



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire



وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة غرداية

N° d'enregistrement  
/...../...../...../.....

Université de Ghardaïa

كلية العلوم والتكنولوجيا

Faculté des Sciences et de la Technologie

قسم هندسة طرائق

Département de Génie des procédés

Mémoire de fin d'étude, en vue de l'obtention du diplôme

**Master**

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Génie des procédés

Spécialité : Génie chimique

**Thème**

**Adoucissement d'une eau duré à l'aide  
d'hydroxyde de sodium**

**Présenté par :**

**BOUHICHA Chaima**

**OULAD SAAD Nour El Houda**

**Devant le jury composé de :**

<b>BOUAMER Kheira</b>	<b>MCB</b>	<b>A Univ. Ghardaïa</b>	<b>Encadrant</b>
<b>Med.Salah AGOUNE</b>	<b>MAA</b>	<b>A Univ. Ghardaïa</b>	<b>Examineur</b>
<b>Rekaia AMIEUR</b>	<b>MAA</b>	<b>A Univ. Ghardaïa</b>	<b>Examineur</b>

**Année universitaire : 2021/2022**

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



## *Dédicaces*

*Je dédie ce mémoire à :*

*Ma mère, qui a œuvré pour ma réussite, par son amour, son soutien, tous les sacrifices consentis et ses précieux conseils, pour toute son assistance et sa présence dans ma vie. Je suis persuadée que toutes les belles phrases et les agréables expressions du monde que je puisse dire ou écrire ne peuvent exprimer mes grands remerciements et mes sincères sentiments ressentis. Maman, trouve dans ce modeste travail, une petite récompense à tous tes efforts et tes encouragements, que je puisse être à la hauteur de tes souhaits et une fierté pour toi ma chère. Mon père, qui peut être fier trouve ici le résultat de longues années de sacrifices et de privations pour m'avoir aidée à avancer dans la vie. Mes frères et sœurs qui n'ont cessé d'être pour moi des exemples de persévérance, de courage et de générosité.*

*Mon binôme Houda Pour son entente, son soutien moral, et sa sympathie tout au long de ce projet.*

*Mes amies, mes collègues et étudiants de la faculté de Science et technologie*

*Mes professeurs de la faculté de de Science et technologie qui doivent voir dans ce travail la fierté d'un savoir bien acquis.*

*Chaïma*

## *Dédicaces*

*Je dédie ce travail à ma vie, ma mère, qui a été toujours à mes côtés qui n'avait jamais rien épargné pour que je poursuive mon chemin, les plus beaux mots perdent un peu de leur sens en voulant te rendre hommage, maman. Merci beaucoup pour tout ce que tu as fait pour moi.*

*Mon cher père, pour son encouragement et toute l'aide qui m'a apportée durant mes études.*

*Mon Mari Housine pour l'amour qu'il me porte et pour son encouragement.*

*Et à mon petit ange Maramé.*

*Ma chère sœur, mes frères, ma belle mère mon beau père, Ma belle-sœur et mes beaux frères, Mes tantes.*

*Ma feu grand-mère Fatima, paix à sa belle âme.*

*Une dédicace toute particulière à mon amie partenaire Chaïma pour sa patience et son travail acharné tout au long de la période de recherche. Et à tous mes amis de l'université et de ma vie.*

*Nour El Houda*

## **Remercîments**

Le présent travail est pour nous une occasion et un agréable devoir d'exprimer  
tout d'abord notre reconnaissances et grâces envers

Dieu le tout-puissant.

Au terme de notre cursus, nous tenons à exprimer notre profonde gratitude au

**Dr BOUAMER Kheira**

Docteur qui nous a appris et tout au long de cette mission au sein de la faculté.

Ainsi pour son aide et sa volonté qui ont constitué un apport considérable pour  
la réalisation de ce travail.

Nos remerciements sont adressés aux Mr Chouireb Makhoulouf Chef de service en  
chimie du laboratoire ADE qui ont coopéré pleinement à ce projet par leur  
savoirs et expériences

A Mme Kharoubi Amel chef du laboratoire d'ADE unité de Ghardaïa pour son  
accueil et son soutien ainsi que toute l'équipe de laboratoire ADE qui ont aidé  
énormément à accomplir correctement nos tâches.

Un hommage appuyé revient aussi à nos parents pour leurs aides morale et  
matérielle durant tout notre cursus et à tous ceux qui nous sont chers et que nous  
portons à jamais dans nos cœurs.

**MERCI**

## Résumé

La dureté des eaux souterraines est l'un des principaux problèmes affectant sa potabilité, représente souvent le début des problèmes de tuyauterie à la maison et une consommation accrue de produits d'entretien et d'énergie.

Le but de cette étude est d'essayer de trouver un moyen d'alléger la dureté de l'eau, nous étudions parmi les traitements utilisés dans l'adoucissement de l'eau ; échange d'ions, osmose inverse ainsi que la précipitation chimique.

Dans notre étude, on a appuyé sur la précipitation chimique d'eau à l'aide d'hydroxyde de sodium à différentes doses dans le traitement de l'eau du robinet, tout en évaluant son effet sur le calcium et le magnésium d'une part, et sur le pH, la conduction électrique et le sodium d'autre part.

Les analyses ont été effectués à l'unité de laboratoire ADE à Ghardaïa, où l'indice de dépôt de NaOH a indiqué que les résultats étaient acceptables et réduisait la dureté de l'eau du robinet en réduisant la proportion du calcium et du magnésium qu'elle contenait.

**Mots-clés :** dureté, précipitation, adoucissement, hydroxyde de sodium, calcium, magnésium.

## الملخص

تعد صلابة المياه الجوفية من بين المشاكل الرئيسية التي تؤثر على قابلية شرب المياه الجوفية ، وغالبًا ما تكون علامة بداية مشاكل الأنابيب في المنزل وزيادة استهلاك منتجات الصيانة والطاقة.

الغرض من هذه الدراسة هو محاولة إيجاد طريقة لتخفيف عسر الماء، ونذكر من بين العلاجات المستخدمة في تليين المياه؛ تبادل الأيونات، التناضح العكسي و كذا الترسيب الكيميائي.

اعتمدنا في دراستنا على الترسيب الكيميائي للماء باستخدام هيدروكسيد الصوديوم بجرعات مختلفة في معالجة ماء الصنبور، متبعين تأثيره على TH، الكالسيوم والمغنيسيوم من ناحية ، ومن ناحية أخرى تأثيره على الرقم الهيدروجيني، التوصيل الكهربائي والصوديوم.

أجريت التحاليل في وحدة معمل ADE في غرداية. يرشدنا مؤشر الترسيب بواسطة NaOH إلى أن النتائج مقبولة وقد أدى ذلك إلى تقليل عسر مياه الصنبور بنقص نسبة الكالسيوم و المغنيزيوم فيها.

**الكلمات المفتاحية:** الصلابة ، الترسيب ، التليين ، هيدروكسيد الصوديوم ، الكالسيوم ، المغنيسيوم.

## ABSTRACT

The hardness of groundwater is one of the main problems affecting its portability, often represents the beginning of plumbing problems in the home and increased consumption of maintenance products and energy.

The aim of this study is to try to find a way to alleviate the hardness of water, we study among the treatments used in water softening; ion exchange, reverse osmosis as well as chemical precipitation.

In our study, the chemical precipitation of water using sodium hydroxide at different doses in the treatment of tap water was supported, while evaluating its effect on calcium and magnesium on the one hand, and on pH, electrical conduction and sodium on the other.

The tests were carried out at the ADE laboratory unit in Ghardaïa, where the NAOH deposition index indicated that the results were acceptable and reduced the hardness of the tap water by reducing the proportion of calcium and magnesium it contained.

**Keywords:** hardness, precipitation, softening, sodium hydroxide, calcium, magnesium.

**Liste des Tableaux :**

**CHAPITRE I**  
**Généralité sur l'eau**

Tableau I. 1. Normes OMS et algériennes des paramètres physico-chimique pour l'eau potable.....	9
Tableau I. 2.classification des eaux selon la température.....	12
Tableau I. 3.Classification des eaux d'après leur pH.....	13
Tableau I. 4.Minéralisation des eaux en fonction de la conductivité électrique .....	13
Tableau I. 5.Classification des eaux en fonction de la turbidité .....	14
Tableau I. 6.Clasement de la dureté. ....	15

**CHAPITRE II**  
**Adoucissement de l'eau**

Tableau II. 1. D'éfèrent degré de la dureté.....	21
--	----

**CHAPITRE IV**  
**Résultats et discussion**

Tableau IV. 1. Analyses d'échantillon avant et après traitement.....	44
Tableau IV. 2. Analyses d'échantillon avant et après traitement.....	46
Tableau IV. 3. Résultats d'analyses de 3em essai.....	49

Liste des figures :

**CHAPITRE I**  
**Généralité sur l'eau**

Figure I. 1.Cycle naturel de l'eau. ....4  
Figure I. 2.Répartition de l'eau sur la terre.....5

**CHAPITRE II**  
**Adoucissement de l'eau**

Figure II. 1.Principaux cations et anions associés dans l'eau. ....21  
Figure II. 2.Principe Échangeur d'ions.....24  
Figure II. 3.principe de l'osmose inverse.....25

**CHAPITRE III**  
**Matériel et méthode**

Figure III. 1.pH-mètre. ....28  
Figure III. 2.Conductimètre.....30  
Figure III. 3. Turbidimètre. ....30  
Figure III. 4.La couleur bleu après titrage et rose avant titrage. ....31  
Figure III. 5.Avant Titrage. ....34  
Figure III. 6.Après Titrage. ....34  
Figure III. 7.Spectrophotomètre UV/VIS.....36  
Figure III. 8. Spectrophotomètre. ....39  
Figure III. 9.Photomètre de flamme. ....40  
Figure III. 10. Traitement des échantillons. ....41  
Figure III. 11.traitement des échantillons (les gouttes). ....42  
Figure III. 12. La solution avant filtration.....42  
Figure III. 13. La solution après filtration. ....42

**CHAPITRE IV**  
**Résultats et discussion**

Figure IV. 1. Titre Hydrotimétrique TH. ....44  
Figure IV. 2. Variation conductivité électrique CE. ....44  
Figure IV.5 .Variation du calcium Ca<sup>2+</sup>.....45  
Figure IV.3 .Variation du pH. ....45  
Figure IV.4 .Variation du magnésium Mg<sup>2+</sup>.....45

Figure IV. 6. Variation de conductivité électrique CE.....	46
Figure IV. 7. Variation du PH.....	47
Figure IV. 8. Variation du calcium. ....	47
Figure IV. 9. Variation de titre hydrotimétrique TH.....	47
Figure IV. 10. Variation du magnésium $Mg^{2+}$ . ....	48
Figure IV. 11. Variation de conductivité électrique de trois doses traitées.....	50
Figure IV. 12. Variation de pH de trois doses traitées. ....	51
Figure IV. 13. Variation de calcium de trois doses traitées ....	52
Figure IV. 14. Variation de magnésium de trois doses traitées.....	53
Figure IV. 15. Variation de titre hydrotimétrique de trois doses traitées.....	54
Figure IV. 16. Variation de titre alcalimétrique complète de trois doses traitées ....	55
Figure IV. 17. Variation de chlorures de trois doses traitées. ....	56
Figure IV. 18. Variation de sulfate de trois doses traitées. ....	57
Figure IV. 19. Variation de sodium de trois doses traitées. ....	58
Figure IV. 20. Variation de potassium de trois doses traitées.....	59
Figure IV. 21. Variation de résidu sec de trois doses traitées ....	60

## Liste des abréviations

- ADE : Algérienne des eaux.  
EDTA : Ethylène diamine-tétra acétique.  
OMS : Organisation mondiale de la santé.  
NA : Normes algériennes.  
AV : analysé avant.  
AP : analysé après.  
UV : Ultra visible.  
TH : Titre hydrométrique.  
TA : Titre Alcalimétrique.  
TAc : Titre Alcalimétrique complet.  
TDS : Taux des Sels Dissous.  
CE : Conductivité électrique.  
pH : Potentiel d'Hydrogène.  
MES : Matière en suspension.  
RS : Résidu sec.  
°F : Degré Français.  
NTU : Unité de Turbidité Néphélométrique.  
μS/cm : micro-siemens par centimètre.  
NaOH : hydroxyde de sodium.  
HCl : Acide Chlorhydrique.  
Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> : Carbonate de Sodium.  
CH<sub>3</sub>COOH : Acide Acétique.

