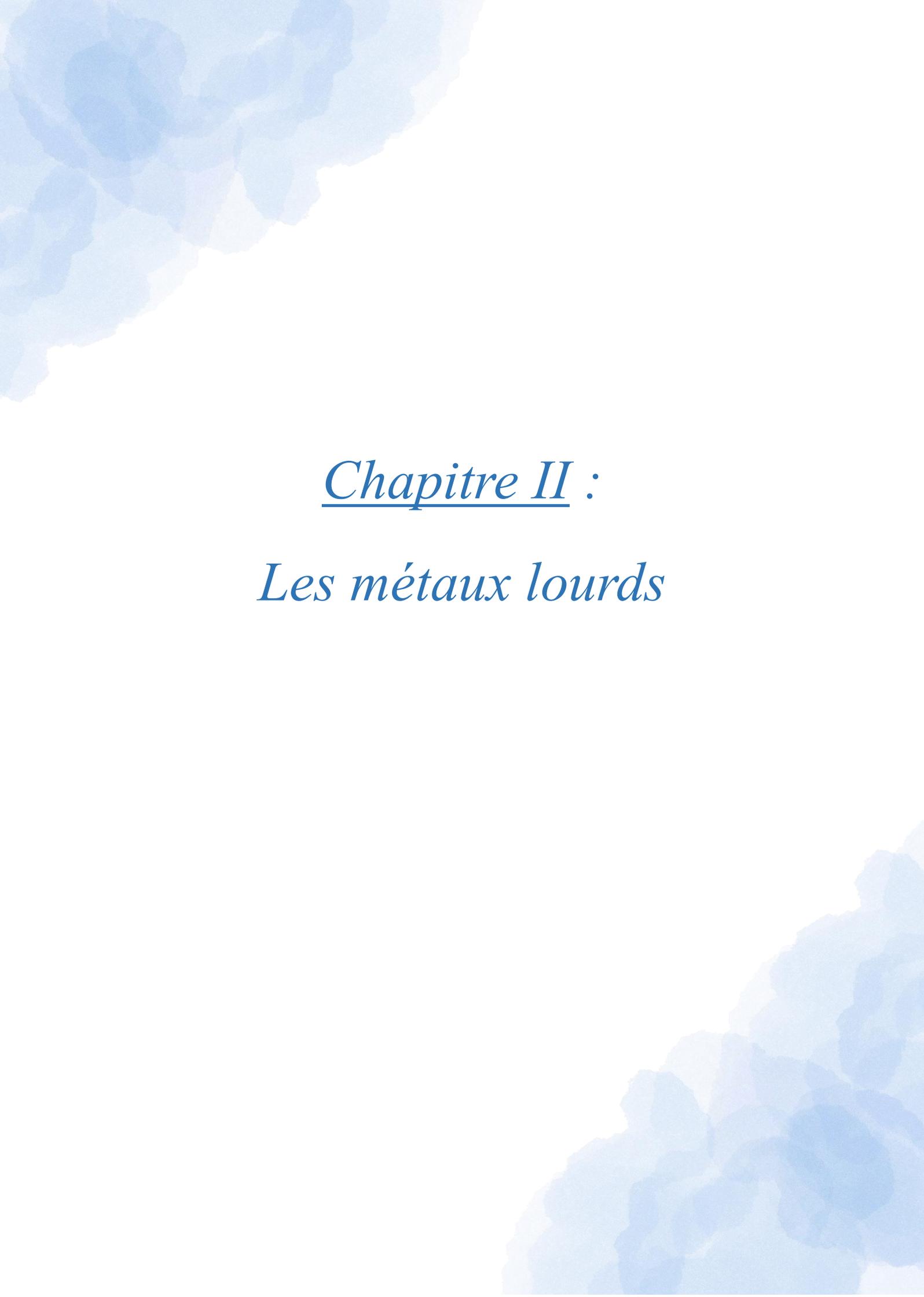
La qualité de l'eau potable est cruciale pour la santé publique. Les paramètres clés incluent la pureté microbiologique, les concentrations en produits chimiques et la clarté de l'eau. Le respect des normes strictes sur ces paramètres assure la sécurité et la salubrité de l'eau que nous consommons, contribuant ainsi à la prévention des maladies liées à la qualité de l'eau.

### **Références :**

- [1] L. Aouissi, W. Merabti. « Eau : Étude physicochimique et bactériologique et Développement d'un système de traitement (Membrane à base de charbon Actif) ». Mémoire de projet de fin d'étude. Université 8 Mai 1945 Guelma, 2019.
- [2] <https://biodynamizer.com/wp-content/uploads/2020/01/MOLECULE.png>
- [3] A. Merzoug. « Contribution à l'étude qualitative des eaux potable dans la région de Biskra ». Mémoire de master. Université Mohamed Khider de Biskra, 2022.
- [4] [https://fr.m.wikipedia.org/wiki/Cycle\\_de\\_l'eau](https://fr.m.wikipedia.org/wiki/Cycle_de_l'eau) le 2 mai 2024 à 21 :30.
- [5] S. Khalifa, A. Rebboud. « Étude physico-chimique de quelques eaux minérales en Algérie ». Mémoire de Master. Université de Blida 1, 2020.
- [6] S. Ammari. « Étude de potabilité de l'eau naturelle et filtrée ». Mémoire de master. Université Echahid Hamma Lakhdar- El oued, 2019.
- [7] I. Sadia. « Synthèse bactériologique des paramètres physico-chimiques et bactériologique des eaux naturelles ». Mémoire de master. Université Mouloud Mammeri de Tizi-ouzou, 2020.

- [8] H.E. Messikh, Y.N. Guerraichi. « Étude de la qualité à la consommation humaine du forage Ras El Ain (Boumerzoug) Constantine ». Mémoire de master. Université des frères Mentouri Constantine 1, 2020.
- [9] I. Kouadri. « Analyses physico-chimiques des eaux de différentes origines ». Mémoire de master. Université 8 Mai 1945 Guelma, 2013.
- [10] M. Chelli, N. E. Chetibi. « Étude physico-chimique et bactériologique de l'eau potable de la ville de Jijel alimentée par la station kissir ». Mémoire de Master. Université Med-seddik Benyahia. Jijel, 2018.
- [11] M. Moudjahed, K. Koudjabache. « Contrôle et évaluation de la qualité de l'eau utilisée dans la laiterie LFB- Boudouaou ». Mémoire de master. Université Akli Mohand Oulhadj. Bouira, 2017.
- [12] C. Bougea, I. Ferdi, C. Meghazi. « Qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau d'oued SEYBOUSE ». Mémoire de master. Université 8 Mai 1945 Guelma, 2022.
- [13] N. Ben Hennour, H. Ben Chehba. « Évaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de source dans la localité de Miliana (Aïn Defla) et Ain Deheb (Tiaret) ». Mémoire de master. Université Abdelhamid Ben Badis Mostaganem, 2017.
- [14] A. Mekhloufi, R. Ouanoughi. « Étude des paramètres physico-chimiques et microbiologiques des eaux du barrage de Boukourdane (Tipaza) ». Mémoire de master. Université Saad Dahleb Blida 1, 2017.
- [15] D. Ziani. « Quantification de la pollution Anthropique des eaux souterraines de l'aquifere du Ain Djasser. Est Algérien ». Thèse de doctorat. Université Ben Boulaïd-Batna 2, 2017.
- [16] M. Alloue, Y. Gouader. « Contrôle de qualité physico-chimique et microbiologique des eaux de la région de Bordj Bou Arréridj ». Mémoire de master. Université Mohamed El Bachir El- Ibrahimi-Bordj Bou Arréridj, 2013.
- [17] W. Ayad. « Évaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines : cas des puits de la région D'El-Harrouch -wilaya de Skikda- ». Thèse de doctorat. Université Badji Mokhtar-Annaba, 2017.

- [18] M. Chelli, N. E. Chetibi. « Étude physico-chimique et bactériologique de l'eau potable de la ville de Jijel alimentée par la station kissir ». Mémoire de master. Université Med-seddik Benyahia-Jijel, 2018.
- [19] A. Illal, S. Cherfaoui. « Contribution à l'évaluation de la qualité physicochimique et bactériologique de l'eau de consommation de la ville de Bouira ». Mémoire de master. Université Akli Mohand oulhadj- Bouira, 2018.



*Chapitre II :*  
*Les métaux lourds*

**II.1. Introduction :**

La contamination des milieux aquatiques par les métaux lourds représente un défi majeur pour la société contemporaine. Ces métaux proviennent principalement des rejets industriels et urbains et ont tendance à s'accumuler dans les sédiments, d'où ils sont intégrés aux chaînes alimentaires aquatiques. Cette accumulation et ce transfert posent des risques significatifs tant pour la santé humaine que pour l'environnement. Les principales sources de cette pollution peuvent être regroupées en trois catégories : les activités urbaines, les rejets industriels et l'utilisation de fertilisants.

**II.2. Définition :**

Le concept des métaux lourds désigne les éléments métalliques naturels avec une densité supérieure à 5 g/cm<sup>3</sup>, incluant certains métaux et métalloïdes. Du point de vue chimique, ces éléments forment des cations en solution et sont classés comme métaux. Sur le plan biologique, ils sont divisés en deux catégories en fonction de leur impact physiologique : les métaux essentiels, nécessaires au bon fonctionnement biologique, et les métaux toxiques, qui peuvent être nuisibles ou mortels même en faibles concentrations. Les exemples comprennent le mercure, le plomb, le cadmium, ainsi que des éléments comme le cuivre et le zinc, qui sont essentiels mais peuvent être toxiques à des niveaux élevés [1].

**métaux lourds**

hydrogen 1 H 1.0079																	helium 2 He 4.0026				
lithium 3 Li 6.941	beryllium 4 Be 9.0122															boron 5 B 10.811	carbon 6 C 12.011	nitrogen 7 N 14.007	oxygen 8 O 15.999	fluorine 9 F 18.998	neon 10 Ne 20.180
sodium 11 Na 22.990	magnesium 12 Mg 24.305															aluminium 13 Al 26.982	silicon 14 Si 28.086	phosphorus 15 P 30.974	sulfur 16 S 32.065	chlorine 17 Cl 35.453	argon 18 Ar 39.948
potassium 19 K 39.098	calcium 20 Ca 40.078	scandium 21 Sc 44.956	titanium 22 Ti 47.867	<b>vanadium 23 V 50.942</b>	<b>chromium 24 Cr 51.996</b>	<b>manganese 25 Mn 54.938</b>	<b>iron 26 Fe 55.845</b>	<b>cobalt 27 Co 58.933</b>	<b>nickel 28 Ni 58.693</b>	<b>copper 29 Cu 63.546</b>	<b>zinc 30 Zn 65.38</b>	gallium 31 Ga 69.723	germanium 32 Ge 72.64	<b>arsenic 33 As 74.922</b>	<b>selecnium 34 Se 78.96</b>	bromine 35 Br 79.904	krypton 36 Kr 83.798				
rubidium 37 Rb 85.468	strontium 38 Sr 87.62	yttrium 39 Y 88.906	zirconium 40 Zr 91.224	<b>niobium 41 Nb 92.906</b>	<b>niobium 42 Mo 95.94</b>	technetium 43 Tc [98]	ruthenium 44 Ru 101.07	rhodium 45 Rh 102.91	paladium 46 Pd 106.42	silver 47 Ag 107.87	<b>cadmium 48 Cd 112.41</b>	indium 49 In 114.82	tin 50 Sn 118.71	<b>antimony 51 Sb 121.76</b>	tellurium 52 Te 127.60	iodine 53 I 126.90	xenon 54 Xe 131.29				
cesium 55 Cs 132.91	<b>barium 56 Ba 137.33</b>	hafnium 72 Hf 178.49	tantalum 73 Ta 180.95	wolfram 74 W 183.84	rhenium 75 Re 186.21	osmium 76 Os 190.23	iridium 77 Ir 192.22	platinum 78 Pt 195.08	gold 79 Au 196.97	<b>mercury 80 Hg 200.59</b>	thallium 81 Tl 204.38	<b>lead 82 Pb 207.2</b>	bismuth 83 Bi 208.98	polonium 84 Po [209]	astatine 85 At [210]	radon 86 Rn [222]					
francium 87 Fr [223]	radium 88 Ra [226]	rutherfordium 104 Rf [261]	bohrium 105 Db [262]	seaborgium 106 Sg [266]	bohrium 107 Bh [264]	hassium 108 Hs [277]	meitnerium 109 Mt [268]	darmstadtium 110 Ds [271]	roentgenium 111 Rg [272]												
lanthanum 57 La 138.91	cerium 58 Ce 140.12	praseodymium 59 Pr 140.91	neodymium 60 Nd 144.24	promethium 61 Pm [145]	samarium 62 Sm 150.36	europtium 63 Eu 151.96	gadolinium 64 Gd 157.25	terbium 65 Tb 158.93	dysprosium 66 Dy 162.50	holmium 67 Ho 164.93	erbium 68 Er 167.26	thulium 69 Tm 168.93	ytterbium 70 Yb 173.05	lutetium 71 Lu 174.97							
actinium 89 Ac [227]	thorium 90 Th 232.04	protactinium 91 Pa 231.04	uranium 92 U 238.03	neptunium 93 Np [237]	plutonium 94 Pu [244]	americium 95 Am [243]	curium 96 Cm [247]	berkelium 97 Bk [247]	californium 98 Cf [251]	einsteinium 99 Es [252]	fermium 100 Fm [257]	mendelevium 101 Md [258]	nobelium 102 No [259]	lawrencium 103 Lr [262]							

www.aquaportail.com

Figure II.1 : Tableau Périodique De Métaux Lourds [2].

### **II.3. Classification des métaux lourds :**

#### **II.3.1. Les métaux essentiels :**

Les métaux essentiels sont des éléments traces cruciaux pour divers processus cellulaires, bien qu'ils soient présents en très faibles quantités dans les tissus biologiques. Alors que ces métaux sont vitaux, leur toxicité peut augmenter si les concentrations excèdent certains seuils. Parmi eux, le cuivre (Cu), le nickel (Ni), le zinc (Zn), et le fer (Fe) peuvent devenir nocifs. En particulier, le zinc qui est vital à des concentrations millimolaires, participant activement à plusieurs réactions enzymatiques telles que celles impliquant les déshydrogénases, les protéinases et les peptidases, et joue un rôle essentiel dans le métabolisme des protéines, des glucides et des lipides [3].

#### **II.3.2. Les métaux toxiques :**

"Les métaux non essentiels, tels que le plomb (Pb), le mercure (Hg) et le cadmium (Cd), sont considérés comme des polluants. Ils ne présentent aucun bénéfice pour les cellules et peuvent être toxiques pour les organismes vivants, même à de faibles concentrations" [4].

### **II.4. Les sources des métaux lourds :**

#### **II.4.1. Les sources naturelles :**

Les réserves principales de nombreux éléments se localisent dans les roches et les sédiments océaniques. Ces gisements naturels peuvent contaminer les ressources aquatiques dans divers contextes, tels que :

- L'exploitation minière qui libère des métaux vers les sols, les eaux de surface et les sédiments ;
- L'érosion qui transporte ces substances vers divers environnements aquatiques ;
- Les éruptions volcaniques, qu'elles soient terrestres ou sous-marines [5].

#### **II.4.2. Les sources anthropiques :**

Les sources d'origine humaine incluent :

- Les rejets provenant des activités minières ;
- Les effluents industriels ;

- Les eaux usées domestiques et les ruissellements urbains lors de tempêtes ;
- Le lessivage de métaux issus de décharges de déchets ménagers et de résidus solides [5].

## **II.5. Contamination de l'environnement par les métaux lourds :**

### **II.5.1. Contamination de l'eau :**

La prédiction du comportement des métaux dans l'environnement est complexe en raison de leur susceptibilité à diverses transformations chimiques telles que l'oxydation, la réduction et la complexation. De plus, leur migration, notamment vers les nappes phréatiques, est influencée par plusieurs facteurs clés :

- La composition chimique originale du métal,
- La perméabilité des sols et sous-sols,
- La porosité des sols [6].

### **II.5.2. Contamination des sols :**

Le sol, affecté par l'industrialisation, l'urbanisation, et l'agriculture, joue un rôle crucial dans la gestion des polluants en agissant comme un réacteur, récepteur, accumulateur, et filtre. Comparativement à l'air et à l'eau, le sol reçoit d'importantes quantités de métaux lourds issus des activités industrielles. La contamination des sols provient principalement de deux sources anthropiques : les rejets urbains et industriels contribuant à la pollution atmosphérique, et les activités agricoles. Les sols, particulièrement ceux riches en argile et à pH élevé, tendent à fixer les métaux lourds dans leurs couches supérieures, ce qui augmente le risque de dispersion par ruissellement lors d'événements comme les orages, surtout dans les sols nus et pentus. Les sols argilo-limoneux ont la capacité d'adsorber les métaux, contrairement aux sols sablonneux. En outre, le pH des sols influence la mobilité des métaux lourds : le chaulage, en augmentant le pH, réduit cette mobilité [6].

## **II.6. Principales propriétés physico-chimiques des métaux lourds :**

### **II.6.1. Solubilité :**

La solubilité d'un métal dans l'eau, indicateur clé de sa mobilité par lessivage ou ruissellement, est influencée par divers facteurs. Celle-ci varie en fonction de l'élément lui-

même, mais aussi des conditions chimiques de l'eau, incluant le pH, le potentiel d'oxydoréduction et la présence de ligands. Les phases solides environnantes jouent également un rôle. Un aspect crucial de la solubilité est la spéciation de l'élément, soit la distribution entre différents états de valence, ce qui est particulièrement pertinent pour des éléments tels que l'arsenic et le chrome [7].

### **II.6.2. Volatilité :**

La volatilité affecte la diffusion des polluants enfouis dans les sols par évaporation naturelle. En règle générale, les métaux ne sont pas volatils, à l'exception notable du mercure [7].

### **II.6.3. Persistance :**

Contrairement aux contaminants organiques, les métaux lourds ne se dégradent ni biologiquement ni chimiquement, ce qui les rend persistants. Ils peuvent être transportés sur de longues distances par l'eau ou l'air, sans subir de transformations. Une des conséquences les plus graves de cette persistance est leur bioaccumulation dans les chaînes alimentaires, où les métaux peuvent atteindre des concentrations bien supérieures à celles présentes dans l'eau ou l'air, parfois de plusieurs ordres de grandeur [7].

## **II.7. Les facteurs influençant la mobilité des métaux lourds :**

### **II.7.1. Le pH :**

Le pH est un facteur crucial qui affecte la solubilité et la forme chimique des métaux, influençant ainsi leur toxicité. Une baisse d'une unité de pH peut doubler la concentration des cations métalliques libres dans la solution du sol, ce qui favorise la phyto-extraction. Par ailleurs, les organismes et microorganismes peuvent modifier la disponibilité des métaux lourds dans leur environnement immédiat, soit par une acidification locale résultant d'une réaction métabolique, soit en produisant des composés qui complexent les métaux lourds [8].

### **II.7.2. Le potentiel redox (Eh) :**

Le potentiel redox influence la mobilité et la solubilité des métaux lourds dans le sol en facilitant la dissolution des hydroxydes et en modifiant le degré d'oxydation des ligands métalliques. Cependant, bien que crucial, il est souvent secondaire par rapport à l'impact du pH, avec lequel il est inversement corrélé [8].

### **II.7.3. La température :**

La température influence directement la mobilité des métaux en modifiant les équilibres des réactions de dissolution et de co-précipitation. Elle a également un effet indirect en affectant la teneur en eau du sol et son pH [7].

### **II.8. La forme des métaux lourds dans les eaux :**

Les métaux lourds, qui comptent parmi les polluants minéraux non biodégradables, peuvent compromettre l'efficacité des systèmes d'épuration biologique destinés à traiter les pollutions organiques. On distingue principalement deux types d'effluents : les eaux de procédés et les eaux usées. Les eaux de procédés, telles que celles utilisées pour les traitements de surface, contiennent souvent un nombre restreint de métaux, mais en concentrations élevées, pouvant atteindre plusieurs grammes par litre. Les eaux usées présentent une composition plus complexe et variable, où la présence de matières organiques peut compliquer l'élimination des métaux lourds. Ces derniers se trouvent dans les eaux sous différentes formes : colloïdale, soluble et en suspension [9].

### **II.9. Différents métaux lourds dans la nature :**

#### **II.9.1. Cadmium :**

Le cadmium est un métal blanc argenté avec des teintes de bleu appartenant à la famille des métaux de transition. Le cadmium élémentaire a un numéro atomique de 48 et une masse atomique de 112,4 g/mol [1].

- ***La toxicité du cadmium :***

Le cadmium est associé à des risques pour la santé des consommateurs. Même en petites quantités, il s'accumule dans le cortex rénal pendant de très longues périodes (jusqu'à 50 ans), où il peut causer une protéinurie, c'est-à-dire une perte anormale de protéines dans les urines, et des troubles urinaires chez les personnes âgées. Le cadmium n'a aucun rôle métabolique reconnu et ne semble pas nécessaire ou bénéfique pour les organismes vivants [10].

#### **II.9.2. Plomb :**

Le plomb, élément chimique de numéro atomique 82 et de symbole Pb, est moins mobile que d'autres métaux traces tels que le cadmium. Son cycle biogéochimique est

influencé par les caractéristiques physico-chimiques du sol, où il forme des complexes très stables et est principalement stocké [12].

- ***La toxicité du plomb :***

Le plomb est un élément hautement toxique qui cause le saturnisme, affectant principalement le système nerveux, les reins et le sang. Cette maladie se manifeste par une anémie et une perturbation du métabolisme due à une compétition avec les ions  $\text{Ca}^{2+}$  [10].

### **II.9.3. Zinc :**

Le Zinc est un élément chimique de symbole Zn et de numéro atomique 30, c'est un métal de couleur bleu-gris moyennement réactif qui se combine avec l'oxygène et d'autres éléments non métalliques, et qui réagit avec des acides dilués en dégageant de l'hydrogène [13].

- ***La toxicité du zinc :***

Cet élément devient toxique à haute concentration, provoquant des nausées, vomissements, rigidité musculaire, et irritation des muqueuses. Dans l'eau, il cause une forte astringence à partir de 5 mg/l [10].

### **II.9.4. Cuivre :**

Le cuivre est un élément métallique de symbole Cu, il appartient au groupe (IB) de la classification périodique des éléments et c'est un métal rouge orange, brillant, noble, et peu oxydable.

- ***La toxicité du cuivre:***

Le cuivre est un oligo-élément crucial pour la vie, avec une homéostasie cellulaire rigoureusement contrôlée, car il peut devenir toxique en excès. Cette toxicité résulte principalement de ses forts potentiels redox, qui génèrent des radicaux hydroxyles très réactifs capables d'endommager les protéines, les lipides membranaires et les acides nucléiques [14].

### **II.9.5. Mercure :**

Le mercure est un élément chimique au symbole Hg, tiré du latin \*Hydragyrum\* signifiant « argent liquide ». Son numéro atomique est 80, avec un poids atomique de 200,59 g/mol. À 25°C, il présente une masse volumique de 13,58 g/cm<sup>3</sup>. Il se caractérise par une

volatilité notable, avec une tension de vapeur de 14 mg/m<sup>3</sup>. Majoritairement présent dans les particules en suspension dans l'eau de mer, plus de 90 % du mercure y est lié à des particules de taille inférieure à 63 µm [15].

- **La Toxicité du mercure:**

Le mercure peut pénétrer rapidement l'organisme humain par les poumons, sous forme de vapeurs de mercure élémentaire ou de méthylmercure. L'exposition aiguë peut provoquer une irritation des voies respiratoires, des troubles digestifs, une stomatite, une encéphalopathie parfois sévère (incluant coma et convulsions), ainsi qu'une atteinte tubulaire rénale. Sur le long terme, l'exposition chronique, souvent observée chez les professionnels exposés aux vapeurs de mercure ou aux poussières de ses dérivés, peut entraîner une encéphalopathie, des tremblements, des troubles comportementaux, et des atteintes neurologiques sévères [16].

#### **II.9.6. Nickel :**

Le nickel est un élément de la quatrième série des métaux de transition du tableau périodique, partageant ce groupe avec le fer et le cobalt. Son numéro atomique est 28 et il possède un poids atomique de 58,71 [17].

- **Toxicité du nickel :**

Les métaux et leurs composés inorganiques ont une faible toxicité mais peuvent causer des troubles de la peau, tandis que les composés organiques, comme le nickel tétracarbonyle, sont hautement toxiques et cancérigènes [15].

#### **II.9.7. Cobalt :**

Le cobalt est un métal dur et brillant de couleur grisâtre, qui se situe à la 27<sup>ème</sup> place du tableau périodique de Mendeleïev, encadré par le fer et le nickel. Il représente le 33<sup>ème</sup> élément en termes d'abondance dans la croûte terrestre [18].

- **Toxicité du cobalt :**

L'exposition excessive au cobalt peut réduire l'activité de la glande thyroïde et provoquer des goitres. Elle entraîne aussi une augmentation du nombre d'érythrocytes, une dilatation temporaire des vaisseaux sanguins et perturbe la coagulation sanguine. Une intoxication aiguë peut causer des dysfonctionnements hépatiques et rénaux,

tandis que l'inhalation de poussière de cobalt peut irriter la gorge et le système gastro-intestinal [16].

### **II.9.8. Manganèse :**

Le manganèse un élément chimique métallique de couleur blanc argenté, porte le symbole Mn et a pour numéro atomique 25. Il se dissout dans l'eau et est un oligo-élément vital présent dans tous les tissus vivants. On trouve le manganèse dans la nature sous plusieurs formes : oxyde, sulfure, carbonate et silicate. Sa présence dans l'eau résulte principalement de la dissolution des roches et, dans certains cas, de rejets industriels [19].

#### ***Toxicité du manganèse :***

Une carence en manganèse peut provoquer des troubles allergiques ORL, des palpitations cardiaques, de la tachycardie, des douleurs articulaires, de l'irritabilité et de l'agitation. D'autre part, une exposition aiguë au manganèse peut entraîner divers problèmes pulmonaires, tels que la fièvre des métaux, la pneumonie au manganèse ou une intoxication par ingestion. Une étude menée par des chercheurs canadiens a également révélé qu'une concentration élevée de manganèse dans l'eau potable peut diminuer le quotient intellectuel (QI) des enfants [20].

### **II.9.9. Chrome :**

Le chrome, un élément chimique métallique, est symbolisé par Cr et possède un numéro atomique de 24. Sa masse atomique est de 51,996 u.m.a. Il est classé dans le groupe 6 (ou VI b) du tableau périodique. Cet élément est un métal de transition, dur et d'une couleur gris acier-argenté [21].

- ***Toxicité du chrome :***

La toxicité du chrome est influencée non seulement par sa concentration, mais également par son état d'oxydation. Le chrome (VI) est largement reconnu comme étant plus toxique que le chrome (III). Ce dernier, même à des doses très faibles, est crucial pour les organismes vivants en raison de son rôle essentiel dans le métabolisme des glucides, où il agit comme un activateur de l'insuline. L'empoisonnement par le chrome peut survenir accidentellement, souvent due à des pratiques d'hygiène insuffisantes sur les lieux de travail, ou de manière volontaire lors

d'une tentative de suicide. L'ingestion de sels de chrome (VI) ou de chrome (III) peut provoquer une nécrose sélective des cellules des tubes proximaux [22].

### **II.9.10 Arsenic :**

L'arsenic, dont le symbole chimique est As et le numéro atomique 33, possède une masse atomique de 75 uma. Avec une densité de 5,7 g/cm<sup>3</sup>, il est classé parmi les éléments lourds. Ce métalloïde partage des propriétés chimiques similaires avec le phosphore. À l'état naturel, l'arsenic peut être trouvé sous la forme de minéral rare, un solide lourd et cassant de couleur gris acier brillant. Il se présente également sous forme de divers composés tels que les arséniures et les sulfures [23].

- ***Toxicité du arsenic :***

L'arsenic, un métalloïde naturellement présent dans la croûte terrestre, et est connu pour sa forte toxicité, particulièrement sous ses formes inorganiques, les types III et V. Ces composés inorganiques, lorsqu'ingérés, inhalés sous forme de poussière, ou absorbés par le biais de l'eau et des aliments contaminés, présentent un risque majeur pour la santé humaine. Ils peuvent provoquer divers effets néfastes, allant de problèmes cutanés à des affections plus graves comme le cancer, des troubles cardiovasculaires, et des dysfonctionnements neurologiques [24].

### **II.10. Conclusion :**

Dans ce chapitre, une vue d'ensemble est donnée sur divers métaux lourds, soulignant que leur présence dans l'environnement peut résulter de sources naturelles ou anthropiques. Il est notamment indiqué que les industries sont les principales responsables des rejets de métaux lourds dans les eaux. La réduction de ces rejets, autrefois une priorité, est désormais moins considérée avec l'expansion de l'industrialisation. Nous avons également relevé les impacts délétères de ces métaux sur la santé humaine, incluant des irritations des yeux, du nez et de la bouche, des maux de tête, des douleurs abdominales, des vertiges, des vomissements, et des diarrhées. De plus, les métaux lourds peuvent avoir des effets cancérigènes et, dans les cas les plus graves, entraîner la mort.

**Références :**

- [1] M. R. Abderrahmane, A. Salhi, F. Mebarki. « Toxicité des métaux et leurs effets sur la santé humaine et l'environnement ». Mémoire de master. Université de Larbi tébessi-Tebessa-,2021.
- [2] <https://www.aquaportail.com/dictionnaire/definition/5602/metal-lourd> le 7 Mai 2024 à 18 :42.
- [3] H. Omani. « Évaluation de la Toxicité de quelques métaux lourds sur le comportement d'un modèle animal du groupe des coelomates ». Thèse de doctorat. Université Badri Mokhtar – Annaba, 2018.
- [4] N. Abdelsadok. « Effet des métaux lourds (cuivre et zinc) sur les paramètres morpho-physiologiques et biochimistes chez la fève (vicia fana L.) ». Mémoire de master. Université Abdelhamid Ibn Badis. Mostaganem, 2018.
- [5] M. R. Meddour. « Étude de la biosorption du plomb ou/ et du cadmium par la poudre de la plante Aquatique Lemna gibba ». Mémoire de master. Université de Blida 1, 2021.
- [6] H. Benhamimid, N. ghouila, H. Harzallah. « Contribution à l'étude de la contamination par les métaux lourds (Pb et cd) dans le poisson (sardine pilchardus) au niveau de la côte méditerranée ». Mémoire de master. Université Mohamed El Bachir El ibrahimi B.B. A, 2016.
- [7] Z. Boumelta, H. Boubekeur, Y. Bouali. « Évaluation de la contamination métallique de certaines sources d'eau potable dans la wilaya de Jijel ». Mémoire de master. Université Mohamed- seddik Benyahia- Jijel, 2021.
- [8] T. Kebir. « Étude de contamination, d'accumulation et de Mobilité de quelques métaux lourds dans des légumes, des fruits et des sols agricoles situes pres d'une décharge industrielle de l'usine al zinc de la ville de ghazaout ». Thèse du grade de docteur en sciences. Université Abou Bakr Belkaid -Tlemcen-, 2012.
- [9] S. Berkani. « Traitement des eaux chargées en nickel par une bentonite algérienne ». Mémoire de magister. École nationale supérieure polytechnique, 2009.
- [10] K. Ait ziane, N. Bouyahia. « Cycle biogéochimique de quelques métaux lourds dans les eaux cotières du golfe de Bejaia ». Mémoire de master. Université Abderrahmane Mira de Bejaia, 2013.

- [11] F. Z. N. E. H. Zeggai. « La contamination de l'eau par les métaux lourds ». Mémoire de master. Université Abou- Bekr Belkaid-Tlemcen, 2020.
- [12] M. BENGHAZI, K. Mezaghechia, M. Meziti. « Biorémédiation des métaux lourds (cas du plomb) par des souches fongiques isolées et identifiées à partir du lac oubeira (parc national d'el kala- Algérie) ». Mémoire de master. Université 8 Mai 1945 Guelma, 2020.
- [13] B. Hafdallah, A. Necib. « Étude de la toxicité des métaux lourds sur les êtres vivants ». Mémoire de master. Université de larbi tébessi-Tebessa-, 2022.
- [14] A. Nouicer. « Le cuivre : ses propriétés biocide et son utilisation dans les établissements de santé contre les infections nosocomiales ». Mémoire de master. Université des frères Mentouri Constantine, 2020.
- [15] S. Youcef. « Préparation d'un composite à base de test d'oursin et de carapace de crevette pour l'élimination d'un polluant inorganique le Nickel » Mémoire de Master. Université Abdelhamid Ibn Badis- Mostaganem, 2022.
- [16] M. Fabrice, B. Nathalie, R. Masume. « Unité qualité de l'air » rapporte final. Laboratoire central de surveillance de la qualité de l'air, 2002.
- [17] M. Chettiar, R. Addadi. « Élaboration et caractérisation des nouveaux composites à matrice métallique renforcées avec des particules de phase max (Ni/Max) ». Mémoire de master. Université saad dahleb de Blida.
- [18] R. Boumessah, W. Ben Aissa. « L'effet du taux de cobalt sur les propriétés des couches minces d'oxyde de zinc elaborces par spray ». Mémoire de master. Université Mohamed khider de Biskra, 2019.
- [19] K. Chibane, L. Djennad. « Caractérisation physico-chimique et Dosage de quelques métaux lourds de certaines sources d'eau de la région de M'chedallah wilaya de bouira » Mémoire de Master. Université Akli Mohamed oulhadj-Bouira, 2019.
- [20] O. Lattafi. « Contribution à l'évaluation des teneurs en Manganèse et en fer dans les sédiments des eaux de surface : cas des oueds des sous bassins rhumel-seguen et rhumel-smendou ». Mémoire de master. Université Constantine 1, 2014.
- [21] F. Bouras, L. Touati. « Étude de l'élimination du chrome hexavalent par adsorption sur certains matériaux d'origine naturelle ». Mémoire de master. Université A.M. oulhadj-Bouira, 2019.