## Sommaire :

Résumé.....	II
Liste des Tableaux : .....	III
Liste des figures : .....	III
Liste des abréviations : .....	IV
Introduction générale .....	1

## CHAPITRE I Généralité sur l'eau

I Introduction .....	2
I .1. L'eau.....	2
I. 2. Le cycle naturel de l'eau .....	2
I.3. La répartition de l'eau sur la terre .....	4
I.4. Les eaux d'approvisionnement .....	5
I.4.1 Les eaux de pluie : .....	5
I.4.2. Les eaux de surface : .....	5
I.4.3 Les eaux souterraines : .....	5
I.5. Les ressources en eau dans le monde.....	6
I.6. Les ressources hydriques en Algérie.....	7
I.7. Définition de l'eau potable.....	7
I.8. Les caractéristiques d'une eau potable.....	8
I.9. Normes de qualité de l'eau potable.....	8
I.10. Propriétés physicochimiques des eaux .....	9
I.10.1. Propriétés physiques : .....	9
I.10.2 Propriétés chimiques de l'eau : .....	10
I.10.3 Propriétés biologiques de l'eau : .....	11
I .11. Les paramètres physico-chimiques.....	11

---

---

I.11.1. Paramètres organoleptiques : .....	11
I.11.2. Les paramètres physiques : .....	12
I.11.3. Les paramètres chimiques : .....	14
<b>I.12 Méthodes de traitement de l'eau .....</b>	<b>18</b>
I.12.1 Décantation : .....	18
I.12.2 La filtration : .....	19
I.12.2.1 Rôle de la filtration .....	19
I.12.2.2 types de filtres : .....	19
<b>Conclusion .....</b>	<b>20</b>

## **CHAPITRE II**

### **Adoucissement de l'eau**

<b>II.1. Introduction.....</b>	<b>20</b>
<b>II.2. Influence de la dureté sur la qualité de l'eau .....</b>	<b>20</b>
<b>II.3. Principaux éléments responsables de la dureté.....</b>	<b>20</b>
II.3.1. Magnésium : .....	21
II.3.2. Calcium : .....	21
<b>II.4. Impact sur les humains .....</b>	<b>22</b>
<b>II.5. Causes de la dureté .....</b>	<b>22</b>
<b>II.6. Types d'eau dure.....</b>	<b>22</b>
II.6.1. la dureté temporaire : .....	22
II.6.2. la dureté permanente : .....	23
<b>II.7. Dureté totale ou degré hydrotimétrique(TH).....</b>	<b>23</b>
<b>II.8. Techniques d'élimination de la dureté de l'eau.....</b>	<b>24</b>
II.8.1. Échangeur d'ions : .....	24
II.8.2. Osmose inverse : .....	24
II.8.3. Décarbonatations à la chaux : .....	25
II.8.4. Précipitation chimique .....	26
<b>II.9. Traitement par Hydroxyde de sodium(NaOH).....</b>	<b>26</b>
<b>II.10. Les avantages et les inconvénients de l'eau dure .....</b>	<b>27</b>

---

II.10.1. Avantages :	27
II.10.2. Inconvénients :	27
<b>Conclusion :</b>	<b>27</b>

## **CHAPITRE III**

### **Matériel et méthode**

<b>III.1. Introduction</b>	<b>28</b>
<b>III.2. Traitement de l'eau par la soude (NaOH)</b>	<b>28</b>
<b>III.3. Prélèvement d'échantillons</b>	<b>28</b>
<b>III.4. Paramètres physicochimique analysés</b>	<b>28</b>
III.4.1. Détermination du pH	28
III.4.2. Détermination de la conductivité et la température, Salinité, Taux des sels dissous principe de la conductivité et la température	29
III.4.3. Détermination du turbidimètre	30
III.4.4. Détermination du dosage de la dureté totale (TH)	30
III.4.5. Détermination du dosage du calcium	32
III.4.6. Détermination du Magnésium	32
III.4.7. Détermination du Dosage des chlorures	33
III.4.8. Détermination du Dosage de Titre Alcalimétrique complet	34
III.4.9. Détermination des Résidus secs :	35
III.4.10. Détermination du dosage l'ammonium	36
III.4.11. Détermination du dosage Nitrite :	36
III.4.12. Détermination du dosage Phosphore	37
III.4.13. Détermination du dosage Fer	37
III.4.14. Détermination du dosage Sulfates :	38
III.4.15. Détermination de Sodium et de Potassium	39
<b>III.5. Réalisation des essais de traitement de l'eau par NaOH</b>	<b>40</b>
III.5.1. Essais d'optimisation de la dose de NaOH :	40
III.5.1.1. Mode opératoire (Essais 01) :	40
III.5.1.2. Mode opératoire (Essais 02) :	41
III.5.1.2. Mode opératoire (Essais 03) :	42
<b>Conclusion</b>	<b>43</b>

## **CHAPITRE IV**

### **Résultats et discussion**

<b>IV Introduction .....</b>	<b>44</b>
<b>IV.1. Essais préliminaire .....</b>	<b>44</b>
IV.1.1. Essais 01 : .....	44
IV.1.2. Essais 02 : .....	45
<b>IV.2 Essais Finale .....</b>	<b>49</b>
IV.2.1. Essais : .....	49
<b>Conclusion .....</b>	<b>61</b>
<b>Conclusion générale .....</b>	<b>62</b>
<b>Références bibliographiques .....</b>	<b>63</b>

---

# **INTRODUCTION GENERAL**

---

## **Introduction générale**

L'eau, ou encore l'or Bleue, est une ressource indispensable à toute vie donc à l'homme. Elle est le constituant le plus abondant de l'organisme humain (65 % d'eau). Toute variation entraîne des risques parfois irréversibles.

L'eau est également indispensable aux activités humaines comme la consommation domestique, agricole et industrielle. A la surface de la planète, l'eau est répartie entre différents réservoirs très inégaux : les océans, l'eau douce....

L'eau douce est la ressource la plus importante pour l'humanité, à la convergence de toutes les activités sociales, économiques et environnementales. C'est la condition de toute vie sur notre planète, un facteur de croissance ou de limitation de tout développement social et technologique, une source possible de bien-être ou de misère, de coopération ou de conflit.

La dureté d'une eau, c'est à dire son degré d'hydrotimétrie dépend en grande partie de sa concentration en sels de calcium et de magnésium. Il semble qu'une eau dure présente des avantages pour la santé, car une partie des minéraux qu'elle renferme est probablement mieux assimilée par l'organisme. Une eau est dite « dure » lorsqu'elle est fortement chargée en ions calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) et magnésium ( $\text{Mg}^{2+}$ ). A l'inverse, elle est dite « douce » lorsqu'elle

contient peu de ces ions. Cette dureté s'exprime en degrés ( $^{\circ}\text{F}$ ), et par (mg/l). La dureté de l'eau résulte de son contact avec les formations rocheuses lors de son passage dans le sous-sol. Elle varie donc en fonction de la nature de celui-ci et de la région d'où provient l'eau. Pour réduire la dureté de l'eau il y'a plusieurs méthodes comme l'échange d'ion, l'osmose inverse et l'adoucissement par précipitation chimique.

Le but de l'étude est d'évaluer l'efficacité de NaOH dans les eaux de consommation et plus particulièrement l'élimination de la dureté de l'eau par précipitation chimique.

Le travail a été fait sur une eau de robinet de laboratoire (ADE), wilaya de Ghardaïa. Nous avons structuré notre mémoire sur 04 chapitres :

- Le premier chapitre donne des généralités sur l'eau ;
- le deuxième chapitre présente la dureté de l'eau et les procédés d'adoucissement ;
- Le troisième chapitre en détaillant le matériel et les méthodes utilisées dans le cadre de ce travail ;
- Le quatrième chapitre présente les résultats trouvés et leurs discussions.

---

# **CHAPITRE I**

## **GENERALITE SUR L'EAU**

---

## I Introduction

Une eau est dite potable quand elle satisfait un certain nombre de paramètres la rendant propre à la consommation humaine. Les paramètres de qualité d'une eau sont les paramètres organoleptiques, les paramètres physicochimiques. L'OMS a établi pour chaque paramètre des recommandations qui doivent être adoptées dans de l'état sanitaire et des considérations économiques en question pour aboutir aux normes réglementaires nationales .

Ce chapitre est consacré à la définition de l'eau potable et des différentes propriétés et les paramètres physico-chimiques de l'eau, et les ressources en eau dans le monde et en Algérie.

### I.1. L'eau

L'eau est un composé d'éléments oxygène et hydrogène, un liquide inodore ou inodore, l'une des substances les plus importantes et les plus abondantes, caractérisée par une variété de solvants, et est nécessaire dans divers processus biologiques. Organismes vivants, comme il est présent dans le sang et les sucs digestifs, il convient de noter que l'eau n'est pas sans couleur qui apparaît en petites quantités, mais a une teinte bleue en raison de l'absorption des longueurs d'onde rouges de la lumière, et les principales parties du système climatique de la Terre seraient liées par trois états physiques de l'eau, commençant par les océans, les plantes et les glaciers, et se terminant par la formation de les nuages et l'air [1].

### I.2. Le cycle naturel de l'eau

Toute l'eau de la terre appartient à un même circuit, perpétuellement régénéré. C'est la même eau qui en permanence passe dans les océans et de la surface du sol à l'atmosphère par évaporation, tombe sur le sol sous forme de précipitation et retourne à la mer par les cours d'eau et les eaux souterraines. Cette circulation incessante s'appelle « cycle hydrologique ».

Le moteur de ce cycle est le soleil, ou plus exactement l'énergie solaire qu'il dégage. En effet, si cette dernière qui entraîne les changements d'états de l'eau : la formation et la fonte des glaces, ou encore l'évaporation de l'eau et son élévation dans l'atmosphère.

Tout au long de son cycle, l'eau se transforme et adopte trois états différents :

- L'état liquide, lorsqu'elle s'écoule via les cours d'eau jusqu'à la mer ;
- L'état gazeux, lorsque sous l'effet de la chaleur du soleil, elle s'évapore pour former les nuages ;
- L'état solide, que l'on peut observer quand, sous l'effet du froid, l'eau se transforme en neige ou en glace ;

L'eau est donc constamment en mouvement, transportée d'une masse d'eau à une autre au fil d'un cycle en plusieurs étapes : l'évaporation, la condensation, les précipitations, le ruissellement et l'infiltration. Ce cycle de l'eau est crucial pour l'équilibre de la vie sur terre.

- **L'évaporation**

L'évaporation est le passage de l'eau de l'état liquide vers l'état gazeux. Sous l'effet de la chaleur de soleil, l'eau des océans et l'eau des surfaces (fleuves, lacs, rivières ...) s'évaporent et passe à la phase gazeuse pour se mêler au gaz de l'atmosphère. On estime à 1000Km<sup>3</sup> l'eau des océans qui, chaque jour, s'évapore.

Les feuilles des plantes dégagent aussi de la vapeur d'eau par le phénomène de la transpiration. Une plante en croissance transpire ainsi chaque jour de 5 à 10 fois la quantité d'eau qu'elle peut contenir.

- **La condensation**

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

- **Les précipitations**

Les précipitations surviennent lorsque l'eau présente dans les nuages retourne au sol. En effet, lorsque les gouttelettes d'eau contenues dans les nuages deviennent trop lourdes, elles retombent sur terre sous forme de précipitation. Selon la température, ces précipitations tombent sous forme liquide (pluies, bruine) ou sous forme solide (neige, grêle). La neige peut s'accumuler et former des calottes polaires et des glaciers.

- **Le ruissellement**

Le ruissellement désigne l'écoulement des précipitations sur le sol, sans qu'il ne se produise d'infiltration. L'eau peut ruisseler en surface, une partie de cette eau se stockant dans des réservoirs d'eau douce (lacs, etc...), l'autre partie retournant directement à la mer. La neige fondue apporte également de l'eau douce dans les lacs et les rivières.

- **L'infiltration**

L'infiltration se produit lorsque l'eau pénètre dans le sol. Une partie des précipitations et de l'eau provenant de la fonte des neiges peut s'infiltrer dans les fissures, les joints et les pores du sol et de la roche pour arriver dans les nappes souterraines, appelé aussi nappe phréatiques. L'eau contenue dans ce réservoir trouve parfois un chemin naturel vers l'extérieur

par des fissures dans le sol : se sont les sources. Les nappes phréatiques alimentent traditionnellement les puits et les sources en eau potable.

Le cycle de l'eau est ainsi comme une boucle qui tourne en continu et que l'homme a intercepté pour ses usages domestiques, sanitaires et économiques [2].