- [22] F. Neggaz. « Adsorption du chrome par une hydroxyapatite à base de test d'oursin *paracentrotus lividus* (Lamarck 1816) ». Mémoire de master. Université Abdelhamid Ibn Badis-Mostaganem, 2020
- [23] B. Norodom. « L'arsenic, un poison d'actualité ». Thèse de docteur en pharmacie. Université de Rouen, 2016.
- [24] C. Brice. « Mécanismes et transferts de l'arsenic dans une confluence du var et étude d'une méthode de remédiation dans les eaux potables ». Thèse de doctorat. Université Nice-sophia Antipolis – UFR sciences, 2013



*Chapitre III :*

*L'indice de Qualité de l'Eau  
CCME*



### **III.1. Introduction :**

La qualité de l'eau est un sujet de préoccupation majeure dans de nombreux pays en développement en raison de la croissance rapide de la population et de l'urbanisation. Une méthode simple appelée indice de qualité de l'eau (IQE) est employée dans le cadre de l'analyse générale de la qualité de l'eau. Elle utilise un ensemble de paramètres pour réduire une grande quantité d'informations à un seul nombre, généralement sans dimension, de manière facile et reproductible. L'indice de qualité de l'eau du CCME est perçu comme un indicateur de qualité de l'eau car il est utilisé comme un outil pratique pour synthétiser des informations complexes sur la qualité de l'eau et faciliter la communication de ces informations au public.

### **III.2. Historique de la méthode IQE :**

Le premier indice de qualité de l'eau était l'indice saprophytique britannique (SI) (Snow, 1854), défini comme le degré de teneur en matière organique facilement dégradable dans une eau donnée. Par conséquent, les pays européens utilisent le SI comme mesure des niveaux de pollution organique pour classer la qualité de l'eau. En 1945, Horton a mené un développement numérique pour évaluer la qualité de l'eau grâce à l'indice de qualité de l'eau basé sur huit paramètres [1].

### **III.3. Les différents types d'indices IQE :**

L'indice de qualité de l'eau a fait l'objet de recherches considérables au cours des trois dernières décennies, mais les rudiments du concept remontent à plus de 150 ans, à 1848 en Allemagne. Initialement, la présence ou l'absence de certains organismes dans l'eau était utilisée comme indicateur des différentes qualités de l'eau [2].

Pour l'analyse de la qualité de l'eau, il existe différentes méthodes telles que l'indice de qualité de l'eau. L'indice de qualité de l'eau est un outil permettant de déterminer l'état de la qualité de l'eau et, comme tout autre outil, nécessite une compréhension des principes et concepts de base de l'eau ainsi que des questions connexes. Il s'agit d'une méthode bien connue d'expression de la qualité de l'eau, fournissant des unités de qualité de l'eau stables et reproductibles. Mesures en réponse aux changements dans les caractéristiques clés de l'eau [3].

Il existe de nombreux types d'indicateurs pour surveiller la qualité de l'eau, notamment :

### **III.3.1. L'indice de Horton [3]. :**

$$IQE_{\text{Horton}} = IQE \times A \times T$$

Avec :

T : la température.

A : pollution évidente

WQI<sub>A</sub> : La pondération arithmétique des autres variables de la qualité de l'eau :

$$WQI_A = \sum_{i=1}^n q_i w_i$$

Dans cette formule ; le  $q_i$  varie de 0 – 100 pour chaque variable et  $w_i$  sont les poids où ;

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1$$

### **III.3.2. Indice de la qualité de l'eau National Sanitation Foundation (NSFWQI) [3] :**

$$WQI = \sum_{i=1}^n W_i \cdot Q_i$$

$$I = \sum_{i=1}^n I_i \cdot W_i$$

Où :

I<sub>i</sub> : Sous-index de chaque paramètre.

W<sub>i</sub> : facteur de pondération.

Q<sub>i</sub> : est la valeur du paramètre i

n = Nombre de sous-indices.

**III.3.3. Indice de qualité de l'eau de l'Oregon (d'OWQI) [3] :**

$$IQE = \frac{n}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{SLi^2}}$$

Où :

SLi : Sous-indice de chaque paramètre.

n : Nombre de sous-indices.

**III.3.4. Indice de qualité de l'eau Dinius (de DWQI) [3] :**

$$IQE = \sum_{i=1}^n I_i^{W_i}$$

Où :

IQE : l'indice de qualité de l'eau Dinius, dont la valeur est comprise entre 0-100.

Ii : La sous-fonction de l'indice du paramètre de polluant.

Wi : le poids unitaire du paramètre de polluants, dont la valeur est comprise entre 0-1.

n : le nombre de paramètres de polluants.

**III.3.5. Indice de la qualité de l'eau Colombie-Britannique (BCWQI) [3] :**

$$BCWQI = 100 - \left( \frac{F_1^2 + F_2^2 + F_3/3^2}{1,453} \right)$$

**III.3.6. Indice de la qualité de l'eau Conseil canadien des ministres de l'environnement (CCME) [3] :**

$$IQE = 100 - \left( \frac{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}{1,732} \right)$$

Où :

F1 : représente la portée c'est-à-dire le pourcentage des variables de la ligne directrice.

F1 est 100 fois le rapport du nombre des variables dont les objectifs ne sont pas atteints au nombre total de variables.

F2 : représente la fréquence à laquelle les objectifs ne sont pas atteints.

F2 est 100 fois le rapport du nombre de tests dont les objectifs ne sont pas remplis au nombre total de tests.

F3 : représente l'amplitude c'est à dire la plage à laquelle les tests ont échoué. Elle est au-dessus de la ligne directrice.

-La constante 1,732, est un facteur d'échelle (racine carrée de trois) pour garantir que l'indice varie entre 0 et 100.

### **III.3.7. Indice de qualité de l'eau de loisirs (RWQI) [3] :**

$$RWQI = \prod_{i=1}^n Q_i^{W_i}$$

Où :

$Q_i$  : la valeur de notation du paramètre.

$W_i$  : les facteurs de pondération ( $\sum W_i = 1$ ).

### **III.4. Pourquoi utiliser l'indice CCME :**

L'IQE du CCME offre à l'utilisateur une liberté considérable dans la sélection des paramètres et des objectifs, mais la littérature recommande l'utilisation d'au moins quatre paramètres échantillonnés quatre fois par an. Ils sont intégrés à la valeur de l'indice à l'état brut, c'est-à-dire sans standardisation. Il s'agit donc d'un indice simple à utiliser et il est tout aussi important pour tous les paramètres. L'indice de la qualité de l'eau (IQE) du CCME permet d'obtenir des informations complètes sur la qualité de l'eau et facilite l'interprétation et la présentation aux gestionnaires et au public. En effet, le CCME WQI combine mathématiquement plusieurs variables qui décrivent la qualité de l'eau (ex. : oxygène dissous, pH, phosphore total, température, etc.) et simplifie l'évaluation de la qualité de l'eau (barrages et lacs, etc.) et son évolution par rapport aux normes et recommandations pour contrôler sa modification par les activités humaines. L'indice est adopté depuis 2001 et est utilisé dans la surveillance de la qualité de l'eau au Canada et dans d'autres parties du monde, notamment comme indice de la qualité de l'eau potable et de la qualité des eaux de surface (par exemple, lacs, rivières, etc.).

- Les indicateurs de qualité de l'eau comprennent trois caractéristiques qui les distinguent des autres indicateurs :

- Sélection des paramètres.
- Détermination de la fraction de qualité via paramètre : sous-indice.
- Détermination les indicateurs de qualité de l'eau à travers l'agrégation de sous-indicateurs.

### **III.5. Calcul de l'indice Canadien CCME :**

La méthode cohérente de l'indice de qualité de l'eau CCME permet de communiquer des informations sur la qualité de l'eau à la fois à la gestion et au public. En outre, l'IQE a été élaboré par un comité placé sous la tutelle du Conseil canadien des ministres de l'environnement (CCME) et peut être mis en œuvre par de nombreuses agences de l'eau dans divers pays avec de légères modifications. Cette approche a été créée afin d'évaluer l'eau de surface pour préserver la vie aquatique en respectant des directives précises [4].

Il est perçu comme un instrument mathématique très distinct de l'IQBP. Il s'agit d'un indice ouvert, ce qui signifie qu'il n'établit à priori aucun paramètre ni critère de qualité spécifiques à utiliser pour son calcul. Il est néanmoins nécessaire de calculer l'indice en utilisant un ensemble de paramètres adaptés au plan d'eau étudié et à l'utilisation envisagée. Ainsi, cet indice est un outil souple, qu'on peut adapter aux divers programmes de suivi de la qualité de l'eau menés, mais dont les résultats ne sont comparables que dans les cas où l'on utilise les mêmes paramètres et critères [5].

Avant de procéder au calcul, il est nécessaire de procéder à l'organisation des données. Elle est déterminée dans des ensembles de recommandations concernant l'objet étudié. Les valeurs des paramètres physiques et chimiques des eaux de l'entrée et de la sortie de la station sont représentées par ces données. Il est nécessaire de quantifier chacun des trois facteurs qui constituent l'IQE. Le calcul des facteurs F1 et F2 est plutôt simple, cependant, il est nécessaire de suivre quelques étapes supplémentaires pour calculer le facteur F3. On constate que la valeur WQI du premier élément (F1), à savoir l'étendue, est en effet plus importante que celle des deux autres éléments (F2 et F3) [6].

Pour calculer l'indice canadien de la qualité de l'eau, CCME nous suivons les étapes suivantes :

-Formule de l'indice de la qualité de l'eau du CCME [7] :

$$IQE_{CCME} = 100 - \left( \frac{\sqrt{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}}{1,732} \right)$$

Les trois termes utilisés pour calculer l'indice sont : l'étendue (F1) : nombre de variables qui ne respectent pas les recommandations de qualité de l'eau ; la fréquence (F2) : nombre de fois où ces recommandations ne sont pas respectées ; et l'amplitude (F3) : écart des mesures non conformes par rapport aux recommandations applicables.

La division par 1,732 de ces termes est due au fait que chacun des trois facteurs constituant l'indice peut atteindre 100. Ainsi, la longueur maximale est de :

$$\sqrt{100^2 + 100^2 + 100^2} = \sqrt{30\,000} = 173,2$$

La division par 1,732 entraîne une réduction de la longueur maximale à 100. L'indice génère une valeur allant de 0 à 100. Plus le nombre est élevé plus la qualité de l'eau est bonne.

#### *Explication de chacun des termes de l'indice :*

En premier lieu, le concept F1 (étendue) désigne le pourcentage de paramètres dont au moins une mesure ne respecte pas la recommandation correspondante pendant la période d'étude :

$$F1 = \left( \frac{\text{Nombre de paramètres non conformes}}{\text{Nombre total de paramètres}} \right) \times 100$$

**Par la suite, le concept de F2 (fréquence) désigne le taux de résultats analytiques qui ne respectent pas les recommandations.**

$$F2 = \left( \frac{\text{Nombre de résultats non conformes}}{\text{Nombre total de résultats}} \right) \times 100$$

**Finalement, le concept F3 (amplitude) désigne la différence entre les résultats analytiques non conformes et les recommandations auxquelles ils sont liés. Une fonction asymptotique appelée F3 représente la somme normalisée des coefficients d'écart (snéc) par rapport aux recommandations, dans une plage de valeurs allant de 0 à 100.**

$$F3 = \left( \frac{\text{sncé}}{0,01 \times \text{sncé} \pm 0,01} \right)$$

Le degré global de non-conformité est calculé en additionnant les coefficients d'écart des résultats analytiques non conformes et en divisant cette somme par le nombre total de résultats analytiques. La somme normalisée des coefficients d'écart (sncé) est connue sous ce nom.

$$\text{sncé} = \left( \frac{\sum_i \text{coefficient d'écart}_i}{\text{Nombre total de résultats}} \right)$$

Pour déterminer le coefficient d'écart, nous avons trois possibilités :

- Si le résultat ne doit pas aller au-delà de ce qui est recommandé :

$$\text{coefficient d'écart}_i = \left( \frac{\text{Résultat non conforme}_i}{\text{Recommandation}_i} \right) - 1$$

- En cas de résultat inférieur à la recommandation :

$$\text{coefficient d'écart}_i = \left( \frac{\text{Recommandation}_i}{\text{Résultat non conforme}_i} \right) - 1$$

- En cas de nullité de la recommandation (égale à zéro) :

$$\text{coefficient d'écart}_i = \text{Résultat non conforme}$$

### **III.6. Description générale de l'indice :**

L'IQE du CCME est basé sur la mesure de l'étendue, de la fréquence et de l'amplitude des coefficients d'écart par rapport aux valeurs recommandées. Après avoir calculé la valeur de l'IQE, il est possible de la positionner dans l'une des catégories de qualité de l'eau suivantes :

**Tableau III.1** : Classement des catégories de qualité de l'eau.

<b>La qualité d'eau</b>	<b>Valeur-IQE</b>	<b>Description</b>
<b>Excellente</b>	Valeur de l'IQE du CCME de 95 à 100	Il n'y a presque aucune menace ni détérioration de la qualité de l'eau, les conditions sont très proches des niveaux naturels ou originels.
<b>Bonne</b>	Valeur de l'IQE du CCME de 80 à 94	La qualité de l'eau est maintenue sans aucune menace ou dégradation grave ; les conditions sont rarement en deçà des niveaux naturels ou souhaitables.
<b>Moyenne</b>	Valeur de l'IQE du CCME de 65 à 79	Normalement, la qualité de l'eau est préservée, mais elle est parfois en danger ou dégradée ; les conditions peuvent parfois dépasser les niveaux naturels ou souhaitables.
<b>Médiocre</b>	Valeur de l'IQE du CCME de 45 à 64	La qualité de l'eau est fréquemment menacée ou détériorée ; les conditions s'écartent souvent des niveaux naturels ou souhaitables.
<b>Mauvaise</b>	Valeur de l'IQE du CCME de 0 à 44	La qualité de l'eau est souvent en danger ou en dégradation ; les conditions sont souvent en deçà des niveaux naturels ou souhaitables.

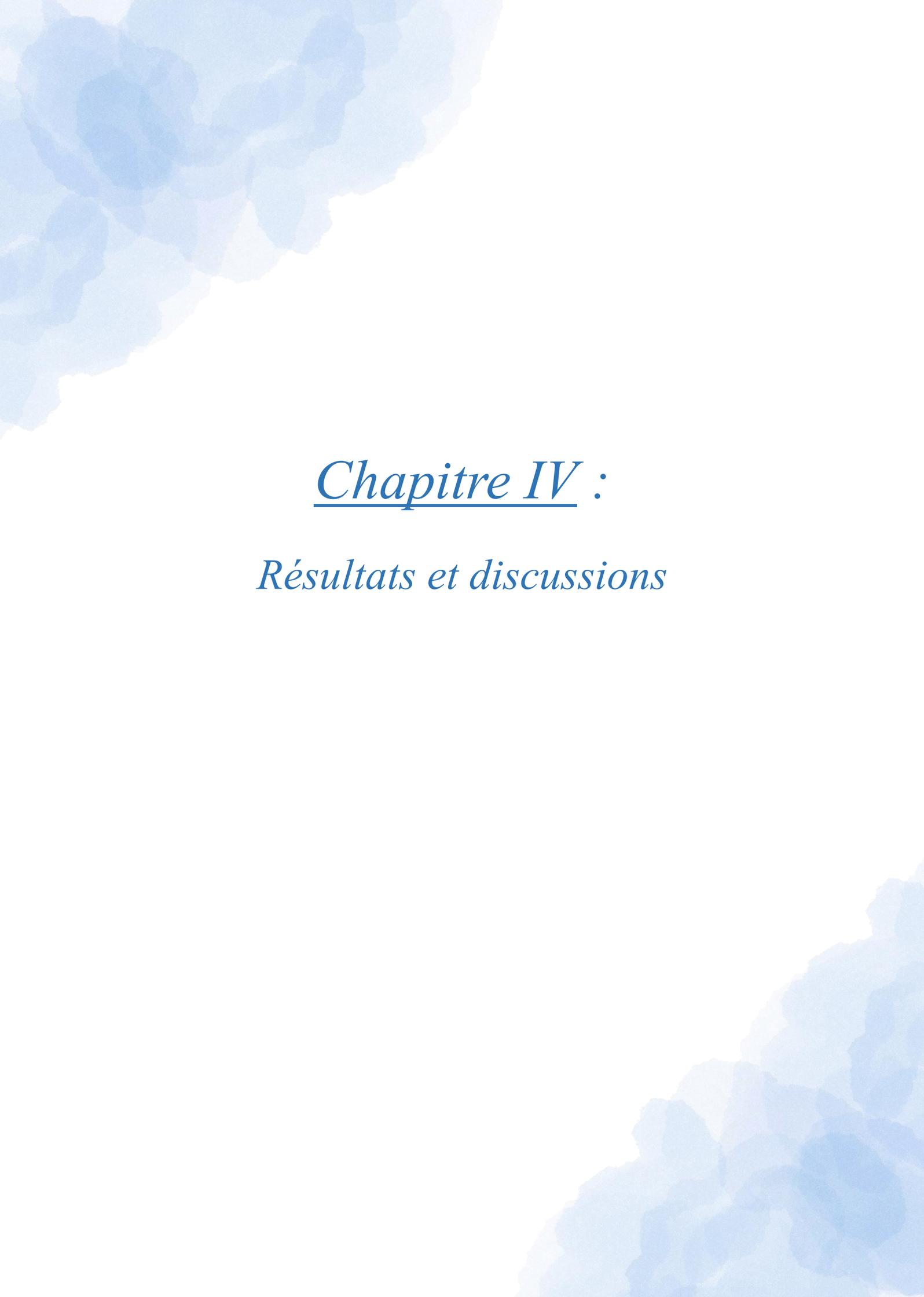
Il est essentiel de diviser la plage de valeurs de l'IQE du CCME en catégories de qualité des eaux, mais cela reste un processus subjectif. Il est essentiel que ce processus repose sur les informations les plus fiables disponibles, les avis des experts et les attentes de la population concernant la qualité de l'eau.

### **III.7. Conclusion :**

L'indice de qualité de l'eau canadien CCME est considéré comme l'un des indicateurs les plus importants au monde, car il a la capacité d'évaluer l'eau et de donner des résultats décisifs dans le choix de la qualité de l'eau aux dépens de l'étude. Il est important que cet indice utilise des recommandations précises à des fins de comparaison selon la présence de paramètres.

**Références :**

- [1] A. Bouzidi, N. E. Tarmoune. « Qualite Des Eaux De L'aquifere Du Continental Intercalaire (CI) De Metlili » . Mémoire de Master. Université Kasdi Merbah – Ouargla, 2021.
- [2] A. Talhaoui, A. El Hamaidi, H. Jaddi, H. Ousmana, I. Mansouri. « *calcul* De L'indice De Qualité De L'eau (IQE) Pour L'évaluation De La Qualité Physico-Chimique Des Eaux Superficielles De L'Oued Moulouya (NE, Maroc) ». Thèse De Doctorat. Université Moulay Ismail, Meknès, Maroc, 2020.
- [3] H. Guechi, A. Leulmi. « *Les Eaux Superficielles Caracterisation Physico Chimique Et Aptitude (Lac Reservoir du Barrage Mexa Nord Est Algerien)* ». Memoire De Master. Universite Badji Mokhtar – Annaba, 2016
- [4] I. Benrahou. « *Analyse comparative des modèles d'indice de la qualité des eaux de surface (cas du barrage de Keddara)* ». Memoire de Master. Université Aboubakr Belkaid – Tlemcen , 2024.
- [5] S. Hébert. « *Comparaison Entre L'indice de La Qualité Générale de L'eau du Québec (IQBP) Et L'indice Du Qualité Des Eaux Du CCME (IQE) Pour La Protection De La Vie Aquatique* ». Bibliothèque nationale du Québec, 2005.
- [6] F. F. Z. Oggadi. « *Analyse Des Indices De La Qualité De L'eau De La Station D'épuration D'ain-Houtz, tlemcen* ». Mémoire de Master. Université Aboubakr Belkaid – Tlemcen, 2021.
- [7] <https://www150.statcan.gc.ca/n1/pub/16-001-m/2007003/4053419-fra.htm> Le 26 Mai à 20 :30 , 2024.



# *Chapitre IV :*

*Résultats et discussions*

## **IV.1. Introduction :**

La qualité de l'eau joue un rôle crucial dans la gestion environnementale. Ce critère est très important et permet d'assurer la santé et la pérennité des écosystèmes aquatiques.

Le prélèvement d'eau potable est un processus crucial pour assurer l'approvisionnement en eau de qualité pour la consommation humaine. Il implique l'extraction de l'eau des sources naturelles telles que les rivières, les lacs, les nappes phréatiques et les réservoirs, suivie de traitements pour la rendre potable. Ce processus est fondamental pour la santé publique, car l'eau potable doit être exempte de contaminants et respecter des normes strictes de qualité.

Les étapes de prélèvement et de traitement de l'eau potable incluent souvent la filtration, la désinfection (généralement par chloration ou par d'autres méthodes comme l'ozonation ou l'ultraviolet), ainsi que des traitements spécifiques pour éliminer les métaux lourds, les produits chimiques et les microorganismes pathogènes. Ces procédures sont encadrées par des réglementations rigoureuses afin de garantir que l'eau distribuée aux consommateurs soit sûre et saine.

En outre, le prélèvement de l'eau potable doit être réalisé de manière durable, en tenant compte de l'impact environnemental et de la gestion des ressources hydriques pour éviter leur épuisement. Les défis incluent la pollution des sources d'eau, le changement climatique affectant la disponibilité de l'eau et la croissance démographique augmentant la demande en eau potable.

Notre travail de mémoire s'est articulé sur le traitement de l'eau et l'étude de la qualité de l'eau desservie pour la consommation. Pour ce faire nous avons analysé de l'eau brute et traitée au niveau de la station de traitement de Hammam Debbagh. Nous avons ensuite procédé à la collecte de l'eau dans différents points de consommation afin d'étudier la qualité, et de déterminer la contamination métallique (métaux lourds) de l'eau potable desservie à une large fraction de la population de la ville de Guelma. Nous avons procédé à l'analyse de l'eau collectée par la spectrométrie d'absorption atomique.

Afin d'évaluer la qualité de l'eau et la quantifier nous avons utilisé l'Indice de Qualité de l'Eau (IQE) du Conseil Canadien des Ministres de l'Environnement (CCME) qui s'est avéré être un bon outil de calcul. Il est essentiel pour évaluer la qualité de l'eau dans

différents environnements aquatiques. Il offre une méthode standardisée pour synthétiser les données sur différents paramètres de qualité de l'eau en une seule valeur. Dans ce travail, et afin d'utiliser cette précieuse information nous avons procédé aux différentes étapes de calcul en utilisant Microsoft Excel, pour sa grande performance connue et sa puissance pour manipuler les données, effectuer les multiples calculs et élaborer les courbes.

## **IV.2. Comparaison entre l'eau brute et l'eau traitée :**

**Tableau IV.1 :** Comparaison entre l'eau brute et l'eau traitée [1].

Eau brute	Eau traitée
<p>-<b>L'eau brute</b> fait référence à l'eau naturelle, en provenance directe de sources comme les barrages, les rivières, les lacs, les nappes phréatiques ou les réservoirs. Aucun traitement de purification spécifique n'a été effectué pour la rendre potable. Parmi les impuretés présentes dans l'eau brute, on retrouve des sédiments, des matières organiques, des bactéries, des virus, des produits chimiques et des minéraux dispersés. Avant d'être utilisée pour la consommation humaine ou pour des usages domestiques, agricoles ou industriels, il est nécessaire de traiter l'eau brute afin de supprimer ces impuretés et de la rendre sûre à boire.</p>	<p>-<b>L'eau traitée</b> est une eau qui subit un processus de purification pour éliminer les impuretés et la rendre propre à la consommation humaine ou à d'autres usages. Ce processus comprend généralement plusieurs étapes, telles que la filtration, la désinfection, la coagulation et la floculation. La filtration élimine les particules en suspension, les sédiments et autres impuretés. La désinfection cible les agents pathogènes tels que les bactéries, les virus et les parasites présents dans l'eau. Les méthodes actuelles incluent le chlore, l'ozone ou les UV. Le couplage et la floculation sont des processus chimiques et physiques qui rassemblent les particules en suspension en flocons plus gros, garantissant la qualité de l'eau et sa conformité aux normes de santé publique. Des contaminants spécifiques, tels que des métaux lourds, des produits chimiques toxiques ou des composés organiques, peuvent être éliminés. Une fois toutes ces étapes terminées, l'eau est traitée et prête à être consommée ou à d'autres fins comme l'irrigation agricole ou les processus industriels.</p>

### **IV.3. Pourquoi contrôler l'eau :**

L'accès à une eau potable et de qualité est essentiel pour préserver la santé. Toutefois, il est important de souligner que même si votre eau est délicieuse, claire et sans odeur, elle peut tout de même contenir des substances contaminantes invisibles. Un composé toxique ou indésirable, connu sous le nom de contaminant, a la capacité de contaminer l'eau et de causer des préjudices à la santé. En effet, il n'y a qu'une seule manière de s'assurer de la qualité de votre eau et de l'utiliser sans problème il faut faire analyser l'eau en laboratoire [2] afin d'assurer une qualité stable. L'eau potable doit être exempte de polluants et constituée de minéraux et d'oligo-éléments suffisants pour la consommation humaine [3]. Aussi pour vérifier la qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau et s'assurer que l'eau ne contient aucun micro-organisme polluant et qu'elle présente un taux suffisamment faible de substances pouvant être nocives pour la santé, telles que les hydrocarbures, le chlore, les métaux lourds, les nitrites, etc. [4], il est essentiel d'analyser l'eau d'un barrage afin d'assurer la sécurité de l'eau de consommation. Grâce à elle, il est possible d'identifier les éventuels contaminants et de prendre les mesures adéquates pour garantir la qualité de l'eau. Il est important de recourir à un laboratoire agréé pour effectuer ces analyses cruciales [5].

### **IV.4. Contrôler l'eau mensuellement :**

L'eau potable est l'aliment le plus soumis à des réglementations strictes et le mieux contrôlé à l'échelle mondiale. Elle est soumise à une surveillance sanitaire continue afin d'assurer sa sécurité sanitaire et doit respecter des normes très rigoureuses en ce qui concerne la qualité des eaux destinées à la consommation humaine. Le contrôle chimique et bactériologique des eaux est effectué régulièrement à la source et dans le réseau, et leur qualité respecte les normes établies par la loi.

Chaque mois, on détermine le nombre d'analyses d'eau. C'est notamment le cas :

- Des vérifications régulières, qui sont réalisées chaque mois et pendant lesquelles 26 paramètres sont examinés au total.
- Des vérifications complètes, réalisées 2 à 3 fois par an et durant lesquelles 106 paramètres, dont 49 pesticides différents, sont examinés au total.

- Des vérifications régulières des sources et des réservoirs, qui incluent deux campagnes de contrôles complets par an, des analyses chimiques des sources et des vérifications hebdomadaires.

Le nombre total de vérifications réalisées par le Service des Eaux est de plus de 2000 par an [6].

### **IV.5. Les étapes de l'analyse de l'eau :**

Pour bien analyser l'eau et étudier sa qualité nous avons suivi les étapes qui suivent.

#### **IV.5.1. Nettoyage des flacons :**

##### ***IV.5.1.1. Trempage initial :***

- Les flacons sont immergés dans une solution d'eau et de javel pendant une durée de 10 heures.

##### ***IV.5.1.2. Rinçage à l'eau :***

- Les flacons sont rincés à l'eau 2 à 3 fois.
- Ensuite, ils sont rincés à l'eau distillée.

##### ***IV.5.1.3. Préparation de la solution d'acide nitrique :***

- Une solution de 10% d'acide nitrique à 65% est préparée. Pour ce faire, 100 ml d'acide nitrique à 65% sont ajoutés dans une fiole jaugée de 1 litre.
- La fiole est ensuite complétée avec de l'eau distillée jusqu'à la ligne de jauge.

##### ***IV.5.1.4. Nettoyage à l'acide nitrique dilué :***

Les flacons de 1 litre et de 0,5 litre sont lavés plusieurs fois avec la solution d'acide nitrique diluée préparée précédemment.

##### ***IV.5.1.5. Séchage à l'étuve :***

Les flacons sont placés dans une étuve et chauffés pendant deux heures pour assurer leur séchage complet.

Ces étapes garantissent que les flacons soient correctement nettoyés et prêts pour une utilisation en laboratoire.



**Figure IV.1 :** Nettoyage des flacons.

#### **IV.5.2. Prélèvement et échantillonnage :**

L'eau étudiée a été prélevée dans plusieurs quartiers de la ville de Guelma notamment : Châabna Ahmed cité Seddiki Taleb, cité 19 juin, cité 26 coopératives, cité Bara Lakhdar, Chekrouba cité 800 logements, Boulevard cité Ali Chorfi, cité 18 Février. Et sa qualité a été comparée à celle de la station de traitement des eaux à Hammam Debbagh.

#### **IV.5.3. Technique de prélèvement :**

L'étape d'échantillonnage influence directement sur les résultats analytiques obtenus. Des précautions élémentaires doivent être prises en considération pour obtenir un échantillon représentatif afin de minimiser les risques associés à la contamination de l'échantillon. Les flacons stérilisés de 1 litre ont été remplis après les avoir rincés avec l'eau à étudier. Puis, les flacons ont été transportés dans des glacières isothermes pour maintenir la température de l'eau à étudier constante jusqu'à son acheminement au laboratoire.

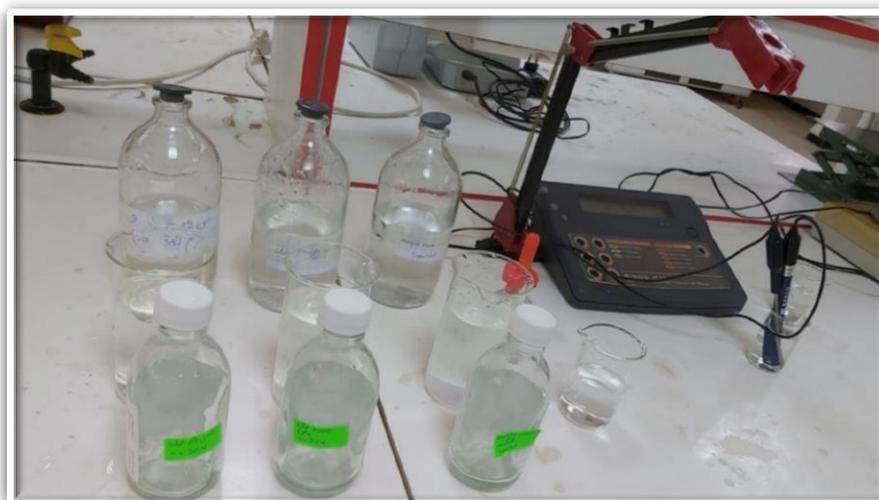


**Figure IV.2 :** Prélèvement des échantillons.

#### **IV.5.4. Analyses physico-chimiques :**

##### ***IV.5.4.1 Méthode électrochimique :***

Cette méthode est utilisée pour la mesure du pH à l'aide d'un pH-mètre.



**Figure IV.3 :** Méthode électrochimique.

**Détermination du potentiel hydrogène (pH) :****✚ Matériel :**

- pH-mètre
- Électrode
- Bécher de 50 ml
- Les échantillons
- Eau distillée
- Acide nitrique

**✚ Mode opératoire :**

La détermination du pH passe par les deux étapes :

- Étalonnage du pH ;
- Mesurer le résultat ;
- Rincer l'électrode avec l'eau distillée puis plusieurs fois avec l'échantillon ;
- Plonger l'électrode dans l'eau à analyser avec ajout de gouttes d'acide nitrique jusqu'à ce que le pH devienne  $< 2$  ;
- Laisser l'électrode se stabiliser pendant quelques secondes ;
- Noter la valeur affichée.

**IV.5.4.2 Méthode d'absorption atomique :**

L'absorption atomique est une technique analytique utilisée pour déterminer la concentration de métaux lourds dans divers échantillons, y compris l'eau.



**Figure IV.4 :** Spectromètre d'absorption atomique.

#### ***IV.5.4.2.1 Définition :***

L'absorption atomique est une méthode spectroscopique qui mesure les concentrations de métaux dans des échantillons en analysant l'absorption de la lumière par des atomes libres dans un état gazeux.

#### ***IV.5.4.2.2 Principe :***

Le principe de l'absorption atomique repose sur les étapes suivantes :

- 1. Vaporisation de l'échantillon :** L'échantillon liquide est introduit dans une flamme ou un four à graphite, où il est vaporisé pour produire des atomes libres.
- 2. Excitation des atomes :** Une lampe spécifique à l'élément à analyser émet une lumière de longueur d'onde précise, correspondant à l'énergie nécessaire pour exciter les atomes de cet élément.
- 3. Absorption de la lumière :** Les atomes, à l'état fondamental absorbent la lumière émise par la lampe, augmentant ainsi leur niveau d'énergie.
- 4. Mesure de l'absorption :** La quantité de lumière absorbée par les atomes est proportionnelle à leur concentration dans l'échantillon. Cette absorption est mesurée par un détecteur.

#### ***IV.5.4.2.3 Utilisations :***

La spectrophotométrie d'absorption atomique est essentiellement une méthode d'analyse quantitative qui convient beaucoup mieux à la détermination des traces qu'à celle des composants majeurs. La spectrométrie d'absorption atomique permet le dosage de nombreux matériaux inorganiques (roches et minerais, métaux et alliages...). Elle permet aussi de quantifier les éléments métalliques en solutions. Elle est alors largement utilisée pour la détection et la quantification de métaux lourds dans l'eau, car elle offre une haute sensibilité et une précision remarquable. Voici quelques utilisations spécifiques :

- 1. Analyse de la qualité de l'eau :** Détection de métaux lourds tels que le plomb (Pb), le mercure (Hg), le cadmium (Cd), et l'arsenic (As) dans les sources d'eau potable et les eaux usées.

**2. Contrôle environnemental :** Surveillance de la contamination des eaux de surface et souterraines par des métaux lourds provenant des activités industrielles, agricoles, et minières.

**3. Recherche scientifique :** Études sur la toxicité et la bioaccumulation des métaux lourds dans les écosystèmes aquatiques.

**4. Réglementation et conformité :** s'assurer que les niveaux de métaux lourds dans l'eau respectent les normes et les régulations établies par les organismes de santé publique et environnementale.