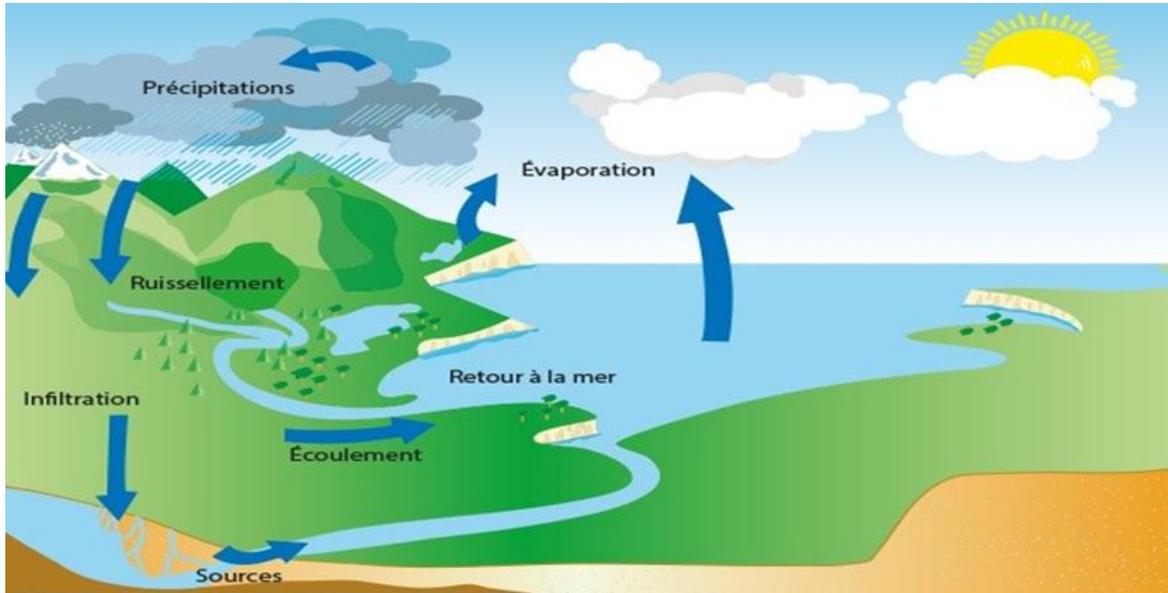


Figure I. 1. Cycle naturel de l'eau [2].

### I.3. La répartition de l'eau sur la terre

La majeure partie de l'eau (97%) est contenue dans les océans (Figure 2), et est salée, ce qui la rend inutilisable pour l'Homme. Les 3% d'eau douce restants ne sont toutefois pas entièrement disponibles pour l'Homme. En effet, environ 68,3% de celle-ci se présente à l'état solide dans les glaciers et 31,4% seulement se trouve à l'état liquide dans les nappes phréatiques, les lacs d'eau douce, les rivières et l'eau contenue dans la matière vivante...etc. Une faible proportion de ces 31,4% est sous forme de vapeur d'eau dans l'atmosphère [3].

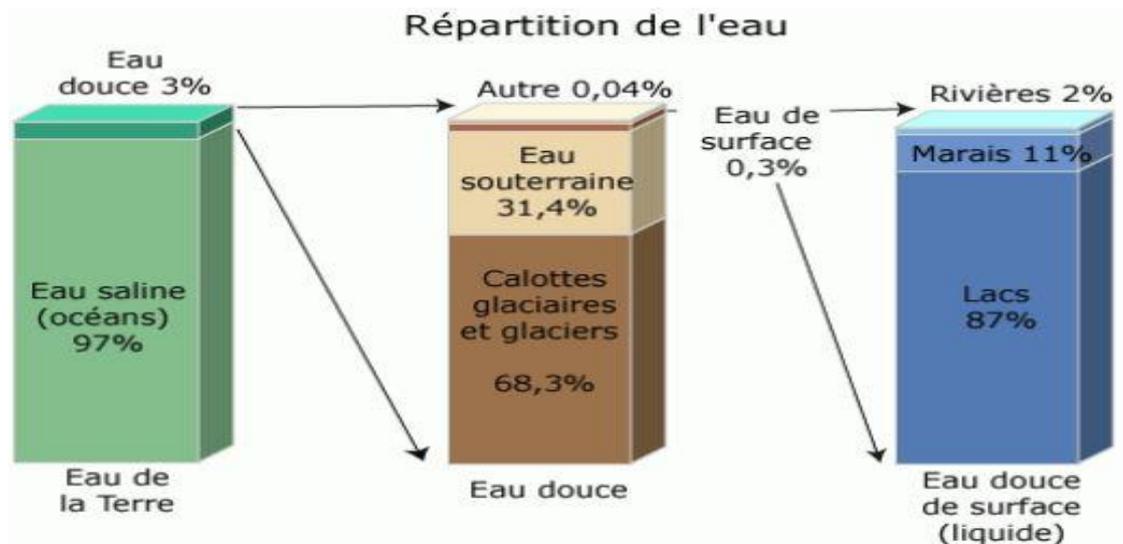


Figure I. 2. Répartition de l'eau sur la terre [3].

#### I.4. Les eaux d'approvisionnement

A partir du cycle de l'eau, on peut identifier trois sources d'approvisionnement en eau :

##### I.4.1 Les eaux de pluie :

L'eau de pluie est une eau de haute qualité pour la consommation humaine.

Ils sont très doux en raison de la présence d'oxygène et d'azote et de l'absence de sels dissous, Comme les sels de magnésium et de calcium. L'eau de pluie peut être récupérée sur le toit de la maison Conteneurs ou impluviums [4].

##### I.4.2. Les eaux de surface :

L'eau de surface est l'eau qui circule ou est stockée à la surface des continents. Soit ils proviennent d'aquifères souterrains, et l'apparition de ces aquifères constitue source, à savoir le ruissellement [5].

L'eau de surface provient des rivières, ruisseaux, étangs, Lacs, barrages, réservoirs, glaciers. C'est une masse d'eau bien particulière, qu'elle soit solide ou liquide, stationnaire ou en mouvement [6].

##### I.4.3 Les eaux souterraines :

On trouve les eaux souterraines sous la plupart des terres émergées du globe. Leur Origine est due à l'accumulation des infiltrations dans le sol qui varie en fonction de sa Porosité et de sa structure géologique [7].

Les eaux des nappes profondes sont bien protégées des contaminants microbiens. Par contre, elles sont beaucoup plus accessibles aux souillures chimiques tels que les nitrates, les hydrocarbures, les détergents, les pesticides, les métaux, etc. En dépit de ce danger, les eaux profondes lorsqu'elles sont potables, sont idéales pour le consommateur [6].

### **I.5. Les ressources en eau dans le monde**

Les données publiées par l'UNESCO en 2008, nous renseignent sur les différentes proportions des volumes totaux en eaux sur notre planète et qui sont estimés à quelques 1386000 000 Km<sup>3</sup> [8].

La totalité de l'eau présente sur la terre forme ce que l'on appelle l'hydrosphère. L'eau est présente partout autour de nous sous des formes très variées :

- les océans et les mers ;
- les fleuves et les rivières qui s'enrichissent des eaux de pluie venant ruisseler sur la terre ;
- les lacs et les plans d'eau ;
- les glaciers et la neige ;
- les zones humides comme les marécages ;
- les eaux souterraines qui sont alimentées par les infiltrations d'eau de pluie et d'eaux de rivières ;
- la vapeur d'eau présente en permanence dans l'atmosphère ;

La forme liquide est la forme de l'eau la plus répandue sur terre, notamment dans les mers et océans (eau salée). Seul 31,1% de l'eau douce est liquide, essentiellement dans des eaux souterraines plus ou moins profondes et dans les eaux de surface, c'est-à-dire les lacs, fleuves et rivières.

La part de l'eau douce est de 67,8 %, stockées sous forme de glaciers ou sous forme de neige, et très difficilement accessibles à l'homme.

L'eau salée des mers et océans représente 97,5% du volume d'eau total. Il s'agit d'eau salée impropre à la consommation humaine car elle contient en moyenne 3,5 grammes de sel par litre. De même, elle ne peut pas être utilisée pour abreuver les animaux ou pour arroser les champs, l'eau douce représente donc 2,5% du volume d'eau total.

## I.6. Les ressources hydriques en Algérie

L'Algérie comme tous les pays hydro-sensibles souffre ces dernières années d'un stress hydrique chronique sans précédent. Les aléas climatiques persistants, doublés d'une forte croissance de la population dans les grands centres urbains ont largement contribué à l'actuelle carence de ressources mobilisables pour les besoins élémentaires du pays. Les politiques publiques de ces dernières années ne cessent de rattraper les déficits, qu'ils s'agissent des retards enregistrés dans les programmes de constructions des infrastructures de mobilisation de réseaux de distributions ou des canalisations d'assainissement et de station d'épuration [9].

L'Algérie est un pays semi-aride, voire même aride dont la pluviométrie moyenne annuelle varie de 200 à 800mm au Nord avec une moyenne nationale de un (01) mm, les ressources en eau sont insuffisantes, irrégulières et localisées dans la bande côtière, l'apport total des précipitations serait de l'ordre 100 milliards de m<sup>3</sup> d'eau par an dont 12 milliards de m<sup>3</sup> en écoulement superficiels, et seuls 6 milliards de m<sup>3</sup> sont mobilisables en tenant compte des sites favorables techniquement. [10].

Les eaux souterraines sont évaluées à 2 milliards de m<sup>3</sup> dans le Nord de l'Algérie. Les potentialités du Sud sont estimées à 5 milliards de m<sup>3</sup>. Ces dernières sont difficilement exploitables et non renouvelables ; dont 4 milliards de m<sup>3</sup> sont exploitables annuellement [10].

## I.7. Définition de l'eau potable

La définition de l'eau potable est très difficile. C'est vraiment un terme générique et ne peut pas être basé sur un seul type, car toute eau potable peut être considérée comme potable. A cette notion potentiellement dangereuse, une notion avalisée de goût voire de confort (aspect, température) peut se superposer.

A cette fin, plusieurs experts définissent l'eau comme suit :

- L'eau potable est une eau qui doit répondre à un certain nombre de propriétés pour la rendre propre à la consommation humaine. L'eau potable, c'est-à-dire ne contient pas de micro-organismes ou d'autres substances nocives ;
- Une eau est dite potable lorsque sa consommation ne présente pas de danger pour la santé humaine ;
- L'eau potable est une eau qui est potable et qui ne présente pas de danger pour la santé. Pour être bue, l'eau doit être traitée pour éliminer les substances inertes ou actives qui

peuvent être nocives pour l'organisme. Des normes sont d'ailleurs établies afin de fixer les teneurs limites [11] ;

- L'eau qui est fournie par le réseau de distribution doit être conforme aux normes de potabilité (limites) et de qualité fixées par la réglementation. Lorsque la limite de qualité est dépassée, l'eau est déclarée non potable ;

### **I.8. Les caractéristiques d'une eau potable**

Les caractéristiques de l'eau potable Les qualités admises d'une eau d'alimentation impliquent la garantie de son innocuité vis-à-vis de l'homme qui est appelé à la consommer. Une eau potable doit présenter un certain nombre de caractères physiques, chimiques et biologiques et répondre, à certains critères essentiels (incolore, insipide, inodore...) appréciés par le consommateur. Toutefois, ses qualités ne peuvent pas se définir dans l'absolu, ni d'une manière inconditionnelle. L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) a édicté des normes internationales pour l'eau de boisson [12].

### **I.9. Normes de qualité de l'eau potable**

L'eau traitée doit répondre à des normes de qualité basées sur divers paramètres, notamment des analyses microbiologiques, afin de vérifier le respect de ces normes.

Ces normes de qualité reposent sur l'Organisation mondiale de la santé (OMS) publie des recommandations sur la dose maximale admissible à respecter, c'est-à-dire la quantité qu'un individu à risque peut absorber chaque jour et au cours de sa vie : ces recommandations sont ajustées dans chaque pays en fonction de son état de santé, leur situation économique et conformément à la réglementation en vigueur [5].

Tableau I. 1. Normes OMS et algériennes des paramètres physico-chimique pour l'eau potable. [13].  
[14].

Substances	Unité	Normes OMS 2003	Normes algériennes 2006
Température	°C	<25	25
pH	-	≥ 6,5 et ≤ 9,5	≥ 6,5 et ≤ 9
Conductivité	μS/cm	<1000	2800
Dureté	mg/l de CaCO <sub>3</sub>	<50	500
Calcium	mg/l	100	200
Magnésium	mg/l	<50	150
Chlorure	mg/l	<250	500
TAc	mg/l	<15	500
TA	mg/l	<15	5
Résidus sec	mg/l	<1500	2000
Ammonium	mg/l	<0,5	0,5
Nitrite	mg/l	<0,1	0.2
Nitrate	mg/l	<50	<50
Fer	mg/l	<0,3	0,3
Zinc	mg/l	<3	5
Sulfate	mg/l	<400	400
Sodium	mg/l	<150	200
Potassium	mg/l	<20	20

## I.10. Propriétés physicochimiques des eaux

### I.10.1. Propriétés physiques :

#### ❖ Etats des eaux :

L'eau sous l'action du soleil, de la pression atmosphérique et de la température, elle change son état. On peut la trouver sous trois formes ; solide, liquide et gazeuse (vapeur) .

**❖ Etat solide :**

Il est obtenu en dessous de 0 °C sous la pression atmosphérique. Les molécules d'eau sont disposées suivant un tétraèdre avec une molécule d'eau centrale et quatre autres disposées suivant les quatre sommets d'un tétraèdre régulier. Le réseau cristallin qui en résulte est Hexagonal.

Les molécules sont assemblées par des liaisons hydrogène, chaque atome d'hydrogène d'une molécule d'eau étant liée à l'atome d'oxygène de la molécule voisine [15].

**❖ Etat liquide :**

Au cours de la fusion de la glace, les liaisons hydrogènes se rompent, le cristal s'effondre et les molécules se rapprochent les unes des autres, la masse volumique augmente jusqu'à une valeur maximale correspondant à une température de 4 °C sous 1 atmosphère [15].

**❖ Etat vapeur :**

Dans l'atmosphère, l'eau existe sous forme de gaz. C'est la vapeur d'eau présente dans l'air humide. Elle ne correspond qu'à 0.001 % de l'eau de la terre [16].

**❖ Propriétés électriques :**

L'eau est légèrement conductrice. La conductivité de l'eau pure ne doit pas dépasser 4,2  $\mu\text{S}/\text{cm}$  A 20°C, elle augmente à mesure que le sel se dissout dans l'eau, et selon température [17].

- Température de vaporisation constante pendant l'ébullition et la solidification (100°C à pression atmosphérique normale) ;
- Une masse volumique égale à 1g/cm<sup>3</sup> à 4°C ;
- La chaleur spécifique de l'eau est très importante ;

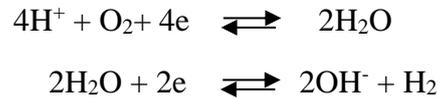
**I.10.2 Propriétés chimiques de l'eau :**

L'énergie de formation des molécules d'eau, 242 kJ/mol, est très élevée. On peut voir que l'eau a une grande stabilité. Cette stabilité est liée aux propriétés électriques et à la structure moléculaire de l'eau, ce qui la rend particulièrement adaptée à la dissolution de nombreux gaz gazeux, liquides polaires et surtout solides. La plupart des minéraux sont solubles dans l'eau, ainsi que de nombreux gaz et produits organiques.

La solvation (ou hydratation de l'eau) est le résultat de la rupture complète ou partielle de diverses liaisons électrostatiques entre les atomes et les molécules du corps dissous, les remplaçant par de nouvelles liaisons aux molécules d'eau, entraînant la formation de nouvelles structures : véritable réaction chimique (la solvation complète est la dissolution) [18].

**Propriété acido-basique :**

Les phénomènes d'oxydoréductions présentent une grande importance dans tous les domaines du traitement de l'eau. L'eau elle-même peut participer, suivant les conditions expérimentales, à des réactions d'oxydoréduction :



Dans le premier cas, l'eau est un donneur d'électrons, elle est réductrice. Dans le deuxième cas, l'eau est un accepteur d'électrons, elle est oxydante [17].

**I.10.3 Propriétés biologiques de l'eau :**

L'eau, l'oxygène et le dioxyde de carbone contribuent à créer des conditions favorables au développement des êtres vivants [19].

Il existe un cycle biologique, cycle au cours duquel s'effectue une série d'échanges ; l'eau entre pour une grande part dans la constitution des êtres vivants.

**I .11. Les paramètres physico-chimiques****I.11.1. Paramètres organoleptiques :**

La transparence et la couleur de l'eau sont des paramètres essentiels. Toute eau destinée à la consommation humaine doit être claire et incolore. Elle est également liée au goût, à l'odeur et à la clarté de l'eau. Ils n'ont pas d'importance pour la santé, mais par leur dégradation, ils peuvent indiquer une contamination ou un dysfonctionnement des installations de traitement ou de distribution. On évalue ces critères au moyen des paramètres suivants :

**I.11.1.1. Couleur :**

La couleur de l'eau provient des matières organiques, des métaux lourds tels que le fer et le manganèse, et des résidus industriels fortement colorés. Il est important de le mesurer [65].

Le degré de couleur dépend non seulement de la concentration des pigments, mais aussi du pH et de la turbidité.

Il est représenté par comparaison avec l'échelle de couleurs standards (Sel double de cobalt et de platine), son unité est donc le mg/l de platine (Pt). Le Pt de cette couleur doit être inférieur à 15 mg/l. La limite de qualité pour l'eau brute est de 200 mg/l Pt [20].

Des odeurs désagréables, ainsi qu'une augmentation de la couleur et de la turbidité [21]. De réduire l'effet désinfectant, le contact entre les bactéries pathogènes et le désinfectant étant défavorable [22].

#### **I.11.1.2. Odeur :**

L'eau utilisée pour boire doit être inodore. En effet, toute odeur est signe de pollution ou de présence de matière organique décomposée. Les quantités de ces substances sont si petites qu'elles ne peuvent pas être détectées par les méthodes analytiques ordinaires. Ils ne peuvent être détectés que par l'odorat [23].

#### **I.11.1.3. Goût :**

Le goût est un ensemble de sensations gustatives, olfactives et de chimio sensibilité courantes perçues lorsque des aliments ou des boissons sont dans la bouche.

Le goût est un ensemble de sensations perçues par les papilles après stimulation par certaines substances solubles [23].

### **I.11.2. Les paramètres physiques :**

#### **I.11.2.1. La température :**

La température de l'eau est un facteur important dans l'environnement aquatique car elle contrôle presque toutes les réactions physiques, chimiques et biologiques [24].

Notamment sa densité, sa viscosité, la solubilité des gaz (en particulier l'oxygène) et la vitesse des réactions chimiques et biochimiques [25].

Tableau I. 2.classification des eaux selon la température [26].

Température (°C)	Type d'eau
T < 30	Minérale, source
20 < T < 30	Mésothermale
30 < T < 50	Thermale
T < 50	Hyperthermale

#### **I.11.2.2. Le pH:**

Le pH est le logarithme de la concentration en ions H<sup>+</sup>. C'est une mesure de l'activité ionique Hydrogène dans l'eau.

Il résume la stabilité de l'équilibre établi entre différentes formes d'acide carbonique et est lié au système tampon formé par le carbonate et le bicarbonate [27].

Tableau I. 3. Classification des eaux d'après leur pH [28].

<b>pH &lt; 5</b>	<b>Acidité forte =&gt; présence d'acides minéraux ou organiques dans les eaux naturelles</b>
<b>pH = 7</b>	<b>pH neutre</b>
<b>7 &lt; pH &lt; 8</b>	<b>Neutralité approchée =&gt; majorité des eaux de surface</b>
<b>5,5 &lt; pH &lt; 8</b>	<b>Majorité des eaux souterraines</b>
<b>pH = 8</b>	<b>Alcalinité forte, évaporation intense</b>

#### I.11.2.3. La conductivité électrique :

La conductivité de l'eau est la conductivité de la colonne d'eau entre deux électrodes métalliques (platine) d'une surface de 1 cm<sup>2</sup> et séparées de 1 cm l'une de l'autre. C'est l'inverse de la résistivité.

La conductivité est mesurée en Siemens par mètre (S/m) : 1 S/m = 104 μS/cm = 103 S/m [25].

La mesure de la conductivité constitue une bonne appréciation du degré de minéralisation de l'eau, où chaque ion contribue par sa concentration et sa conductivité spécifique. La conductivité reflète le degré global de minéralisation, elle nous indique la salinité [29].

Tableau I. 4. Minéralisation des eaux en fonction de la conductivité électrique [30].

<b>Conductivité</b>	<b>Minéralisation</b>
0 – 100 μS/cm	
100 – 200 μS/cm	Minéralisation très faible
200 – 333 μS/cm	Minéralisation faible
333 – 666 μS/cm	Minéralisation moyenne accentuée
666 – 1 000 μS/cm	Minéralisation accentuée
> 1 000 μS/cm	Minéralisation importante

**I.11.2.4. Turbidité :**

La turbidité de l'eau est liée à sa transparence. Elle est causée par les matières en suspension (MES) composées d'argile, de limon, de particules organiques, de plancton et de divers autres micro-organismes pour les eaux souterraines, l'eau Eaux usées, eaux de surface et eau potable [31].

Tableau I. 5. Classification des eaux en fonction de la turbidité [32]

<b>Turbidité</b>	<b>Nature de l'eau</b>
NTU < 5	Eau Claire
5 < NTU < 30	Eau légèrement trouble
NTU > 50	Eau trouble

**I.11.2.5. Salinité :**

C'est la masse de sel (composé ionique) dissous dans 1L d'eau. Elle est exprimée en grammes par kilogramme d'eau. Les composés ioniques ou solides ioniques cristallins sont composés de cations (ions chargés positivement) et d'anions (ions chargés négativement) dans un arrangement spatial régulier.

En général, les cristaux ioniques sont électriquement neutres [33].

**I.11.2.6. Taux des sels dissous (TDS) :**

Les sels corrosifs les plus répandus sont les chlorures. Les eaux saumâtres en contiennent des proportions variables, des eaux de surface et les nappes sont de plus en plus polluées par des déversements. En général, jusqu'à 100 mg de chlorures par litre. Les eaux de dureté moyenne ne manifestent par l'action corrosive appréciable. Au-delà de cette teneur, la corrosion croît rapidement vers 1g/l de chlorures, la destruction des métaux, fer acier inoxydable détruit en 6 mois par une eau froide à 1g de Na Cl par litre [33].

**I.11.3. Les paramètres chimiques :****I.11.3.1. La dureté :**

La dureté globale de l'eau représente la concentration de sels de calcium et de magnésium dissous. Une eau trop dure réduira la détergence du savon, elle nuit à la bonne

cuisson des légumes et est à l'origine de dépôts de carbonate de calcium dans le circuit de chauffage. La dureté de l'eau s'acquiert au fur et à mesure qu'elle traverse les formations géologiques. L'eau qui coule à travers les sols calcaires, en particulier les sols de gypse, est riche en calcium dans son processus et très dure. La dureté est mesurée par un hydromètre cap en °F (degrés français) 1°F correspond à 10 mg de carbonate de Calcium dans 1 litre d'eau [34].

Tableau I. 6. Classement de la dureté [34].

Degré de dureté	TH (°français)
Très douce	0-7
Douce	8-15
Plutôt dure	16-30
Dure	31-40
Très dure	40 plus

#### I.11.3.2. Calcium :

Le calcium est généralement l'élément principal de l'eau potable, et sa teneur varie essentiellement en fonction de la nature du sol (sol calcaire ou gypseux) traversé. Il existe dans l'eau sous forme de bicarbonate et le plus souvent sous forme de sels de sulfate ou de chlorure. Il provient de l'érosion du calcaire par le dioxyde de carbone dissous ( $\text{CO}_2$ ) [34].

#### I.11.3.3. Magnésium :

Le magnésium est un composant important de la dureté de l'eau et est très commun dans la nature [34].

La plupart des masses d'eau naturelles contiennent généralement de petites quantités de magnésium, dont la quantité dépend de la composition des roches sédimentaires rencontrées. Le magnésium dans l'eau provient de l'érosion carbonique des roches de magnésie et de la dissolution du magnésium sous forme de carbonate ( $\text{MgCO}_3$ ) et de bicarbonate  $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$  [35].

#### I.11.3.4. Chlorure :

Une eau trop chlorée est laxative et corrosive.