#### **IV.6. Analyse des paramètres de contrôle de l'eau brute :**

Les courbes de variation des paramètres de contrôle de l'eau brute :

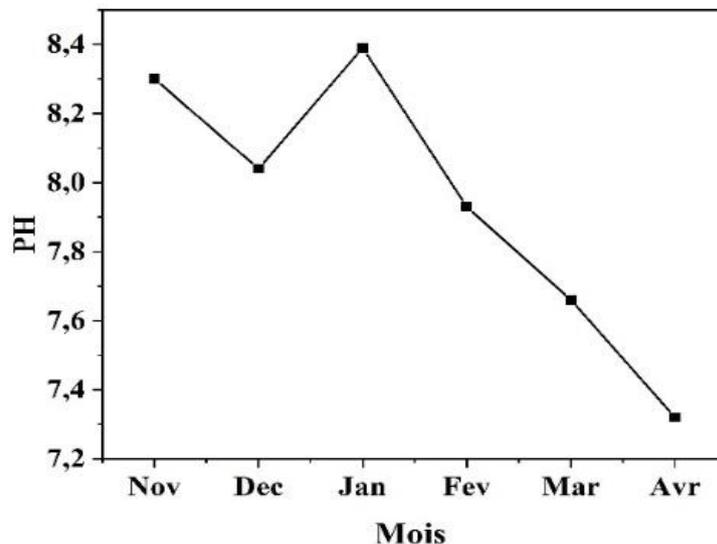


Figure IV.5 : Variations du pH de l'eau sur 6 mois

#### **Commentaires :**

Le graphe montre l'évolution du pH de l'eau sur une période de 6 mois. On remarque que le pH en Novembre est légèrement élevé jusqu'en Décembre, où il diminue, puis remonte en Janvier, où il atteint son maximum, après quoi une baisse libre du pH se produit pendant trois mois consécutifs Février, Mars et Avril.

**Interprétations :**

La diminution du pH de l'eau est principalement causée par les variations environnementales, comme les quantités de pluie considérées comme acides, puisque le pH de la pluie est compris entre 5 et 6,5. Cela implique que chaque pluie entraîne une diminution du pH de l'eau. Le pH de l'eau est donc lié à la quantité de pluie tombée, en plus de la température, des dépôts de minéraux, etc.

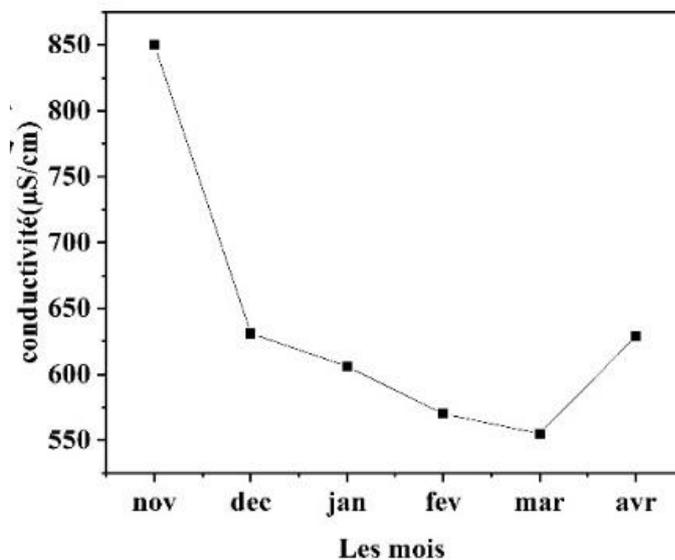


Figure IV.6 : Variations de la conductivité de l'eau sur 6 mois

**Commentaires :**

La courbe graphique représente l'évolution de la conductivité de l'eau sur une période de 6 mois. Durant le mois de Novembre, le coefficient de conductivité est à sa valeur la plus élevée, puis il a diminué fortement en Décembre, et en Janvier. La conductivité augmente encore en Février et poursuit sa baisse puis sa hausse aux mois de Mars, et avril.

**Interprétations :**

La baisse de la conductivité de l'eau est principalement causée par des facteurs environnementaux et naturels tels que les précipitations intenses, car la pluie a souvent une faible conductivité, ainsi que l'utilisation d'engrais chimiques qui pénètrent dans l'eau, etc.

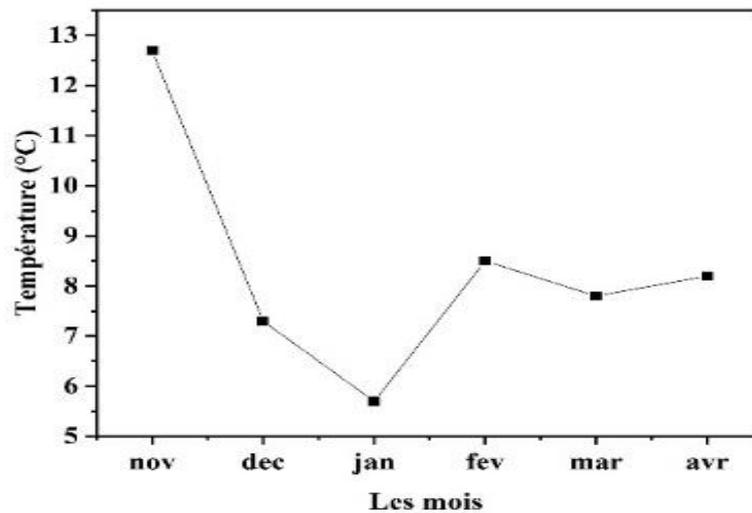


Figure IV.7 : Variations de la température de l'eau sur 6 mois

### Commentaires :

La courbe graphique représente l'évolution de la température sur une période de 6 mois, où l'on remarque que durant le mois de Novembre la température est élevée jusqu'en décembre où elle diminue et poursuit sa diminution jusqu'à un minimum en Janvier. Puis la température augmente en Février et diminue encore relativement en Mars pour augmenter légèrement en Avril.

### Interprétations :

Le climat environnemental est responsable des variations de température de l'eau. Quand le climat est chaud, l'eau a une température élevée, et quand le climat est froid, elle est basse. Cela s'explique aussi par la profondeur du barrage. Que l'eau soit prise à une profondeur importante ou à une profondeur moindre elle n'est pas à la même température.

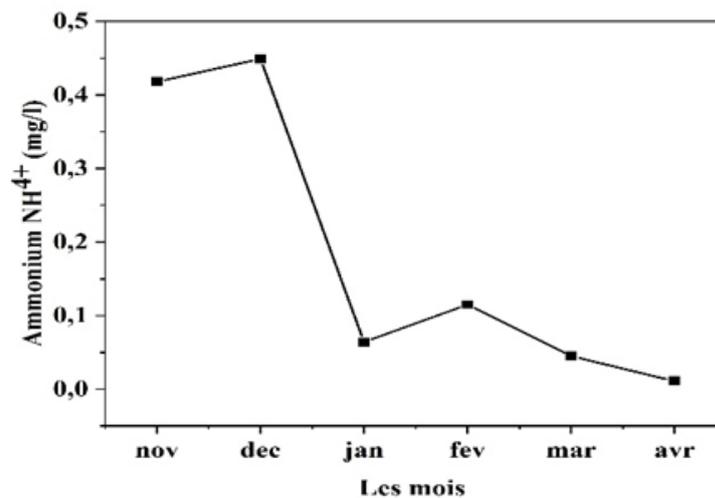


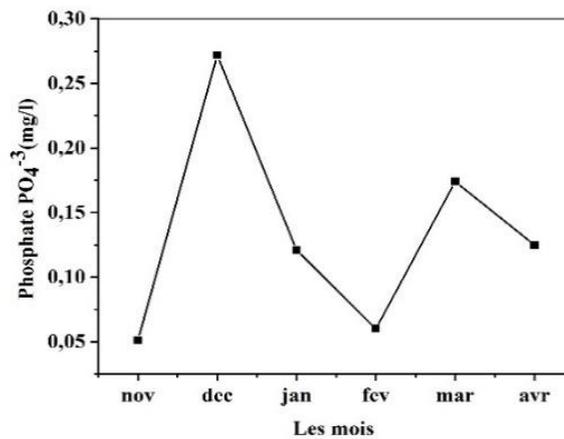
Figure IV.8 : Variations de la teneur en Ammonium ( $NH_4^+$ ) de l'eau sur 6 mois

### Commentaires :

La courbe représente l'évolution de la teneur en l'ammonium sur 6 mois, où l'on remarque une augmentation qui atteint un pic de Novembre à Décembre, puis diminue fortement jusqu'au mois de Février, puis augmente à nouveau en Mars, puis diminue légèrement au mois d'Avril.

### Interprétations :

La quantité d'Ammonium dans l'eau augmente à cause des précipitations, mais aussi dû à la présence d'eaux usées mélangées, ainsi qu'à la pollution industrielle, aux engrais chimiques, etc. La quantité d'Ammonium dans l'eau diminue en raison de l'arrêt des précipitations, ainsi que de l'agent oxygène oxydant les matières organiques. Il comprend également les poissons et les algues qui consomment de la matière organique.



**Figure IV.9 :** Variations de la teneur en Phosphate ( $PO_4^{-3}$ ) de l'eau sur 6 mois.

### Commentaires :

La courbe graphique représente l'évolution de la teneur du phosphate sur une période de 6 mois, où l'on remarque au cours du mois de Novembre que la quantité de phosphate est quelque peu faible, puis augmente de manière significative lorsque la quantité de phosphate atteint son maximum en Décembre et puis diminue progressivement entre Janvier et Février pour atteindre sa valeur minimale et augmenter légèrement en Mars puis diminue encore en Avril.

### Interprétations :

L'augmentation de la quantité de phosphate est perçue comme un indicateur de pollution. On peut expliquer cela par l'emploi d'engrais chimiques, les eaux usées ou les eaux d'usine contenant du phosphate, ainsi que les fuites de phosphate du sol dans l'eau, etc. Les variations de température, ainsi que le rôle des bactéries et des algues dans la consommation du phosphate, ainsi que le rôle des roches et du sol dans le stockage du phosphate, affectent la diminution ou l'augmentation de sa teneur dans l'eau.

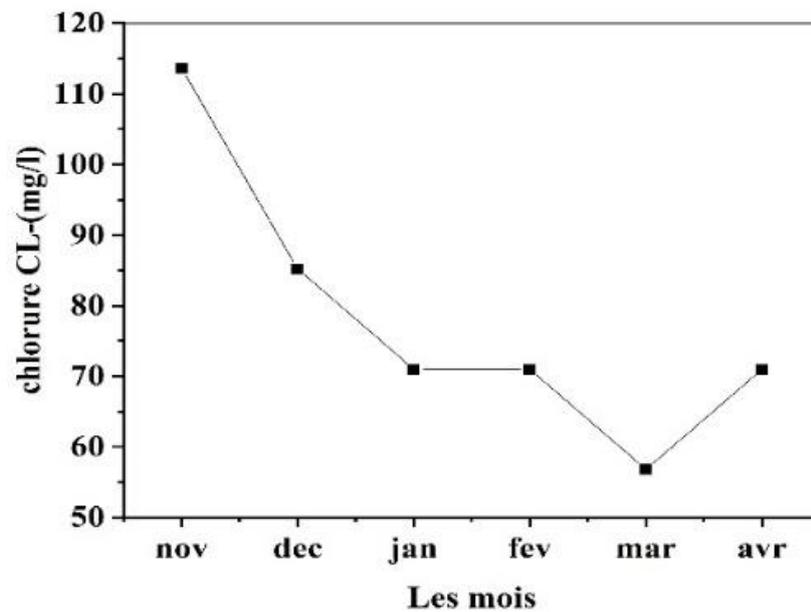


Figure IV.10 : Variations de la teneur du chlorure ( $CL^-$ ) de l'eau sur 6 mois

### Commentaires :

Le graphe montre les variations de la teneur du chlorure dans l'eau. On remarque qu'elle a une valeur très élevée en Novembre et commence à diminuer progressivement à partir du mois de Décembre et Janvier. Elle se stabilise alors jusqu'au mois de février, puis diminue en mars, puis augmente encore au mois d'Avril.

### Interprétations :

La diminution de la concentration de chlorure dans l'eau diminue s'explique par les précipitations qui diminuent le taux de chlorure et par la présence d'organismes consommateurs de chlorure. Lorsque la quantité de chlorure est importante, cela est dû à la pollution de l'environnement par les engrais chimiques ainsi qu'à la présence de bactéries, et à la fuite dans l'eau de chlorure présent dans le sol.

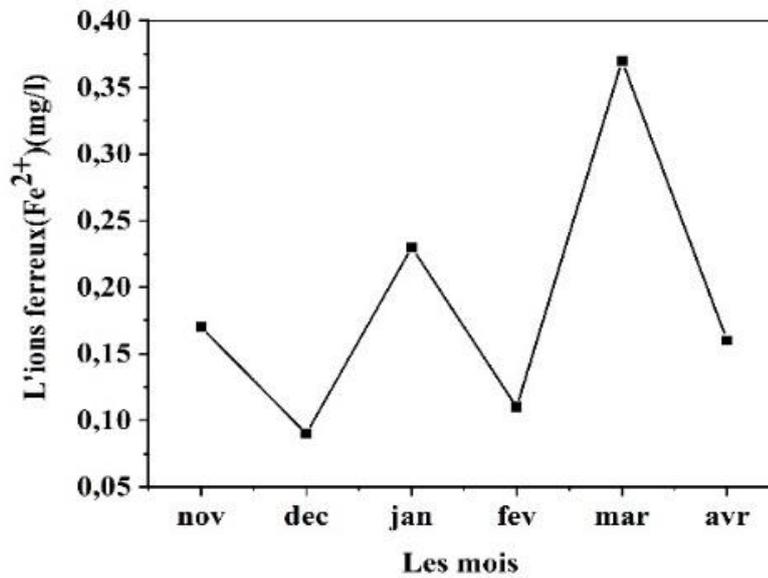


Figure IV.11 : Variations de la teneur en ions Fer ( $Fe^{2+}$ ) dans l'eau sur 6 mois

### Commentaires :

Le graphe est une courbe qui représente l'évolution des ions fer ( $Fe^{2+}$ ) sur une période de 6 mois. On constate une variation fluctuée de la teneur en  $Fe^{2+}$  commençant par une diminution de la quantité de Novembre à Décembre, puis elle augmente en Janvier et recommence à diminuer en Février. Et même chose ensuite entre les mois de Mars et Avril. Il atteint un maximum en Mars.

### Interprétations :

La diminution de la quantité de fer dans l'eau est due au dépôt de fer au fil du temps ceci entraîne également la présence d'organismes consommateurs de fer, ce qui entraîne également l'oxydation du fer ce qui réduit le niveau de fer. Le pourcentage élevé de fer dans l'eau est dû au sol et aux roches qui sont riches en fer traversées par l'eau ainsi qu'aux déchets industriels contenant du fer ainsi qu'à l'utilisation d'engrais agricoles contenant du fer, entre autres.

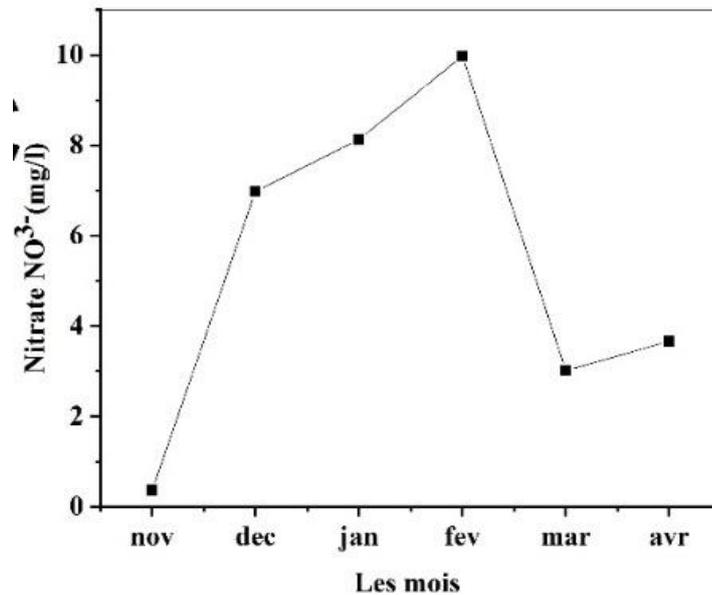


Figure IV.12: Variations de la teneur en Nitrate ( $NO_3^-$ ) de l'eau sur 6 mois

### Commentaires :

Le graphe représente l'évolution de la teneur en nitrates sur 6 mois. On remarque que la quantité de nitrate augmente de Novembre à Décembre pour atteindre sa valeur maximale. Puis elle diminue brutalement en Janvier, pour atteindre son maximum en février, puis il diminue fortement en mars, puis revient et remonte en avril.

### Interprétations :

La quantité de nitrates augmente en raison de l'utilisation d'engrais chimiques contenant des nitrates qui pénètrent dans l'eau, des précipitations de pluies, des eaux usées polluées et des déchets industriels contenant des nitrates qui pénètrent dans l'eau. Par contre la réduction de la quantité de nitrates est due à l'absorption des nitrates par les plantes et aux variations de température.

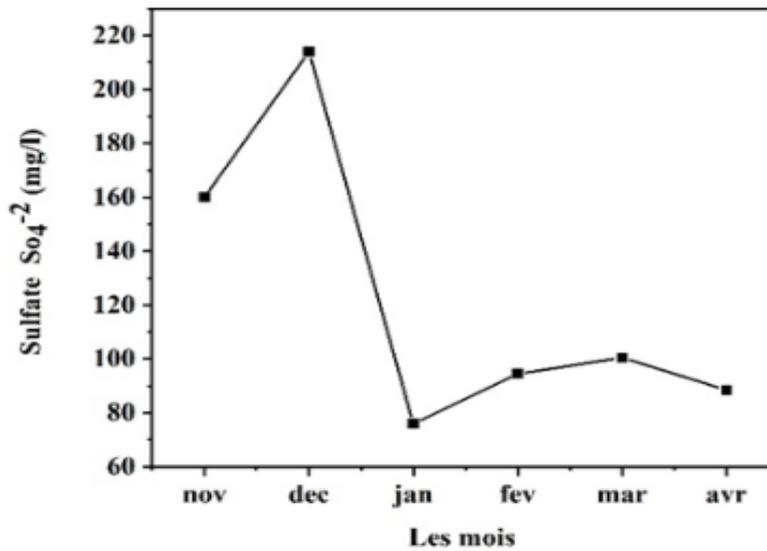


Figure IV.13 : Variations de la teneur en Sulfate ( $SO_4^{-2}$ ) de l'eau sur 6 mois

### Commentaires :

La courbe montre l'évolution des sulfates sur une période de 6 mois. On remarque qu'entre les mois de Novembre et Décembre la quantité de sulfates a augmenté, atteignant le niveau le plus élevé, puis elle a diminué de manière significative au mois de Janvier. Puis elle est revenue et a augmenté relativement au cours des mois de Février et Mars. La quantité a légèrement diminué en Avril.