Le chlorure est un anion inorganique important à des concentrations variables dans l'eau naturelle, généralement sous la forme de sels de sodium ( $\text{NaCl}$ ) et de potassium ( $\text{KCl}$ ). Ils sont

couramment utilisés comme indices de pollution et ont des effets sur la flore et la faune aquatiques ainsi que sur la croissance des plantes. Le chlorure est présent à des niveaux variables dans presque toutes les eaux [36].

Le chlorure est très soluble dans l'eau et sa principale source est la dissolution des roches sédimentaires qui se sont déposées dans le milieu aquatique et n'ont pas encore été complètement emportées. Par conséquent, les chlorures dans l'eau ne sont pas impliqués dans les processus biologiques. Parce qu'à des concentrations plus élevées, l'eau aura un goût de sel. Ils sont également corrosifs à fortes concentrations [34].

#### **I.11.3.5 Le bicarbonate :**

Le bicarbonate ( $\text{HCO}_3^-$ ) ou les ions bicarbonate sont en équilibre avec le dioxyde de carbone dissous  $\text{CO}_2$  et le carbonate de calcium ( $\text{CaCO}_3$ ). Cet équilibre calcium-carbone [34].

La teneur en bicarbonate des eaux souterraines est principalement déterminée par la présence de minéraux carbonatés dans le sol et les aquifères, et la quantité de dioxyde de carbone dans l'air et le sol du bassin versant. La teneur en bicarbonate des eaux souterraines non affectées varie entre 50 et 400 mg/L. Dans une plage typique pour les eaux souterraines non contaminées, la teneur médiane en bicarbonate est d'environ 302 mg/ [37].

#### **I.11.3.6. Alcalinité :**

Caractérise la capacité de l'eau à maintenir son pH constant. Par conséquent, l'ajout d'une petite quantité d'acide faible à de l'eau pure entraîne automatiquement une baisse significative du pH. L'eau alcaline pourra neutraliser cet acide, gardant ainsi son pH plus ou moins constant. L'alcalinité mesure la quantité de composés basiques dans l'eau, tels que les carbonates ( $\text{CO}_3^{2-}$ ), les bicarbonates et les hydroxydes. Il est déterminé par la méthode de l'acidité et se caractérise par deux paramètres : le titre d'alcalinité (TA), qui correspond à la première neutralisation des ions carbonates, et le titre d'alcalinité complète (TAc), qui correspond à la neutralisation de toutes les espèces carbonées dissociées. . L'alcalinité est généralement mesurée en mEq/l (milliéquivalents par litre)[28].

#### **I.11.3.7. Résidu sec :**

Les résidus secs La détermination des résidus totaux sur une eau non filtrée reflète la teneur en matières dissoutes et en suspension non volatiles. La mesure des résidus secs après filtration correspond quant à elle, aux matières dissoutes (dimension inférieure à 1nm) [33].

### **I.11.3.8 Ammonium :**

L'azote ammoniacal est fréquent dans les eaux superficielles. Il a pour origine la matière organique végétale et animale des cours d'eau. La nitrification des ions ammonium se fait en milieu aérobie faible.

En général, l'ammonium se transforme assez rapidement en nitrites et nitrates par oxydation bactérienne [38].

L'ammonium en lui-même n'est pas nuisible. Lorsque le pH augmente, on retrouve de l'ammoniac, qui est un gaz soluble dans l'eau et toxique pour la vie aquatique. Des problèmes apparaissent à partir d'une concentration de 0,1 mg  $\text{NH}_4^+$  [39].

### **I.11.3.9. Nitrate :**

La plupart des eaux naturelles contiennent généralement de faibles concentrations de nitrates (plusieurs milligrammes par litre). Cependant, de nombreuses eaux souterraines et eaux de surface ont des concentrations élevées de nitrate en raison de l'enrichissement du sol par les engrais ou les rejets d'eaux usées domestiques ou industrielles. Les nitrates sont présents dans l'eau par lessivage des produits azotés dans le sol, décomposition des composés organiques ou synthétiques. Ou des engrais naturels [40].

Les nitrates constituent la dernière étape de l'oxydation de l'azote organique, et leur présence dans les eaux polluées prouve que le processus d'auto-épuration a commencé [38].

### **I.11.3.10. Nitrite :**

Le nitrite peut exister dans l'eau sous forme de nitrite alcalin (nitrite de sodium  $\text{NaNO}_2$ , nitrite de calcium  $\text{Ca}(\text{NO}_2)_2$ , nitrite de potassium  $\text{KNO}_2$ ) [34].

Ils sont également largement présents, mais en quantités beaucoup plus faibles que les nitrates. Le nitrite provient de l'oxydation incomplète de la matière organique. Comme les nitrates, les nitrites sont très omniprésents dans l'environnement, dont l'un est présent dans la plupart des aliments, l'atmosphère et la plupart de l'eau. Des niveaux élevés correspondent à la réduction du nitrate en nitrite par les anaérobies sulfite-réducteurs. Ils peuvent également être impliqués dans l'oxydation bactérienne de l'ammoniac [41].

### **I.11.3.11. Phosphate :**

Les ions phosphate contenus dans les eaux de surface ou souterraines peuvent être d'origine naturelle : décomposition de matières organiques, lessivage de minéraux ou rejets

industriels (agro-alimentaire,..etc.), engrais (pesticides,..etc.) et produits ménagers (polyphosphates dans les détergents) [42].

En l'absence d'apport d'oxygène, les phosphates ne sont présents dans les eaux naturelles qu'à l'état de traces et ils sont introduits dans les eaux de surface (rivières, lacs) par des eaux usées souvent insuffisamment épurées. Ils sont responsables L'eutrophisation des eaux de surface s'accélère.

#### **I.11.3.12. Le Sulfate :**

Le sulfate ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) provient du ruissellement ou de l'infiltration des terres à gypse [25].

Dans des conditions naturelles, le sulfate est la forme la plus courante de soufre dissous dans les eaux naturelles, provenant de deux sources principales : géochimique et atmosphérique [43].

#### **I.11.3.13. Potassium :**

Le potassium est généralement l'élément majeur le moins abondant dans l'eau, après le sodium, le calcium et le magnésium ; il n'occupe qu'exceptionnellement les cations tertiaires .

Le potassium joue un rôle important dans le système hydrique de l'homme et il intervient dans les fonctions nerveuses. Toutefois, quand les reins fonctionnent mal, il y a une accumulation de potassium, ce qui peut entraîner une perturbation des battements du cœur .

#### **I.11.3.14. Sodium :**

Le sodium est un élément dit conservateur car une fois en solution, il peut être extrait des nappes phréatiques sans réaction. Les précipitations apportent de très petites quantités de sodium aux eaux souterraines, et des niveaux anormalement élevés peuvent provenir du lessivage du sel, ou de l'infiltration de sols salins ou de l'infiltration d'eau saumâtre [23] [35].

Dans les eaux souterraines non contaminées et non en contact avec l'évaporite, la teneur en sodium est comprise entre 1 et 20 mg/l [37].

### **I.12 Méthodes de traitement de l'eau**

#### **I.12.1 Décantation :**

Dans le traitement de l'eau, la décantation (ou settling en Anglais) est une opération qui permet de soustraire les particules en suspension de l'eau à traiter. C'est un procédé physique qui consiste à séparer les particules de densité plus lourde que l'eau, du liquide dans lequel elles se trouvent. Ces particules sont récupérées en fond de bassin. Dans une usine d'épuration, nous parlons de boues primaires dans le cas d'une décantation primaire en amont du traitement

biologique. Nous parlons de boues tertiaires pour toutes les boues qui sont récupérées dans un ouvrage de traitement tertiaire, comme un clarificateur.

### **I.12.2 La filtration :**

Le but de la filtration est de procéder à la séparation la plus complète possible entre l'eau et les différentes sortes de particules en suspension. La séparation s'effectue à travers une masse granulaire. Que l'eau soit décantée (ou « flottée ») ou non, il faut toujours la filtrer pour que l'élimination des matières insolubles soit aussi complète que possible dans le but d'obtenir une eau avec une turbidité voisine de zéro [44].

#### **I.12.2.1 Rôle de la filtration**

Une filtration est souvent indispensable, ne serait-ce que pour des raisons de sécurité et Pour obtenir une bonne clarification de l'eau. La chaîne de traitement est donc dans la plupart des cas un pack batterie qui traverse un filtre, ou plus précisément plusieurs filtres, peut maintenir le fonctionnement de l'appareil lorsque l'un des filtres s'arrête suite à une anomalie. Les particules à éliminer peuvent exister à l'état naturel dans des ressources en argile, limon, sable, plancton, bactéries, parasites et virus.

Ces particules peuvent également être produites dans la chaîne de traitement de l'eau, (Par exemple) :

- Dans le cas de floccs d'hydroxydes métalliques lors de l'étape de coagulation/floculation ;
- Précipitation des carbonates insolubles issus de l'adoucissement chimique Outre sa fonction primaire de séparation ou de clarification, la filtration peut également être utilisée pour le traitement biologique [45];

#### **I.12.2.2 types de filtres :**

Les filtres sont classés en fonction de différents types suivant la vitesse de filtration :

- \* Filtres lents : 1 à 2 m/h : Ils sont efficaces mais exigent de grandes surfaces ;
- \* Filtres rapides : 4 à 25 m/h : Ils sont les plus rapides. Il en existe deux catégories :
  - Les filtres ouverts ou filtres rapides gravitaires ou la couche d'eau à filtrer est de 0.5m ;
  - Les filtres sous pression [46] ;

**Conclusion**

Ce chapitre est divisé en deux grandes parties : la première était consacrée à l'étude de l'eau. Nous avons d'abord présenté des définitions, les différentes propriétés et les paramètres physico-chimiques nous avons présenté les différentes ressources hydriques naturelles et La deuxième partie est consacrée à définir les méthodes de traitement de l'eau.

---

# **CHAPITRE II**

## **ADOUCCISSEMENT DE L'EAU**

---

## II.1. Introduction

La dureté d'une eau est due à la présence d'ions métalliques,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Sr}^{2+}$ ,  $\text{Al}^{2+}$ , etc., les plus abondants étant les  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$ . En pratique, on considère donc souvent que la dureté totale d'une eau de consommation est égale à la somme de sa dureté calcique et de sa dureté magnésienne (dureté dues respectivement aux ions  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$ ).

## II.2. Influence de la dureté sur la qualité de l'eau

La dureté de l'eau est sa propriété qu'elle nécessite une plus grande quantité de savon que l'eau distillée pour former une mousse durable avec agitation [47].

En fait, la dureté de l'eau est la quantité de calcium et de magnésium dissous dans l'eau. L'eau dure est riche en minéraux dissous, principalement du calcium et du magnésium.

Les sels de calcium et de magnésium dissous dans l'eau dure sont la principale cause de la plupart des dépôts de calcaire dans les conduites d'eau et les canalisations. Bien qu'elle se produise généralement lentement sur les conduites d'eau froide, la température des éléments chauffants, tels que ceux des systèmes d'eau chaude et des chaudières des cafetières, peut aggraver l'augmentation de la dureté.



En plus du tartre résultant (carbonate de calcium), le dioxyde de carbone produit par cette réaction peut se combiner avec l'eau pour former de l'acide carbonique, qui corrode les équipements en acier.

En revanche, la dureté non carbonatée est responsable de la formation d'écume de savon. Dans cette réaction, la dureté non carbonatée réagit avec l'alcalinité carbonatée des savons et détergents [48].



## II.3. Principaux éléments responsables de la dureté

L'eau dure est principalement causée par les cations calcium et magnésium, suivis par l'aluminium, le fer et d'autres cations.

Le calcium et le magnésium sont les deux principaux cations responsables de la dureté naturelle de l'eau [49]. Par conséquent, pour la plupart des eaux, la dureté totale est causée par les cations prédominants et les anions associés, comme le montre la Figure (II.1).

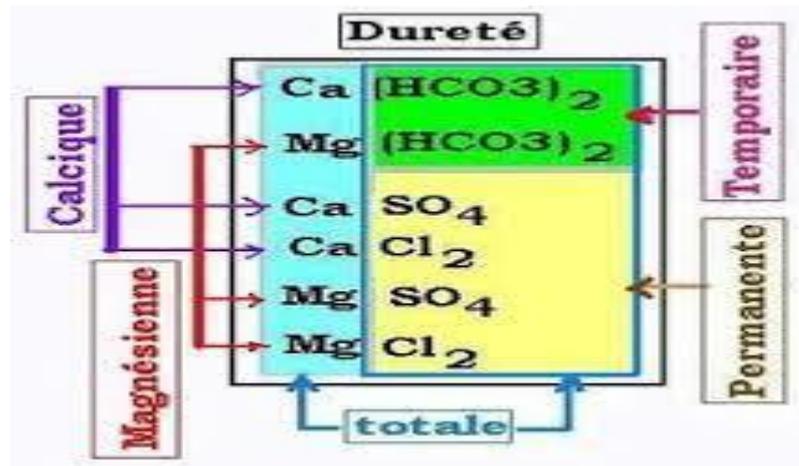


Figure II. 1. Principaux cations et anions associés dans l'eau.

Les cations sont généralement associés à des anions d'ions basiques HCO<sub>3</sub>, CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> et OH<sup>-</sup> et à des ions acides tels que SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>3-</sup> et Cl<sup>-</sup>. La dureté carbonatée fait référence au nombre d'ions de dureté associés aux ions alcalins. Lorsque la solution est sursaturée, les cations dans l'eau peuvent précipiter sous forme de tartre dur et la dureté du carbonate est sensible à la température et facile à précipiter. À des températures élevées, les sels de Mg peuvent également produire des tartres durs dans les chaudières.

### II.3.1. Magnésium :

Le magnésium est l'un des éléments les plus communs trouvés dans la nature. C'est un élément de la dureté de l'eau et sa teneur dépend du terrain traversé. Il est essentiel à la croissance, en tant qu'élément plastique des os et en tant qu'élément dynamique de la synthèse des enzymes et des hormones. Les concentrations de magnésium dépendent moins de l'activité humaine, de sorte que le magnésium n'est pas utilisé comme indicateur de stress dû à la pollution.

L'apport quotidien requis pour les adultes est de 200 à 300 mg. Cependant, au-delà d'un certain niveau, il confère à l'eau un goût amer désagréable [50].

### II.3.2. Calcium :

Le calcium est un métal alcalino-terreux que l'on trouve couramment dans la nature. C'est le composant principal de la dureté de l'eau et c'est le composant principal de l'eau naturelle. La concentration de calcium dans l'eau dépend du temps de séjour de l'eau dans les formations géologiques riches en calcium [51]. Lorsqu'il dépasse la norme dans l'eau, il peut

provoquer un entartrage dans les tuyaux. L'eau minérale contient des dizaines de milligrammes par litre.

#### **II.4. Impact sur les humains**

Le calcium et le magnésium sont des minéraux essentiels qui sont bénéfiques pour la santé humaine de plusieurs manières. Un apport insuffisant d'un seul nutriment peut entraîner des effets néfastes sur la santé. Les apports journaliers recommandés pour chaque élément ont été établis aux niveaux national et international. Les besoins individuels et la consommation de ces éléments varient considérablement.

#### **II.5. Causes de la dureté**

Les principales sources naturelles de dureté de l'eau sont les roches sédimentaires et l'infiltration et le ruissellement du sol. Généralement, l'eau dure provient de zones avec une couche arable plus épaisse et des roches calcaires [52].

La dureté de la source d'eau dépend de son niveau d'ions chargés positivement, tels que le calcium et le magnésium. Ces ions pénètrent généralement dans les sources d'eau en se dissolvant lentement et en lessivant des minéraux tels que la calcite et le gypse dans les aquifères, les forages, les systèmes fluviaux et d'autres points de collecte d'eau naturelle au fil du temps [53].

#### **II.6. Types d'eau dure**

L'eau dure est classée par les ions trouvés dans l'eau. Une distinction est également faite entre l'eau dure « temporaire » et « permanente ».

##### **II.6.1. la dureté temporaire :**

La dureté temporaire est principalement due à la présence de bicarbonate de calcium et de bicarbonate de magnésium. Une fois dissous, ces minéraux libèrent des cations calcium et magnésium ainsi que des anions bicarbonate. Bien que ces minéraux rendent techniquement l'eau "dure", cette dureté peut être considérablement réduite par ébullition. L'action d'ébullition fait précipiter du carbonate de calcium solide et/ou du carbonate de magnésium hors de l'eau, la rendant plus douce qu'elle ne l'était avant l'ébullition. Ce processus est la raison pour laquelle nous voyons du tartre s'accumuler dans des sections individuelles au bas de la chaudière de la cafetière, plutôt que d'englober toute la coque de la chaudière.

### II.6.2. la dureté permanente :

Ce type de dureté fait référence à la teneur en minéraux de l'eau qu'il est impossible d'éliminer par l'action de l'ébullition. Ce type de dureté est généralement causé par les sulfates de calcium et/ou de magnésium qui, contrairement aux variantes de carbonate, ne précipitent pas à des températures élevées et sont moins solubles à chaud qu'à froid. Lorsqu'une dureté permanente se produit, le tartre observé dans les chaudières des machines à café causé par le contaminant tiré de l'eau directement sur les surfaces de transfert de chaleur a tendance à être lourd et uniformément réparti sur la surface. Les dépôts seront beaucoup plus durs et plus denses par rapport à la variante de carbonate, car leur forme et leur taille cristallines plus petites leur permettent de se former plus étroitement [53].

### II.7. Dureté totale ou degré hydrotimétrique (TH)

La dureté de l'eau est presque entièrement due aux sels de calcium et de magnésium. D'autres éléments, fer, manganèse, aluminium, baryum, strontium... en concentration suffisante vont modifier la dureté, mais pour une eau minéralisée normale leur effet est négligeable.

Par conséquent, le titre hydrologique fait référence à la quantité totale d'eau dans les sels de calcium et de magnésium.

En France, il est exprimé en degrés Français par de nombreux professionnel 1 degré français = 10 mg/l de  $\text{CaCO}_3$

Comme 1e m.éq.  $\text{CaCO}_3 = 100/2$  soit 50 mg/l 5 degrés français = 1 m.éq

A l'étranger, les conventions étant différentes. Le tableau ci-dessous donne les correspondances [54].

Tableau II. 1. Déférent degré de la dureté.

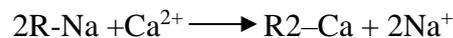
	Français	Anglais	Allemand	Américain	m.éq
<b>1er degré français</b>	1	0.70	0.56	0.58	0.2
<b>1 degré Anglais</b>	1.43	1	0.80	0.83	0.29
<b>1 degré Allemand</b>	1.79	1.26	1	1.04	0.36
<b>1 degré Américain</b>	1.72	1.2	0.96	1	0.34
<b>1 m.éq</b>	5	3.5	3.8	2.9	1

## II.8. Techniques d'élimination de la dureté de l'eau

Il existe plusieurs méthodes pour diminuer la dureté de l'eau, nous présentons dans ce qui suit les procédés les plus utilisés :

### II.8.1. Échangeur d'ions :

Il s'agit d'un processus conçu pour éliminer la dureté de l'eau par échange d'ions, où l'eau dure est passée à travers un lit de résine cationique, pré-saturée avec du sodium ( $\text{Na}^+$ ), puis mélangée avec Ions calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) et magnésium ( $\text{Mg}^{2+}$ ), responsables de la dureté de l'eau [55],[56]



L'eau dure est dirigée à travers des colonnes contenant des zéolithes ou des résines qui lient les ions indésirables à sa surface et libèrent les ions les plus tolérants. Au cours de ce processus, les ions d'eau dure deviennent des ions "fixes" en raison de leur fixation au matériau de résine. Ces ions fixes déplacent les ions désirés ( $\text{Na}^+$ ), maintenant appelés contreions, de la colonne, échangeant ainsi des ions dans l'eau. Le processus est illustré à la Figure II. 2 ci-dessus [57][58].

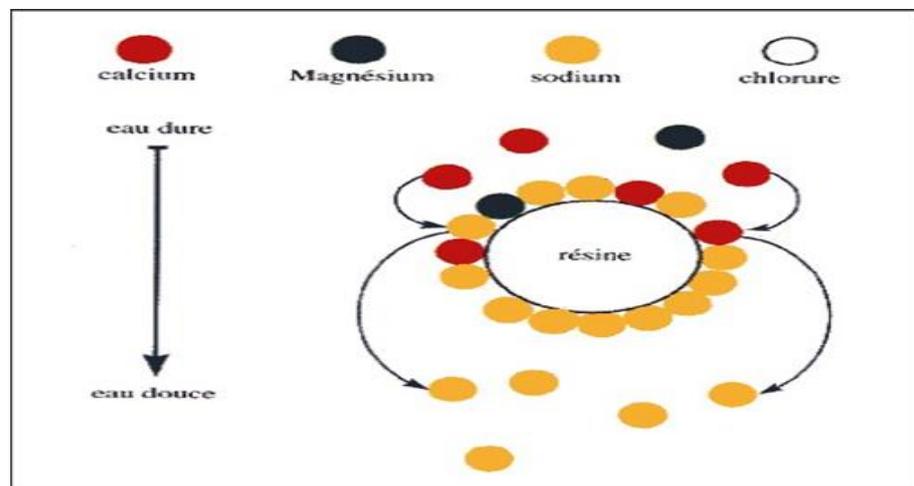


Figure II. 2.Principe Échangeur d'ions.

### II.8.2. Osmose inverse :

Les procédés membranaires (ultrafiltration, microfiltration et osmose inverse) prennent une place prépondérante et apparaissent comme la technologie d'avenir pour ce type de traitement [59].

L'osmose inverse est un phénomène observé lorsque deux solutions de concentrations différentes sont séparées par une membrane. Cela permet au solvant de s'écouler vers la solution

la plus concentrée et arrête le soluté. L'égalité des potentiels chimiques ne peut être rétablie par la diffusion du soluté dans le solvant, ce qui dilue la solution ; la pression correspondante est appelée pression osmotique ( $\pi$ ) de la solution, et le solvant va passer du milieu le plus concentré à travers le milieu le moins concentré, entraînant un flux osmotique inversé, d'où le nom d'osmose inverse [60].

Par rapport à d'autres procédés, ces procédés présentent les avantages suivants [59]:

- Pas d'ajouts d'additifs chimiques et absence de boue ;
- Réduction des frais d'exploitation (énergie, main-d'œuvre) ;
- Encombrement réduit ;
- Possibilité d'exploitation automatique du procédé (ENAGEO1993) ;

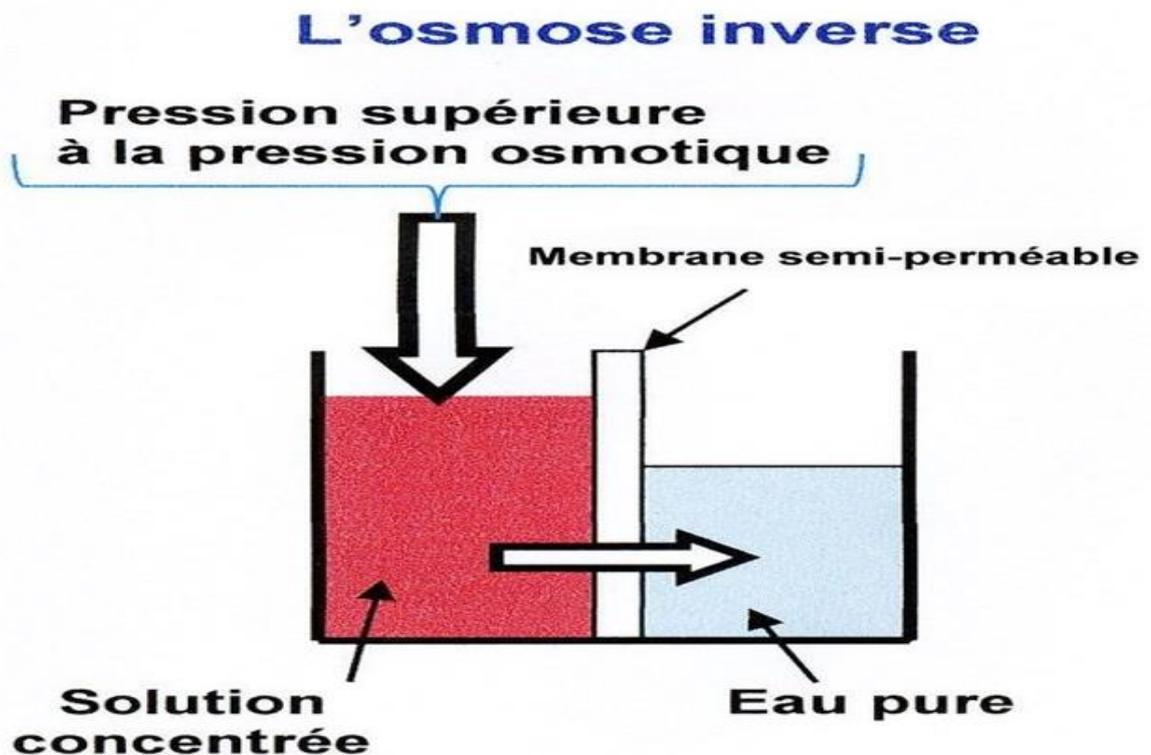


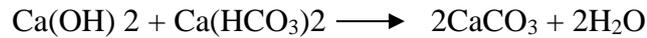
Figure II. 3.principe de l'osmose inverse.