### Interprétations :

La hausse de la quantité de sulfates est causée par l'emploi d'engrais chimiques sulfatés, ainsi que par les déchets industriels sulfatés et les eaux usées. En ce qui concerne la baisse des sulfates dans l'eau, elle est due à la présence d'organismes vivants qui consomment des sulfates, ainsi qu'aux variations de température et à la filtration par le sol et les sédiments.

### IV.7. Analyse des paramètres de contrôle de l'eau traitée :

Les courbes de variation des paramètres de contrôle de l'eau traitée

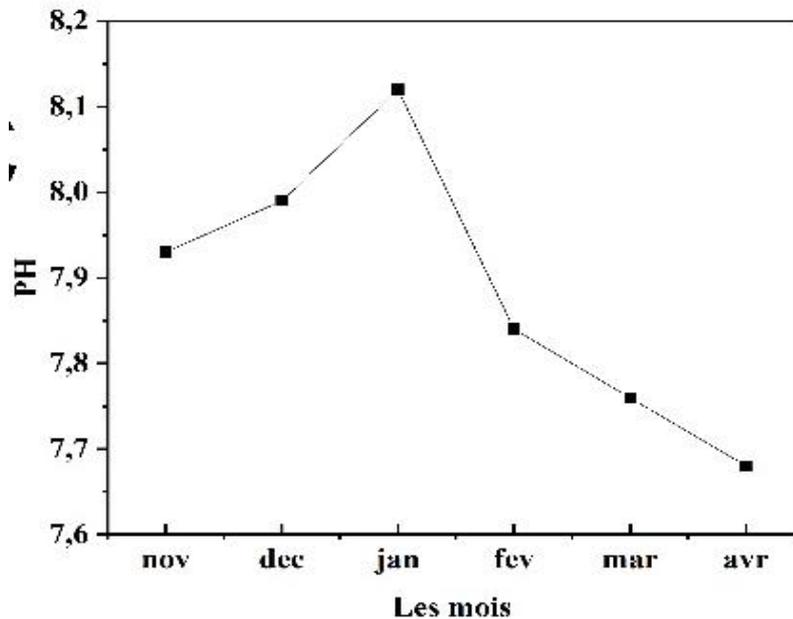


Figure IV.14 : Variations du pH de l'eau sur 6 mois

#### **Commentaires :**

Le dessin représente une courbe graphique de l'évolution du pH sur 6 mois. On remarque qu'en Novembre la valeur du pH est moyenne, puis elle augmente progressivement au cours du mois de décembre, pour atteindre une valeur maximale au mois de Janvier, après quoi elle diminue significativement au cours des mois de Février, Mars et Avril.

#### **Interprétations :**

La hausse du pH en Décembre et Janvier est causée par la pluviométrie qui n'a pas été suffisante par rapport aux mois de Février, Mars et Avril, où la pluviométrie a été plus importante, ce qui a entraîné une baisse du pH au cours des trois mois.

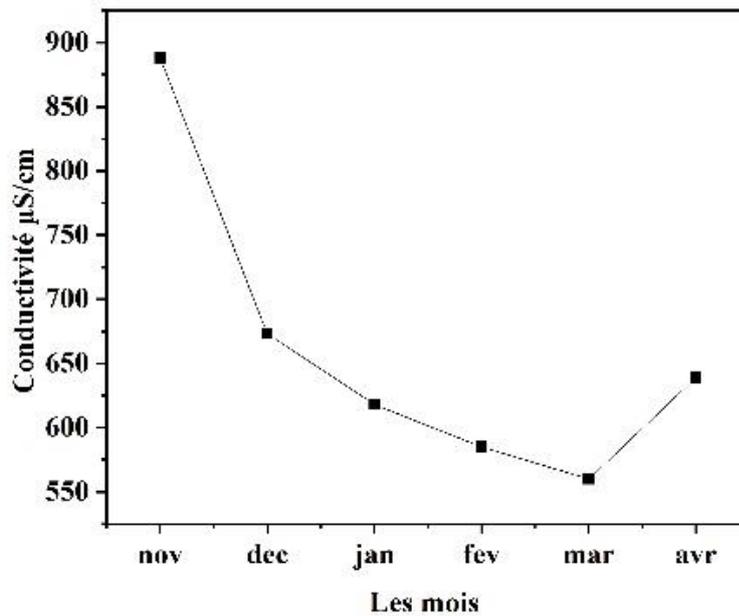


Figure IV.15 : Variations de la conductivité de l'eau sur 6 mois

### Commentaires :

Le graphe montre les changements de la conductivité de l'eau sur 6 mois. On remarque qu'au cours du mois de Novembre la conductivité est à sa valeur la plus élevée et commence à diminuer au cours du mois de Décembre et des mois de Janvier, Février et Mars, jusqu'à ce qu'il augmente relativement en Avril.

### Interprétations :

La conductivité de l'eau, en Novembre et Décembre, s'explique par une faible pluviométrie. Toutefois, en Janvier, Février et Mars, la conductivité diminue davantage, en raison de la forte pluviométrie pendant ces mois, puis la conductivité augmente légèrement en Avril, en raison des conditions environnementales et du climat tempéré.

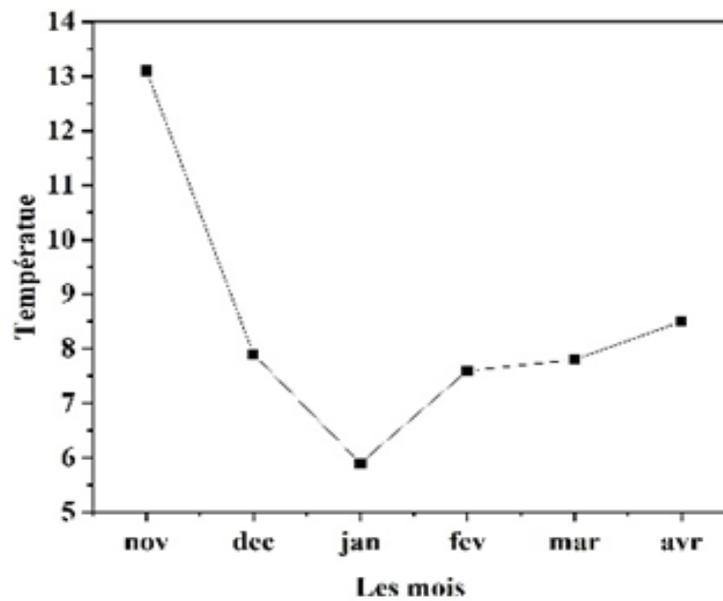


Figure IV.16 : Variations de la température de l'eau sur 6 mois

### Commentaires :

Le graphique représente les changements de la température de l'eau pendant 6 mois. On remarque que la température au mois de Novembre a la valeur la plus élevée, puis diminue au mois de Décembre et Janvier, puis commence à augmenter relativement en février, Mars et Avril.

### Interprétations :

Le changement climatique est responsable de la diminution des températures, notamment pendant les trois mois de Novembre, Décembre et Janvier, car le temps reste froid, ce qui entraîne une baisse de la température de l'eau. Cependant durant les trois mois de Février, Mars et Avril, le climat est tempéré, et les températures sont plus ou moins élevées, d'où la hausse de la température de l'eau.

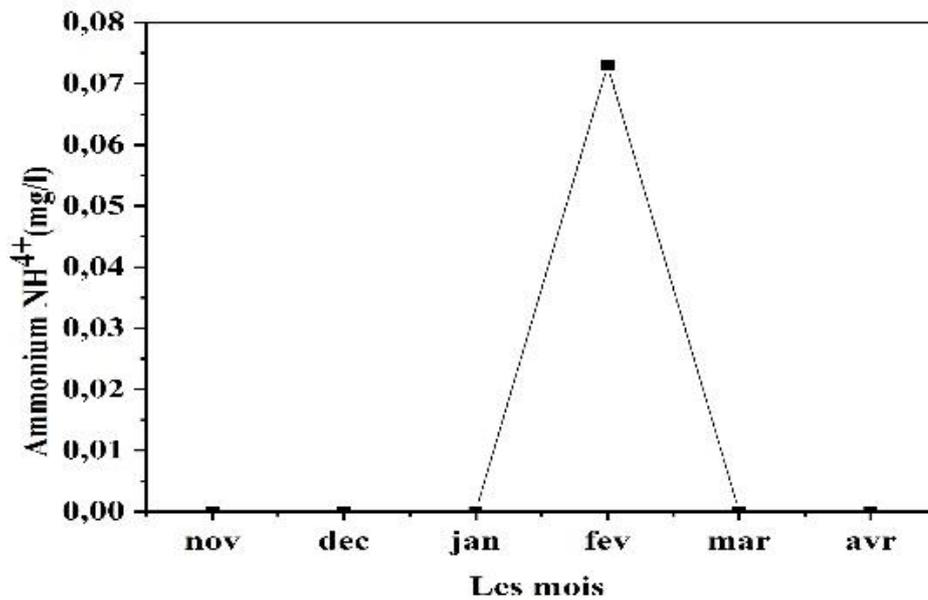


Figure IV.17 : Variations de la teneur en ( $NH_4^+$ ) de l'eau sur 6 mois

### Commentaires :

Le graphe représente l'évolution de l'ammonium dans l'eau sur une période de 6 mois, où l'on remarque une absence totale d'ammonium pendant les mois de Novembre, Décembre et Janvier, puis la teneur en  $NH_4^+$  augmente et atteint une valeur maximale au mois de Février, pour s'annuler aux mois de Mars et Avril.

### Interprétations :

Il n'y a pas d'ammonium pendant les trois mois de Novembre, Décembre et Janvier en raison de l'absence de pluies, d'où l'augmentation relative de la quantité d'ammonium en Février.

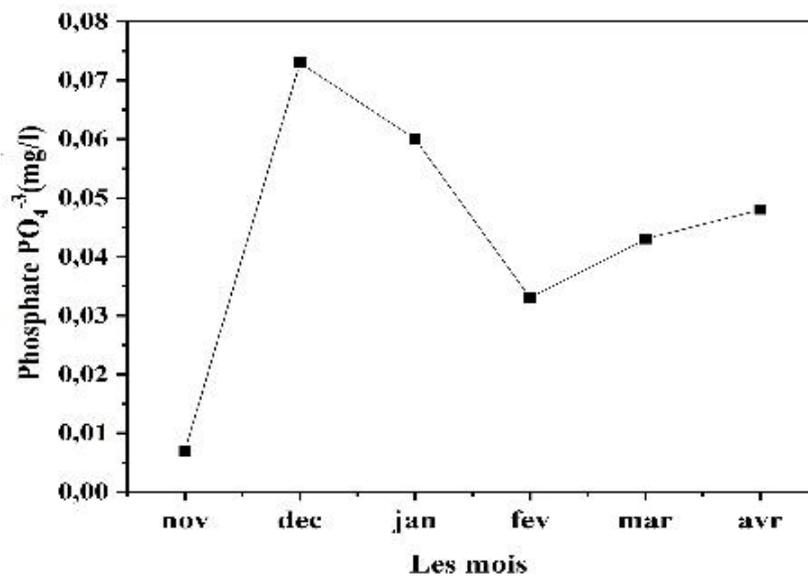


Figure IV.18 : Variations de la quantité de phosphate ( $PO_4^{-3}$ ) de l'eau sur 6 mois.

### Commentaires :

La courbe représente la variation du phosphate sur 6 mois. On constate que durant le mois de Novembre, la quantité de phosphate est très faible, puis elle augmente fortement en Décembre, atteignant la valeur la plus élevée. Après quoi elle diminue progressivement à partir de Janvier, puis elle reste en diminution continue jusqu'en Février, pour augmenter ensuite légèrement aux mois de Mars et Avril.

### Interprétations :

L'augmentation de la quantité de phosphate au mois de Décembre est due à l'utilisation d'engrais chimiques dans l'agriculture au cours de ce mois, ce qui a entraîné une fuite dans l'eau de la quantité de phosphate, mais au cours des mois de Janvier et Février, elle diminue, et cela est dû à la réduction à une quantité modérée de phosphate dans le sol et les roches.

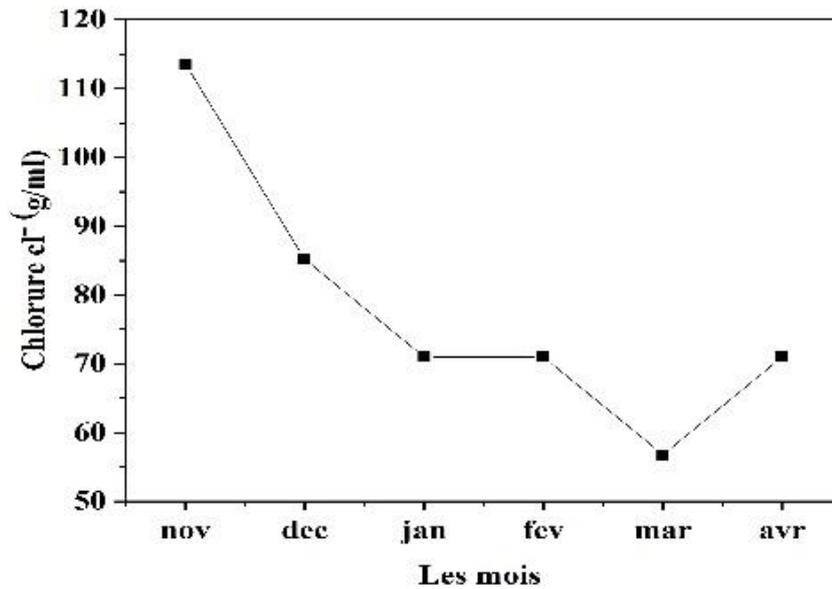


Figure IV.19 : Variations de la quantité de chlorure ( $Cl^-$ ) de l'eau sur 6 mois

### Commentaires :

Le graphique représente l'évolution de la quantité de chlorure dans l'eau sur une période de 6 mois. On remarque qu'en Novembre, la quantité de chlorure est élevée, puis elle commence à diminuer de Décembre, et Janvier, pour se stabiliser jusqu'en Février, pour diminuer encore en Mars et augmentes-en Avril.

### Interprétations :

La quantité de chlorure diminue en raison des précipitations, qui contribuent à la diminution du niveau de chlorure, ce qui implique que plus il pleut, moins il y a de chlorure.

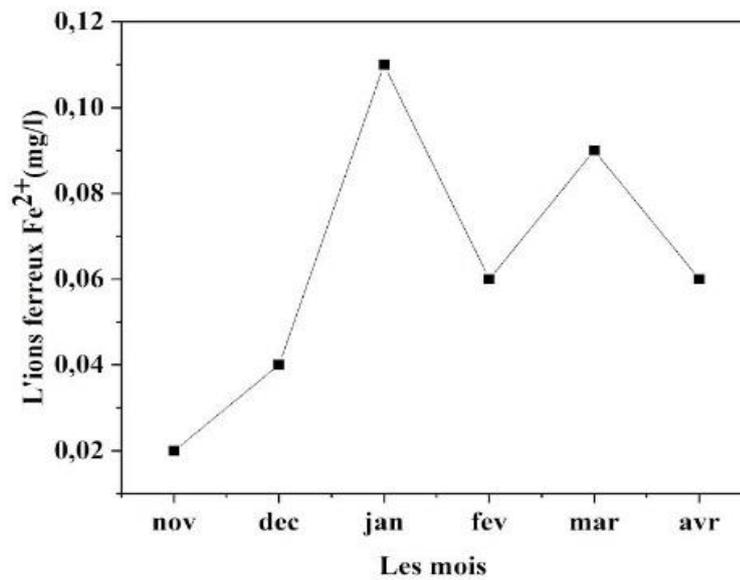


Figure IV.20 : Variations de la teneur de l'ions de fer ( $Fe^{2+}$ ) de l'eau sur 6 mois.

### Commentaires :

Le graphe représente l'évolution du fer dans l'eau sur une période de 6 mois. On remarque qu'en Novembre la quantité de fer est faible, puis elle augmente relativement en Décembre, pour atteindre son maximum en Janvier. Après quoi la teneur diminue en février, et fluctue entre Mars et Avril.

### Interprétations :

L'augmentation des niveaux de fer au cours des trois mois de Novembre, Décembre et Janvier est due à une diminution des précipitations, les niveaux de fer ne diminuent donc pas. Cependant, en Février, la quantité de fer diminue, cela est dû aux fortes précipitations de ce mois-ci, qui ont dilué et abaissé les niveaux de fer ce mois-ci.

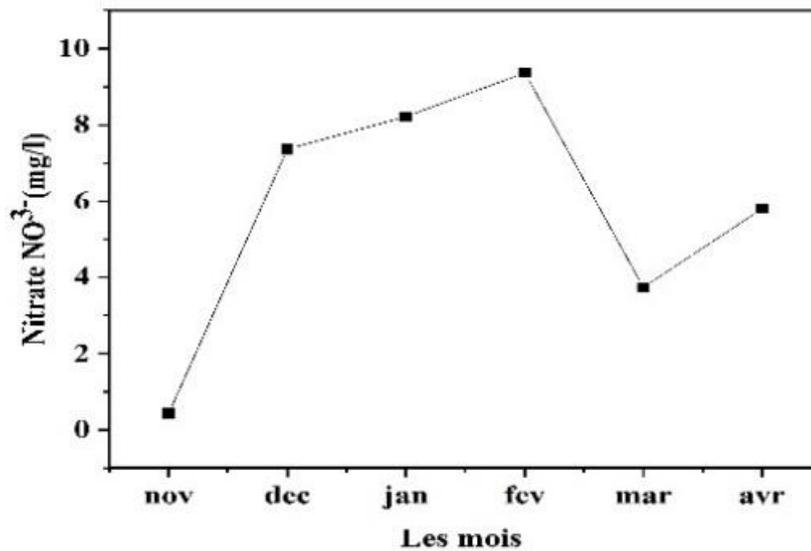


Figure IV.21 : Variations du Nitrate ( $NO_3^-$ ) de l'eau sur 6 mois

### Commentaires :

Le graphe représente des variations de la teneur de nitrate sur 6 mois, car on remarque une faible quantité de nitrate en Novembre, puis elle augmente de manière significative en Décembre, puis elle continue d'augmenter même en Janvier jusqu'à atteindre le maximum en Février, puis elle diminue fortement en Mars, puis augmente encore en Avril.

### Interprétations :

Les précipitations sont responsables de l'augmentation successive de la quantité de nitrates en Novembre, Décembre et Janvier, car les nitrates s'échappent des roches et du sol. La concentration en nitrates est maximale en Février, avec de fortes pluies et de fortes fuites de nitrates du sol et des roches dans l'eau, mais la quantité de nitrates est faible en Mars, à cause du manque de pluie en ce mois.

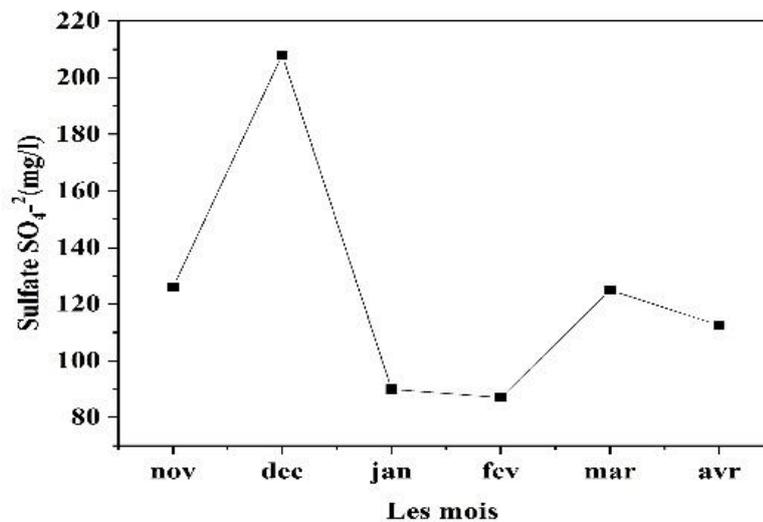


Figure IV.22 : Variations de la quantité de Sulfate ( $SO_4^{2-}$ ) de l'eau sur 6 mois

### Commentaires :

La courbe représente l'évolution de quantité de sulfates sur une période de 6 mois. On remarque qu'en Novembre la quantité de sulfates est modérée, puis elle augmente en Décembre, puis elle diminue en Janvier et jusqu'à Février, pour augmenter encore un peu en Mars et baisser en Avril.

### Interprétations :

Il y a une augmentation de la quantité de sulfates au cours des mois de Novembre et Décembre en raison du manque de pluie au cours de ces deux mois et de l'incapacité à réduire le niveau de sulfates. Cependant, au cours des mois de Janvier et Février, la quantité de sulfates diminue, et cela est dû aux précipitations, notamment au mois de Février, qui ont entraîné une diminution du niveau de sulfate.

### **IV.8. Calcul de l'indice canadien de la qualité des eaux (CCME) sur deux mois : Novembre – Décembre .**

Les caractéristiques statiques descriptives des variables physico-chimiques utilisées dans cette étude concernent les valeurs de l'eau brute et de l'eau traitée pendant deux mois **Novembre – Décembre**, à titre d'exemple. Nous avons effectué le calcul, dont l'essentiel est présenté ci-après, en utilisant le tableur de calcul Microsoft Excel.

#### **IV.8.1. Calcul de l'indice de qualité de l'eau brute (CCME) pour les deux mois : Novembre – Décembre.**

Paramètres	pH	COND	TEMP	$NH^{4+}$	$PO_4^{-3}$	$CL^{-}$	$Fe^{2+}$	$NO^{3-}$	$SO_4^{-2}$
Normes	7,5	2800	25	4	10	600	1	50	400
L'eau brute (novembre)	8,3	850	12,7	0,418	0,051	113,6	0,17	0,371	160
L'eau brute (décembre)	8,04	631	7,3	0,449	0,272	85,2	0,09	6,986	214

**Nombre de paramètres non conformes :**

CODE	Données du CCME
X	1

**Nombre total de paramètres :**

Y	9
---	---

**Nombre total de résultats :**

Z	18
---	----

**Nombre de résultats non conformes :**

E	2
---	---

**Calcul des valeurs F1 et F2 :**

$$F_1 = \left( \frac{\text{Nombre de paramètres non conformes}}{\text{Nombre total de paramètres}} \right) \times 100$$

$$F_2 = \left( \frac{\text{Nombre de résultats non conformes}}{\text{Nombre total de résultats}} \right) \times 100$$

Après le processus de calcul dans Excel, nous trouvons :

F1	11,11111
F2	11,11111

Calcul de F3 :

$$\text{Coefficient d'écart } i = \left( \frac{\text{Résultat non conforme } i}{\text{Recommandation } i} \right) - 1$$

Donc :

Résultat non conforme	A	8,3	8,04
Recommandation	B	7,5	7,5
	$A \div B$	1,106667	1,072
Coefficient d'écart	$C = (A \div B) - 1$	0,106667	0,072

La somme des coefficients d'écart :

$$\sum_c = 0,178667$$

La somme normalisée des coefficients d'écart (sncé) :

$$\text{sncé} = \left( \frac{\sum_i \text{coefficient d'écart } i}{\text{Nombre total de résultats}} \right)$$

Donc :

$$\text{sncé} = 0,009926$$

$$F_3 = \left( \frac{\text{sncé}}{0,01 \times \text{sncé} + 0,01} \right)$$

On a :

Valeur de sncé	$0,01 \times \text{sncé}$	$0,01 \times \text{sncé} + 0,01$	F3
0,009926	0,00009926	0,010099	0,982837

**Calcul global :**

$$IQE\_du\_CCME = 100 - \left( \frac{\sqrt{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}}{1,732} \right)$$

Composante du CCME	Valeur	Valeur carrée
F1	11,11111	123,4568
F2	11,11111	123,4568
F3	0,982837	0,965968
	La somme	247,8795
	Valeur de racine carrée	15,744119
	Diviser par 1,732	9,09018

Après application numérique de la loi CCME dans Excel, on a trouvé :

$$IQE\_du\_CCME = 90,90982$$

Donc CCME de l'eau brute des deux mois (Novembre – Décembre) est :

$$I = 90,90982$$

Cette valeur de l'indice IQE du CCME est considérée « bonne », puisqu'elle est comprise entre 80 et 94. On peut alors conclure que la qualité de l'eau est préservée, seule une menace ou une détérioration mineure étant observée ; les conditions s'écartent rarement des niveaux naturels ou souhaitables.

#### IV.8.2. Calcul de l'indice de qualité de l'eau traitée (CCME) pour les deux mois :

##### Novembre – Décembre

Paramètres	pH	COND	TEMP	$NH_4^+$	$PO_4^{3-}$	$CL^-$	$Fe^{2+}$	$NO_3^-$	$SO_4^{2-}$
Normes	7,5	2800	25	0,5	5	500	0,3	50	400
L'eau traitée (novembre)	7,93	888	13,1	0	0,007	113,6	0,02	0,434	126
L'eau traitée (décembre)	7,99	673	7,9	0	0,073	85,2	0,04	7,365	208

**Nombre de paramètres non conformes :**

CODE	Données du CCME
X	1

**Nombre total de paramètres :**

Y	9
---	---

**Nombre total de résultats :**

Z	18
---	----

**Nombre de résultats non conformes :**

E	2
---	---

**Calcul les valeurs F1 et F2 :**

$$F_1 = \left( \frac{\text{Nombre de paramètres non conformes}}{\text{Nombre total de paramètres}} \right) \times 100$$

$$F_2 = \left( \frac{\text{Nombre de résultats non conformes}}{\text{Nombre total de résultats}} \right) \times 100$$

**Après le processus de calcul dans Excel, nous trouvons :**

F1	11,11111
F2	11,11111

**Calcul de F3 :**

$$\text{Coefficient d'écart } i = \left( \frac{\text{Résultat non conforme } i}{\text{Recommandation } i} \right) - 1$$

**Donc :**

Résultat non conforme	A	7,93	7,99
Recommandation	B	7,5	7,5
	$A \div B$	1,057333	1,065333
Coefficient d'écart	$C = (A \div B) - 1$	0,057333	0,065333

La somme des coefficients d'écart :

$$\sum_c = 0,122667$$

La somme normalisée des coefficients d'écart (sncé) :

$$sncé = \left( \frac{\sum_i \text{coefficient d'écart}_i}{\text{Nombre total de résultats}} \right)$$

Donc :

$$sncé = 0,006815$$

$$F_3 = \left( \frac{sncé}{0,01 \times sncé + 0,01} \right)$$

On a :

Valeur de sncé	0,01 × sncé	0,01 × sncé + 0,01	F3
0,006815	0,00006815	0,010068	0,676869

Calcul global :

$$IQE\_du\_CCME = 100 - \left( \frac{\sqrt{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}}{1,732} \right)$$

Composante du CCME	Valeur	Valeur carrée
F1	11,11111	123,4568
F2	11,11111	123,4568
F3	0,676869	0,458151
	La somme	247,3717
	Valeur de racine carrée	15,72806
	Diviser par 1,732	9,080863

Après application numérique de la loi CCME dans Excel, on a trouvé :

$$IQE\_du\_CCME = 90,91914$$

Donc CCME de l'eau brute des deux mois (Novembre – Décembre) est :

$$I = 90,91914$$

Cette valeur de l'indice IQE du CCME est considérée comme « bonne », puisqu'elle est comprise entre 80 et 94. On peut alors conclure que la qualité de l'eau est préservée, seule une menace ou une détérioration mineure étant observée ; les conditions s'écartent rarement des niveaux naturels ou souhaitables.

#### **IV.9. Résultats obtenus par l'absorption atomique :**

L'absorption atomique est un outil essentiel dans le domaine de l'analyse chimique, permettant de protéger la santé publique et l'environnement en fournissant des données précises sur la présence de contaminants métalliques dans l'eau

**Tableau IV.4:** Tableau des résultats d'adsorption atomique.

		<i>Chrome</i>	<i>Cuivre</i>	<i>Cadmium</i>
	<i>Normes</i>	<i>0,05</i>	<i>0,002</i>	<i>0,003</i>
<b>Échantillons</b>	<b>Adresse</b>	<b>Concentrations</b>		
<b>SP1</b>	Statio de Pompage 1	0,024	-0,018	0,002
<b>1</b>	châabna Ahmed cité sadiki tayeb	0,008	0,11	0,002
<b>2</b>	zaghdoudi Djamal cité sadiki tayeb	0,013	-0,005	0,005
<b>3</b>	Aouadi Rabeh cité sadiki tayeb	0,003	-0,011	0,005
<b>4</b>	Ben djahem Fares cité sadiki tayeb	0,005	-0,015	0,007
<b>5</b>	Bouhdiche Ellwafi cité sadiki	0,016	-0,016	0,003
<b>6</b>	Bouarbala lakhder cité Bourdjiba	0,014	-0,016	-0,001
<b>7</b>	Helaci Abdullah cité Bourdjiba	0,006	-0,017	-0,006
<b>8</b>	Ben Teboula Salime cité Bourdjiba	0,015	-0,015	-0,003
<b>9</b>	1000 lots	0,012	-0,009	0,001
<b>10</b>	26 coopérative	0,013	-0,014	0,002
<b>11</b>	Imam Malik ( eau de source)	-0,014	-0,017	0,001
<b>12</b>	19 juin	0,003	-0,014	-0,005
<b>13</b>	Chekrouba cité 800 logements	0,001	-0,011	-0,006
<b>14</b>	18 février	-0,016	-0,02	-0,004
<b>15</b>	140	-0,006	-0,021	-0,004
<b>16</b>	Ali cherfi cité Boulevard	-0,015	-0,004	-0,009
<b>17</b>	Baara la khdar	-0,008	-0,017	-0,003
<b>18</b>	Bourara	-0,007	-0,016	-0,003
<b>19</b>	Agabi	-0,015	-0,014	-0,007
	<b>Solution étalon</b>			

<i>S1</i>	<i>S2</i>	<i>S3</i>	<i>S4</i>
0,1	0,4	0,8	1,2

IV.9. 1. Cadmium :

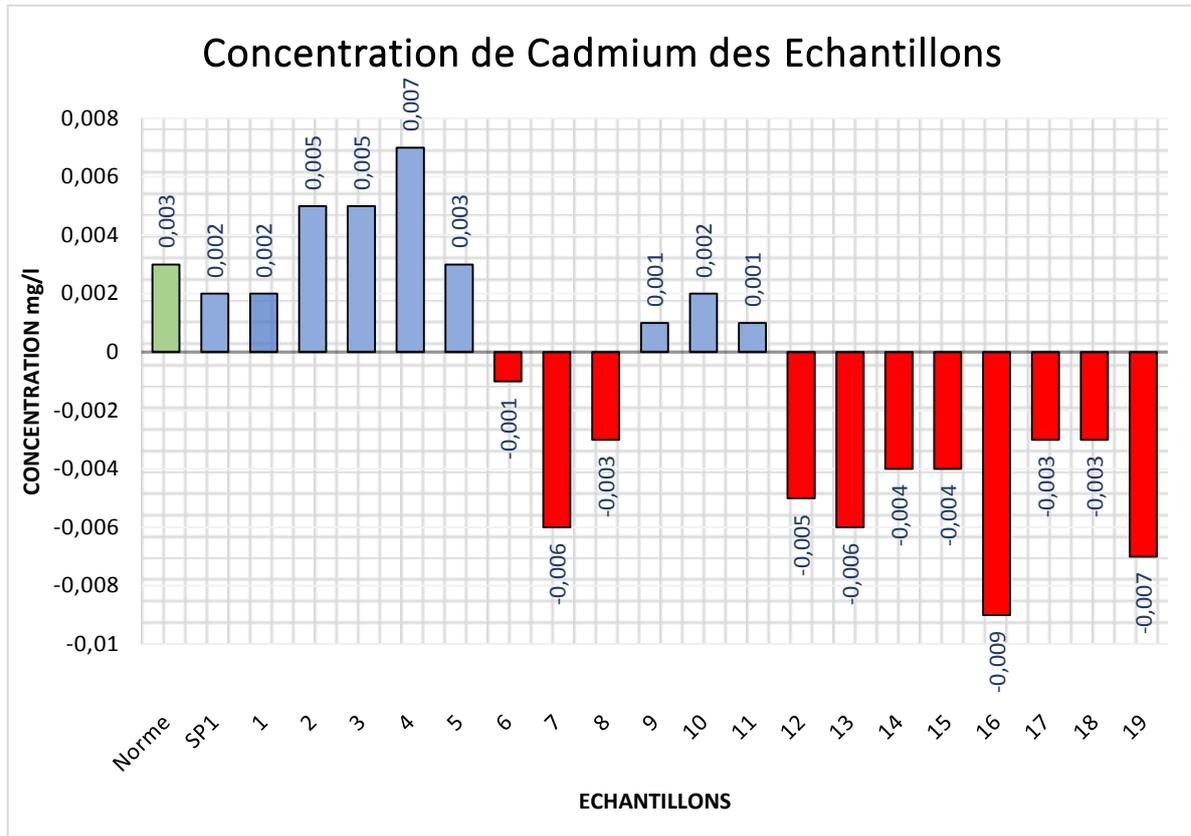


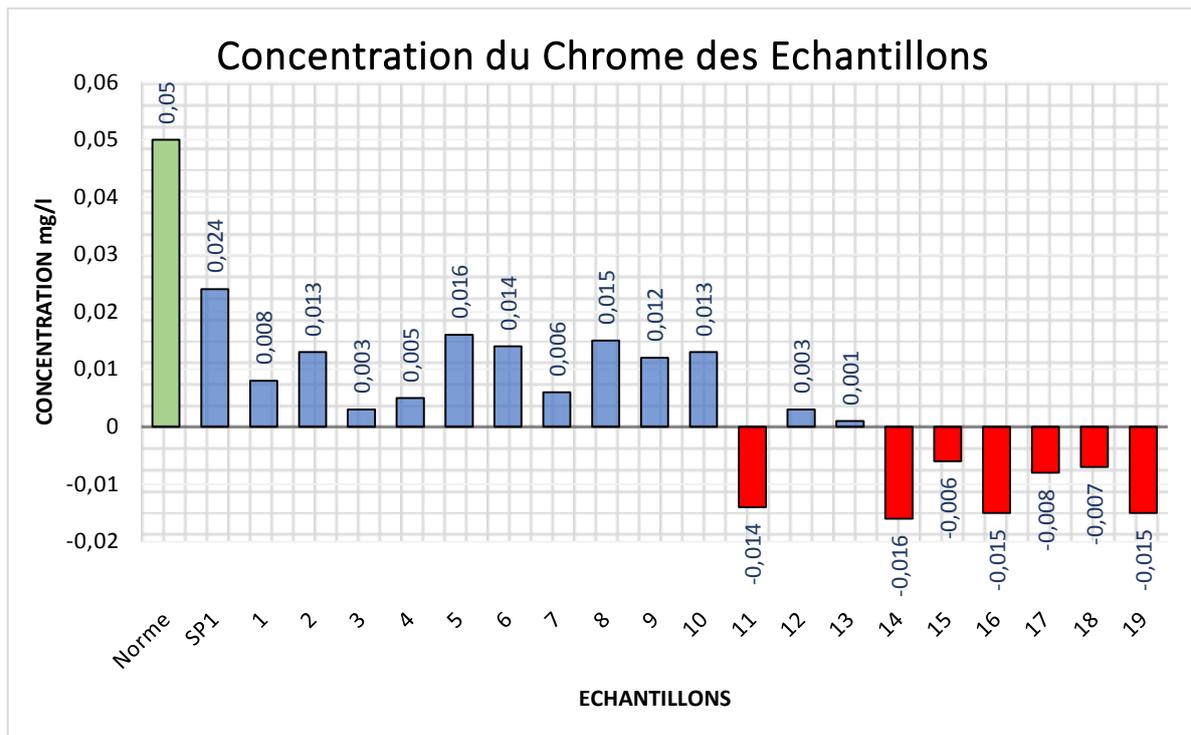
Figure IV.23 : Variation de la concentration de Cadmium.