<https://www.aquariophilie-aquarium.fr/Eau/Qualite-eau/osmose.html>

### II.8.3. Décarbonatations à la chaux :

Cette procédure est utilisée lorsque la dureté carbonatée est principalement causée par les ions  $\text{Ca}^{2+}$ . L'ajout de chaux entraîne la précipitation de  $\text{CaCO}_3$  (chaux uniquement) et de  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  (excès de chaux) lorsque le pH augmente. La cinétique de cette réaction est

relativement lente, et le processus est accéléré en recyclant les boues ayant formé des germes cristallins ou en y ajoutant des cristaux de carbonate de calcium [61], [62] :



L'ajout de chaux nécessite quelques précautions à prendre dans la mise en œuvre et l'eau ne doit pas contenir de colloïdes en suspension qui gêneraient la cristallisation. Il est donc parfois nécessaire d'ajouter un coagulant.

#### II.8.4. Précipitation chimique

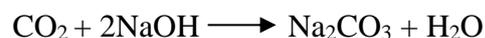
La précipitation est un processus chimique unitaire dans lequel les ions métalliques solubles indésirables et certains anions sont éliminés de l'eau ou des eaux usées par conversion en formes insolubles. Il s'agit d'une technologie de traitement couramment utilisée pour éliminer les métaux lourds, le phosphore et la dureté. Le processus consiste à modifier l'équilibre ionique pour produire des précipités insolubles qui peuvent être facilement éliminés par sédimentation.

La précipitation chimique est toujours suivie d'opérations de séparation des solides, qui peuvent inclure la coagulation et/ou la décantation, ou la filtration pour éliminer les précipités. Ce processus peut être effectué avant la réduction chimique pour modifier les propriétés des ions métalliques en une forme pouvant être précipitée [63]

#### II.9. Traitement par Hydroxyde de sodium(NaOH)

L'Hydroxyde de sodium (NaOH), peut remplacer le carbonate de sodium et une partie de la chaux dans le processus précédent. Le traitement à la soude caustique suit les mêmes étapes que l'adoucissement à la chaux sodée.

Premièrement, le dioxyde de carbone réagit avec la Hydroxyde de sodium pour former du carbonate de sodium et de l'eau.

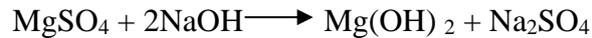


La Hydroxyde de sodium restante peut ensuite être mise à réagir avec du bicarbonate de calcium et du bicarbonate de magnésium.



La Hydroxyde de sodium peut également réagir avec la dureté carbonatée non magnésienne, comme indiqué ci-dessous. Notez également que la réaction entre la Hydroxyde

de sodium et la dureté carbonatée produit du carbonate de soude, qui réagit également avec la dureté non carbonatée [64].



## II.10. Les avantages et les inconvénients de l'eau dure

### II.10.1. Avantages :

- Meilleur goût grâce aux composés dissous.
- Il fournit du calcium utile pour la croissance des os et des dents.
- Le tartre qui se forme dans les tuyaux forme une couche isolante qui empêche l'eau du robinet d'entrer en contact avec le métal des tuyaux. Cela empêche la corrosion des tuyaux et les sels métalliques toxiques de se dissoudre dans l'eau.

### II.10.2. Inconvénients :

- La dureté temporaire de l'eau peut causer du calcaire dans les chauffe-eau, les conduites d'eau chaude, les bouilloires et autres appareils, ce qui fait que le calcaire provoque également le colmatage des appareils, qui doivent être retirés de temps en temps.
- L'eau dure nécessite plus de savon que l'eau douce, ce qui signifie que beaucoup de savon est gaspillé.
- L'eau dure peut laisser une écume difficile à laver qui peut endommager une variété d'articles.

### Conclusion :

Dans ce chapitre on a abordé généralité sur l'eau duré et les techniques d'élimination de la dureté de l'eau et le chapitre suivant sera consacré à la présentation les analyses et les méthodes d'analyses applique que les étapes suivis pour optimiser le traitement par (NaOH).

---

# CHAPITRE III

## Matériel et méthode

---

### III.1. Introduction

Dans ce chapitre on utilisera les méthodes appliquées pour déterminer la dose optimale de traitement de l'eau potable par NaOH et les paramètres analysés avant et après ce traitement.

### III.2. Traitement de l'eau par la soude (NaOH)

Pour la détermination des conditions optimales d'élimination de la dureté par la soude, on introduit des quantités différentes de la soude dans une série de bécher contenant 1 litre de l'eau de potable. Le mélange est agité pendant différentes durées à la température environ de 22°C.

L'analyse des paramètres physicochimiques est réalisée sur l'échantillon avant et après le traitement, comme le pH, la dureté totale, le calcium, le magnésium et de conductivité, TAc, chlorure ....etc.

### III.3. Prélèvement d'échantillons

Le prélèvement de l'eau au niveau d'un robinet, (de laboratoire de Ghardaïa). Ouvrir le robinet à débit maximum pendant 5 à 10 secondes puis de le ramener à un débit moyen pendant 2 minutes, ils sont remplis jusqu'au bord et bouchés de telle façon qu'il n'y ait aucun contact avec l'air et tout inscrivant les mentions relatives à la date de la prise.

### III.4. Paramètres physicochimique analysés

Les paramètres physicochimique analyse sont réalisés au laboratoire (ADE) unité de Ghardaïa.

#### III.4 1. Détermination du pH

##### ❖ Principe :

Le pH d'une solution est le cologarithme décimal de l'activité de la solution en ions hydrogène, il s'exprime en unités de pH.

##### ❖ Matériels :

- pH-mètre

##### ❖ Expression des résultats :

Le résultat est donné directement.



Figure III. 1.pH-mètre..

### **III.4.2. Détermination de la conductivité et la température, Salinité, Taux des sels dissous principe de la conductivité et la température**

#### **❖ Principe conductivité électrique et température :**

La conductivité électrique d'une eau est une mesure du courant électrique conduit par les ions présents dans l'eau. Elle dépend de la concentration, nature des ions, de la température et la viscosité de la solution.

La température est d'une grande importance dans l'étude et la surveillance des eaux. Une eau de boisson est de bonne fraîcheur à la consommation lorsque sa température varie de 9 et 12 °C.

#### **❖ Principe Salinité :**

Le sel dissous modifie les propriétés de l'eau, en premier lieu sa capacité de dissolution, sa densité, mais aussi sa compressibilité, son point de congélation et d'ébullition, sa conductivité électrique, sa dureté ainsi que sa viscosité ou sa corrosivité, et très légèrement sa capacité à transporter les sons et la lumière. La quantité des sels dissous dans un liquide modifie la pression osmotique de celui-ci.

La salinité est limitée à une température donnée dit seuil de saturation, au-delà duquel le liquide ne pouvant dissoudre plus de sel.

#### **❖ Principe taux des sels dissous :**

Le TDS signifie total des solides dissous et représente la concentration totale des substances dissoutes dans l'eau en mg/l.

#### **❖ Matériels :**

- Conductimètre.



Figure III. 2. Conductimètre.

### III.4.3. Détermination du turbidimètre

#### ❖ Principe :

La turbidité d'une eau est causée par des matières non dissoutes (limon, argile, algue, grain de silice, micro-flocs ...). Celles-ci atténuent la radiation incidente et les particules insolubles diffusent la radiation de façon inégale. L'appareil employé fonctionne sur le principe de la mesure diffusée. La turbidité est la réduction de la transparence d'un liquide due à la présence de matière non dissoute.

#### ❖ Matériels :

- Turbidimètre.

#### ❖ Expression des résultats :

La mesure est obtenue directement en NTU.



Figure III. 3. Turbidimètre.

### III.4.4. Détermination du dosage de la dureté totale (TH)

#### ❖ Principe :

Titration par complexométrie des ions calcium et magnésium avec une solution aqueuse de sel disodique d'acide éthylène-diamine tétra acétique (EDTA) à un pH de 10, l'indicateur utilisé est le mordant noir, qui donne une couleur rose en présence des ions calcium et magnésium. Lors du titrage avec l'EDTA la solution vire au bleu.

❖ **Réactifs :**

- Solution tampon pH 10 ;
- EDTA, Solution titrée à 0.01 mol/l ;
- Mordant noir 11, indicateur ;

❖ **Matériels :**

- Burette de 25 à 50 ml utilisée pour l'EDTA ;
- Matériel courant de laboratoire : fioles, pipettes, béchers ;

❖ **Expression des résultats :**

La concentration totale en ions calcium et magnésium ( $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ), exprimée en mg/l, est donnée par la formule :

$$[\text{TH}] = V_T \times F_c \times F \quad (1)$$

**TH** : Dureté exprimée en mg/l.

**V<sub>T</sub>** : Volume titrage.

**F<sub>c</sub>** : Facteur de correction.

**F** : Facteur de dilution.



Figure III. 4. La couleur bleu après titrage et rose avant titrage.

### III.4.5. Détermination du dosage du calcium

#### ❖ Principe :

Titration des ions calcium avec une solution aqueuse de l'EDTA à un pH compris entre 12 et 13. L'indicateur utilisé HSN (coloré), qui forme un complexe rose avec le calcium. Lors du titrage. L'EDTA réagit avec les ions calcium. L'indicateur vire alors de la couleur rose au bleu.

#### ❖ Réactifs :

- Hydroxyde de sodium, solution  $C_{(\text{NaOH})} = 2 \text{ mol/L}$  ;
- Solution titrée EDTA (0.01 mol/L) ;
- Indicateur HSN (coloré) ;

#### ❖ Matériels :

- Burette de 25 à 50 ml utilisée pour l'EDTA ;
- Matériel courant de laboratoire : fioles, pipettes, béchers ....;

#### ❖ Expression des résultats :

La teneur en calcium, exprimée en mg/l, est donnée par l'équation :

$$[\text{Ca}^{2+}] = V_T \times F \times F_c \quad (2)$$

$\text{Ca}^{2+}$  : Calcium exprimée en mg/l.

$F$  : facteur de dilution.

$F_c$  : facteur de correction du titre.

$V_T$  : volume de titrage.

### III.4.6. Détermination du Magnésium

La détermination du Magnésium est donnée par la formule suivante :

$$[\text{Mg}^{2+}] = F_c \times (V_{\text{TH}} - V_{\text{Ca}^{2+}}) \times F \quad (3)$$

$\text{Mg}^{2+}$  :

Magnésium

exprimée en mg/l.

**F** : Facteur de dilution.

**V<sub>TH</sub>** : Volume de titrage de (TH).

**V<sub>Ca<sup>2+</sup></sub>** : Volume de titrage de (Ca<sup>2+</sup>).

**F<sub>c</sub>** : Facteur de correction.

### III.4.7. Détermination du Dosage des chlorures

#### ❖ Principe :

Réaction des ions chlorures avec des ions argent pour former du chlorure d'argent insoluble qui est précipité quantitativement. Addition d'un petit excès d'ions argent et formation du chromate d'argent brun-rouge avec des ions chromates potassium qui ont été ajoutés comme indicateur. Cette réaction est utilisée pour l'indication du virage. Durant le titrage. Le pH est maintenu entre 5 et 9.5 afin de permettre la précipitation.

#### ❖ Réactifs :

- Solution d'Indicateur de chromate de potassium (K<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub>) à 100 g/l ;
- Solution titrée de nitrate d'argent (AgNO<sub>3</sub>) à 0.02 mol/l ;

#### ❖ Matériels :

- Burette ;
- Capsules en porcelaine de 100 ml. ;
- Pipettes ;
- Fioles ;
- Bécher ;

#### ❖ Expression des résultats :

$$[Cl^-] = \frac{(V_T - V_b) \times C \times f \times F}{V_a} \quad (4)$$

**Cl<sup>-</sup>** : Chlorures exprimée en mg/l.

**V<sub>T</sub>** : Volume de titrage.

**f** : 35453.

**C** : 0.02.

$V_a$  : 100.

$F$  : Facteur de dilution.

$V_b$  : Volume blanc.