La courbe représente les concentrations de Cadmium (en mg/l) dans différents échantillons, comparées à une norme de référence de 0,003 mg/l. La colonne verte symbolise cette norme, tandis que l'échantillon de référence (SP1) montre une concentration conforme à peu près à cette norme, à 0,002 mg/l. Les échantillons 1 à 5 et 9,10, 11 présentent des concentrations positives, avec des valeurs allant de 0,001 à 0,007 mg/l. L'échantillon 4 a une concentration plus élevée, atteignant 0,007 mg/l, bien au-dessus de la norme, indiquant une possible contamination significative.

Par contre, les échantillons 6, 7, 8 et 12 à 19 montrent des concentrations négatives, allant de -0,009 à -0,001 mg/l. Ces valeurs négatives suggèrent des anomalies possibles dans les mesures ou des erreurs de calibration, ce qui nécessite une analyse plus approfondie.

En conclusion, la courbe révèle des variations importantes des concentrations de Cadmium parmi les échantillons. Plusieurs échantillons dépassent la norme de référence, ce qui pourrait indiquer une contamination, tandis que d'autres montrent des valeurs négatives, nécessitant une réévaluation des méthodes analytiques pour garantir l'exactitude des résultats.

#### IV.9.2. Chrome :



**Figure IV.24 :** Variation de la concentration du Chrome.

Cette courbe illustre la concentration de chrome (en mg/l) pour différents échantillons, comparées à une norme. La colonne verte indique la norme, fixée à 0,05 mg/l, et la colonne pour l'échantillon (SP1) montre une concentration de 0,024mg/l, ce qui est conforme à peu près à la norme. Les échantillons 1 à 10, 12 et 13, les colonnes bleues, présentent tous des concentrations positives de chrome, allant de 0,001 mg/l à 0,016 mg/l, restant bien en deçà de la norme.

Cependant, les échantillons 14 à 19 et l'échantillon 11 représentés par les colonnes rouges montrent des valeurs négatives, indiquant une concentration de chrome négative ou nulle, avec des valeurs allant jusqu'à -0,016 mg/l. Les valeurs négatives suggèrent des anomalies possibles dans les mesures ou des erreurs de calibration, ce qui nécessite une analyse plus approfondie.

Ces résultats suggèrent une variation significative dans les concentrations de chrome des différents échantillons, avec une majorité se situant bien en dessous de la norme et certains ayant même des concentrations négatives.

### IV.9.3. Cuivre :

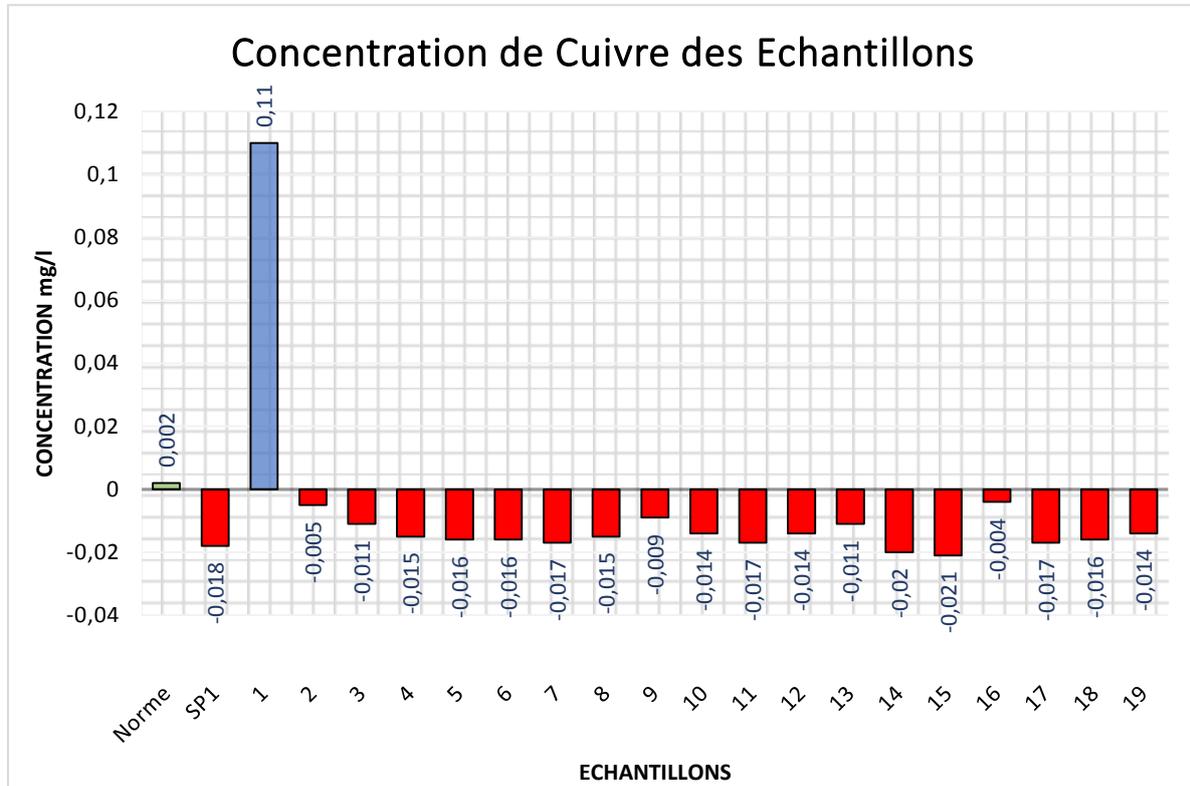


Figure IV.25 : Variation de la concentration du cuivre.

Cette courbe présente la concentration de cuivre en (mg/l) pour divers échantillons, comparée à une norme. La colonne verte indique la norme, fixée à 0,002 mg/l. L'échantillon (SP1) montre une concentration de -0,018 mg/l. L'échantillon 1 représenté par la colonne bleue a une concentration significativement plus élevée de 0,11 mg/l, dépassant largement la norme.

En revanche, tous les autres échantillons 2 à 19, les colonnes rouges montrent des concentrations négatives, allant de -0,004 mg/l à -0,018 mg/l. Ces valeurs négatives suggèrent une absence totale de cuivre. Cette répartition montre une anomalie marquée avec l'échantillon 1, qui nécessite une enquête plus poussée pour comprendre la source de cette concentration élevée, tandis que les autres échantillons indiquent une absence de Cuivre.

#### **IV.10. Conclusion :**

Le contrôle de la qualité de l'eau revêt une importance capitale afin d'assurer la sécurité et la conformité de l'eau destinée à différentes utilisations. L'analyse d'un ensemble d'indicateurs physiques, chimiques et biologiques de l'eau a été entreprise parce qu'elle est essentielle pour ce processus. En plus des méthodes d'analyse physico-chimiques il est possible d'utiliser différentes technologies et méthodes, telles que les différents indices de la qualité de l'eau dont l'indice de qualité CCME choisi et utilisé pour cette étude. Le tableur de calcul Microsoft Excel a été utilisé comme un outil de base pour tabuler les différentes valeurs des paramètres et pour calculer l'indice de la qualité de l'eau de manière efficace et pratique, afin de surveiller et gérer la qualité de l'eau, et d'afficher les résultats dans un format visuel facile à comprendre.

Les résultats se sont avérés concluants. Nous avons pu constater que tous les paramètres sont dans les normes Algériennes même s'ils présentent des fluctuations dans les valeurs d'un mois à l'autre. Toutefois, ceci peut raisonnablement être justifié par des conditions environnementales et du climat tempéré dû au changement climatique qui est responsable de la variation des températures, et de la perturbation de la pluviométrie et sa période.

Le test effectué par l'absorption atomique utilisé pour la détection des métaux lourds, s'agissant de Chrome, Cuivre et Cadmium, a révélé l'absence de Cuivre. Nous avons constaté des variations importantes des concentrations de Cadmium dans les échantillons. Plusieurs échantillons dépassent la norme de référence, ce qui indique une contamination probable, et pour les autres valeurs négatives, une réévaluation des méthodes analytiques pourrait être recommandée afin de garantir l'exactitude des résultats. Pour le Cuivre, un échantillon a montré une anomalie marquée pour un échantillon, qui devrait nécessiter une enquête plus poussée pour comprendre la source de cette concentration élevée.

Et pour terminer, l'indice de qualité CCME qui a été calculé pour récapituler l'information en regroupant un grand nombre de paramètres. L'IQE a révélé que l'eau (brute et traitée) est préservée, seule une menace ou une détérioration mineure étant observée. Les conditions s'écartent rarement des niveaux naturels ou souhaitables, puisque la valeur de l'indice IQE du CCME, comprise entre 80 et 94, est considérée comme « bonne ».

**Références :**

- [1] <https://fr.linkedin.com/posts/hiba-benhadj-comparaison-entre-eau-brute-et-traitee> Le 30 Mai 2024 à 14 :00.
- [2] <https://moneaumonpuits.ca/analyser-votre-eau/pourquoi-faire-analyser-votre-eau/> Le 30 Mai 2024 à 14 :30.
- [3] <https://www.franceenvironnement.com/sous-rubrique/analyse-et-contrôle-l-eau-potable-et-residuaire> Le 30 Mai 2024 à 16 :00.
- [4] <https://www.cieau.com/leau-et-votre-sante/qualite-de-leau/quels-sont-les-contrôles-realises-sur-leau/> Le 30 Mai 2024 à 20 :30.
- [5] <https://generateur-eau.com/blog/post/pourquoi-faut-il-analyser-eau-consomme> Le 30 Mai 2024 à 23 :00 .
- [6] <https://www.vdl.lu/fr/vivre/domicile-au-quotidien/verifier-la-qualite-de-leau-chez-soi> Le 31 Mai 2024 à 17 :20.



# *Conclusion*

### **Conclusion :**

La qualité de l'eau potable est un aspect vital pour la santé publique et l'environnement. Pour garantir une eau potable saine, il est essentiel de contrôler les paramètres physico-chimiques et bactériologiques pour maintenir et améliorer la qualité de l'eau potable, exempte de métaux lourds.

La gestion des paramètres physico-chimiques et bactériologiques de l'eau potable implique plusieurs stratégies clés.

La surveillance et l'analyse régulières sont essentielles, avec un contrôle constant des niveaux de pH, de la conductivité, de la turbidité, ainsi que des concentrations d'ions et de substances dissoutes. Des tests bactériologiques réguliers sont également nécessaires pour détecter la présence de coliformes et autres agents pathogènes.

L'objectif de ce mémoire était l'analyse physico-chimique d'échantillons d'eau prélevés dans plusieurs quartiers de la ville de Guelma, provenant de la station de traitement des eaux de Hammam Debbagh. Notre but était d'évaluer la qualité physico-chimique de l'eau et de comparer les résultats des échantillons prélevés avec les valeurs de référence de la station de traitement pour statuer sur la potabilité de l'eau desservie.

Le contrôle de la qualité de l'eau revêt une importance capitale afin d'assurer la sécurité et la conformité de l'eau destinée à différentes utilisations. L'analyse d'un ensemble d'indicateurs physiques, chimiques et biologiques de l'eau a été entreprise parce qu'elle est essentielle pour ce processus. Nous avons procédé par la spectroscopie d'absorption atomique pour la détection des métaux lourds. Les métaux lourds tels que le cadmium, le mercure et le cuivre représentent une menace sérieuse pour la qualité de l'eau potable. En plus des méthodes d'analyse physico-chimiques il est possible d'utiliser différentes technologies et méthodes, telles que les différents indices de la qualité de l'eau dont l'indice de qualité CCME choisi et utilisé pour cette étude. Le tableur de calcul Microsoft Excel a été utilisé comme un outil de base pour tabuler les différentes valeurs des paramètres et pour calculer l'indice de la qualité de l'eau de manière efficace et pratique, afin de surveiller et gérer la qualité de l'eau, et d'afficher les résultats dans un format visuel facile à comprendre.

Les résultats se sont avérés concluants. Nous avons pu constater que tous les paramètres sont dans les normes Algériennes même s'ils présentent des fluctuations dans les valeurs d'un mois à l'autre. Toutefois, ceci peut raisonnablement être justifié par des

## *Conclusion*

---

conditions environnementales et du climat tempéré dû au changement climatique qui est responsable de la variation des températures, et de la perturbation de la pluviométrie et sa période.

Le test effectué par l'absorption atomique utilisé pour la détection des métaux lourds, s'agissant de Chrome, Cuivre et Cadmium, a révélé l'absence de Cuivre. Nous avons constaté des variations importantes des concentrations de Cadmium dans les échantillons. Plusieurs échantillons dépassent la norme de référence, ce qui indique une contamination probable, et pour les autres valeurs négatives, une réévaluation des méthodes analytiques pourrait être recommandée afin de garantir l'exactitude des résultats. Pour le Cuivre, un échantillon a montré une anomalie marquée pour un échantillon, qui devrait nécessiter une enquête plus poussée pour comprendre la source de cette concentration élevée.

Et pour terminer, l'indice de qualité CCME qui a été calculé pour récapituler l'information en regroupant un grand nombre de paramètres. Il intègre plusieurs paramètres pour donner une note globale sur la qualité de l'eau. Les indices de qualité de l'eau (IQE) sont des outils importants pour évaluer et communiquer l'état de la qualité de l'eau de manière synthétique et compréhensible. Ils prennent en compte divers paramètres physico-chimiques et bactériologiques pour fournir une évaluation globale. L'Indice Canadien de la Qualité de l'Eau (ICQE) est un exemple d'indice utilisé pour évaluer la qualité des sources d'eau douce. Utilisé dans cette étude, l'ICQE a révélé que l'eau (brute et traitée) est préservée, seule une menace ou une détérioration mineure étant observée. Les conditions s'écartent rarement des niveaux naturels ou souhaitables, puisque la valeur de l'indice IQE du CCME, comprise entre 80 et 94, est considérée comme « bonne ».

Comme solutions recommandées nous pouvons proposer des traitements de l'eau, tels que la filtration et la désinfection par chloration ou UV, sont utilisés pour éliminer les particules et tuer les micro-organismes et des ajustements chimiques permettent de stabiliser le pH et d'éliminer les impuretés.

Pour traiter et prévenir la contamination par ces métaux quelques solutions sont possibles dont, le traitement de l'eau par adsorption atomique avec du charbon actif ou des matériaux adsorbants spécifiques, la filtration par membranes telles que l'osmose inverse, la précipitation chimique pour former des précipités insolubles, et l'échange d'ions utilisant des résines échangeuses d'ions pour remplacer les ions métalliques par des ions inoffensifs.

## *Conclusion*

---

Enfin il est important de souligner que la prévention et le contrôle à la source comprennent la mise en place de régulations strictes pour limiter les rejets industriels de métaux lourds, la surveillance continue des sources d'eau pour détecter les contaminations, et des campagnes de sensibilisation pour informer le public et les industriels sur les dangers des métaux lourds et les meilleures pratiques de gestion.

L'IQE offre aussi une méthode standardisée pour suivre l'évolution de la qualité de l'eau, facilitant ainsi la compréhension et la communication des risques pour la santé et l'environnement et permettant aux autorités et aux citoyens de prendre des décisions éclairées sur la gestion des ressources en eau.