Figure III. 5. Avant Titrage.



Figure III. 6. Après Titrage.

### III.4.8. Détermination du Dosage de Titre Alcalimétrique complet

#### ❖ Principe :

Détermination des volumes successifs d'acide fort en solution diluée nécessaires pour neutraliser, le volume d'eau à analyser. la première détermination sert à calculer le titre alcalimétrique (TA), La seconde à calculer le titre alcalimétrique complet (TAc), en présence d'un indicateur coloré.

#### ❖ Réactifs :

- Acide chlorhydrique (HCL) concentré à 37% ;
- Vert de promocrisol (coloré) ;

#### ❖ Matériels :

- PH-mètre ;
- Electrode ;
- Burette manuelle ou burette automatique ;
- Agitateur magnétique, barreaux magnétiques ;
- Bécher de 50 ml ;

❖ **Expression des résultats :**

$$[\text{TAc}] = V_T \times F_c \times F \quad (5)$$

**TAc** : Titre Alcalimétrique complet exprimée en mg/l.

**V<sub>T</sub>** : Volume de titrage en ml.

**F** : Facteur de dilution.

**F<sub>c</sub>** : Facteur de correction.

**III.4.9. Détermination des Résidus secs :**❖ **Principe :**

La détermination des résidus secs dans les eaux permet d'estimer la teneur en matières dissoutes et en suspension dans l'échantillon.

❖ **Matériels :**

- Capsule en porcelaine, en verre borosilicaté ou, de préférence, en silice ou en platine;
- Balance permettant d'effectuer la pesée de la capsule et de son contenu à 0.1 mg près ;
- Etuve réglable à 100-150 °C ou 175-185°C ;
- Four réglable à 525 °C ;

❖ **Expression des résultats :**

$$\text{RS} = (P_0 - P_1) \times 20000 \quad (6)$$

**RS** : Résidus secs exprimée en mg/l.

**P<sub>0</sub>** : Poids à vide de la capsule.

**P<sub>1</sub>** : Poids plein de la capsule.

### III.4.10. Détermination du dosage l'ammonium

#### ❖ Principe :

Mesurage spectrométrique du composé bleu formé par réaction de l'ammonium avec les ions salicylate et hypochlorite en présence de nitroprussiate de sodium.

Les ions hypochlorite sont générés in situ par hydrolyse alcaline du sel de sodium du dichloroisocyanurate de sodium.

Les mesures spectrophotométriques à la longueur d'onde de 655nm.

#### ❖ Réactifs :

- Réactif coloré ;
- Solution de Dichloroisocyanurate de sodium ;

#### ❖ Matériels :

- Matériel courant de laboratoire : verrerie ( fioles et pipettes ) ;
- Spectrophotomètre UV/VIS ;

#### ❖ Expression des résultats :

Les résultats sont affichés directement par le spectromètre en mg/l d'ammonium.



Figure III. 7.Spectrophotomètre UV/VIS.

### III.4.11. Détermination du dosage Nitrite :

#### ❖ Principe :

Présente méthode décrit le dosage des nitrites dans les eaux par spectrométrie d'absorption moléculaire.

#### ❖ Matériel :

- Matériel courant de laboratoire : verrerie ( fioles et pipettes...) ;

- Spectrophotomètre UV -Visible permettant des mesurages à une longueur d'onde de 540 nm, équipé de cuves de 10 mm d'épaisseurs ;

❖ **Expression des résultats :**

Le résultat est donné directement en mg/l.

### III.4.12. Détermination du dosage Phosphore

❖ **Principe :**

C'est une réaction des ions phosphates avec une solution acide contenant des ions molybdate et d'antimoine pour former un complexe d'antimonyl-phosphomolybdate.

❖ **Réactifs :**

- Molybdates d'acide ;
- Acide sulfurique à 9 mol/l (dilution de 1/2) ;

❖ **Matériel :**

- Balance analytique à 0,1 g et à 0,0001 g près ;
- Spectromètre doit convenir pour la mesure de l'absorbance dans les régions du spectre visible et proches de l'infrarouge. La longueur d'onde la plus sensible est 880nm, mais si une perte de sensibilité peut être admise l'absorbance peut être mesurée à 700 nm ;

❖ **Expression des résultats :**

Le résultat est donné directement en mg/l.

### III.4 .13. Détermination du dosage Fer

❖ **Principe :**

Une méthode spectrométrique à la phénantroline pour le dosage du fer dans l'eau. Addition d'une solution de phénantroline-1.10 a une prise d'essai et mesurage photométrique du complexe rouge- orange à une longueur d'onde de 510 nm.

Le complexe fer (II- phénantroline-1.10 est stable dans l'intervalle de pH de 2.5 à 9 et l'intensité de la coloration est proportionnelle à la quantité du fer.

❖ **Réactifs :**

- Solution tampon acétate ;
- Solution de chlorhydrate d'hydroxylamine à 100 g/l ;

- Solution de phénantroline-1,10 ;
- Tampon acétate ;

❖ **Matériels :**

- Spectrophotomètre UV-Visible convenant pour effectuer des mesurages à 510 nm;
- Cuve photométrique, de parcours optique d'au moins 10 mm et convenant pour l'absorbance prévue de la solution d'essai ;
- Balance analytique de laboratoire ;
- Fioles ;
- Pipettes ;

❖ **Expression des résultats :**

Le résultat est donné directement en mg/l.

#### **III.4 .14. Détermination du dosage Sulfates :**

❖ **Principe :**

Les ions sulfates sont précipités en milieu chlorhydrique à l'état de sulfate de baryum.

❖ **Réactifs :**

- HCl à 10 % ;
- Chlorure de baryum à 10% ( $\text{BaCl}_2$ ) ;
- Nitrates d'argent ;

❖ **Matériel :**

- Matériel courant de laboratoire (fioles, pipettes, béchers ...) ;
- Spectrophotomètre UV/Visible ;

❖ **Expression des résultats :**

Les résultats sont exprimés en  $\text{SO}_4^{2-}$  mg/l.



Figure III. 8. Spectrophotomètre.

### III.4 .15. Détermination de Sodium et de Potassium

#### ❖ Principe :

Le photomètre de flamme consiste à vaporiser dans une flamme de gaz butane une dilution aqueuse du plasma à analyser. Le changement de coloration de la flamme est analysé grâce à une cellule photoélectrique. L'intensité de la coloration est en rapport avec la concentration en ions  $\text{Na}^+$  et en ions  $\text{K}^+$ .

#### ❖ Réactifs :

- Des étalons de sodium ( $\text{Na}^+$ ) à 10 mg/l jusqu'à 100 mg/l ;
- Des étalons de potassium ( $\text{K}^+$ ) à 10 mg/l jusqu'à 50 mg/l ;

#### ❖ Matériels :

- Burette graduée ;
- Photomètre de flamme
- Matériel courant de laboratoire ( fioles, pipettes, béchers, etc.) ;

#### ❖ Expression des résultats :

D'après les courbes d'étalonnage respectivement pour le potassium et au sodium, les concentrations en ces deux éléments, exprimés en mg/l, est directement déduites.



Figure III. 9. Photomètre de flamme.

### III.5. Réalisation des essais de traitement de l'eau par NaOH

#### III.5.1. Essais d'optimisation de la dose de NaOH :

Pour éliminer la dureté (le calcium et le magnésium) par la Hydroxyde de sodium (NaOH). On a procédé à plusieurs essais avec différentes doses de NaOH sur une série de béchers de 2000 ml. Avant chaque traitement, on procède à une analyse des paramètres physicochimiques déterminés au préalable.

##### III.5.1.1. Mode opératoire (Essais 01) :

- ❖ Dans un bécher, on met 1000ml d'eau robinet ;
- ❖ Ajouter une dose de 5g de NaOH ;
- ❖ Placer ce bécher sous agitation pendant 15 minutes ;
- ❖ Laisser décanter pendant 15min ;
- ❖ Analyser les paramètres physicochimiques de surnageant ;



Figure III. 10. Traitement des échantillons.

#### III.5.1.2. Mode opératoire (Essais 02) :

- ❖ Dans un bécher, on met 1000ml d'eau robinet ;
- ❖ Ajouter une dose de 2.5g de NaOH et 2.5g de Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> ; Placé ce bécher sous agitation pendant 40 minutes ;
- ❖ Faire une décantation de cette solution pendant 1 jour ;
- ❖ Analyser les paramètres physicochimique de surnagent ;
- ❖ Après analyse de la solution obtenue on trouve que le  $\text{pH} > 13$  ;
- ❖ On sépare la solution on deux pour faire le traitement suivant ;
- ❖ Dans le premier bécher on met 100 ml de cette solution, on commence une agitation en ajoutant 25 gouttes de HCl en mesurant le pH en parelle ;
- ❖ Dans l'autre bécher on met 100 ml de cette solution, on commence une agitation en ajoutant 15 gouttes d'acide acétique et en mesurant le pH ;



Figure III. 11. traitement des échantillons (les gouttes).

#### III.5.1.2. Mode opératoire (Essais 03) :

- ❖ Dans 03 bécher, on met 1000 ml d'eau robinet ;
- ❖ Ajouter dans chaque bécher une dose de NaOH respectivement (10mg, 20mg, 30mg) ;
- ❖ Placé ces bécher sous agitation pendant 120 minutes ;
- ❖ Faire une décantation pendant 20 heures ;
- ❖ Filtrée par deux papier a filtré ;
- ❖ Analyser la solution obtenue ;



Figure III. 12. La solution avant filtration.



Figure III. 13. La solution après filtration.

**Conclusion**

Dans ce chapitre on a déterminé les procédés et les méthodes d'analyses appliquées ainsi que les étapes suivis pour optimiser le traitement par NaOH et le chapitre suivant sera consacré à la présentation et la discussion des résultats.

---

# **CHAPITRE IV**

## **RESULTATS ET DISCUSSION**

---

## IV Introduction

Dans ce chapitre nous présenterons les résultats trouvés pour réduction de calcium et de magnésium de l'eau de robinet, réalisés dans le laboratoire de l'ADE de la région de Ghardaïa.

### IV.1. Essais préliminaire

#### IV.1.1. Essais 01 :

- La dose de 5g/l NaOH

Tableau IV. 1. Analyses d'échantillon avant et après traitement

les paramètres	AV	AP
T (°C)	16,5	18,4
pH	6,6	13,5
CE (µS/cm)	2210	2760
Ca <sup>2+</sup> (mg/l)	157,113	123,44
Mg <sup>2+</sup> (mg/l)	47,682	4,86
TH (mg/l)	558	328

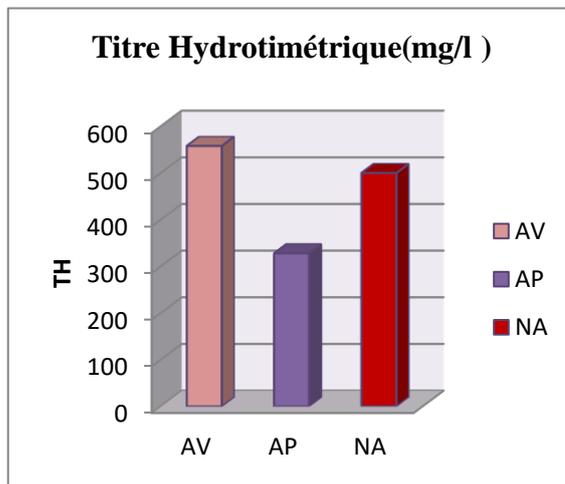


Figure IV. 1. Titre Hydrotimétrique TH.

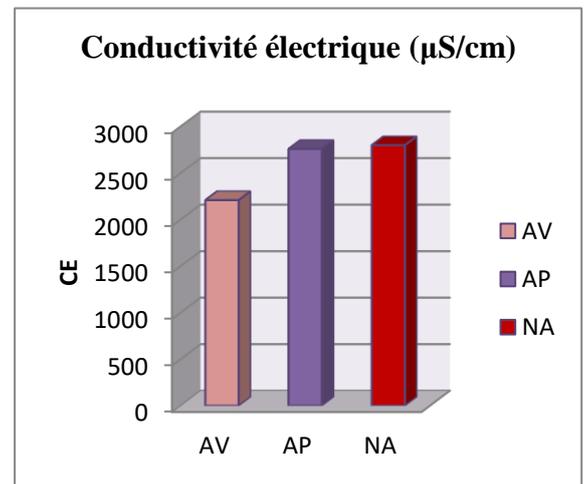


Figure IV. 2. Variation conductivité électrique CE.

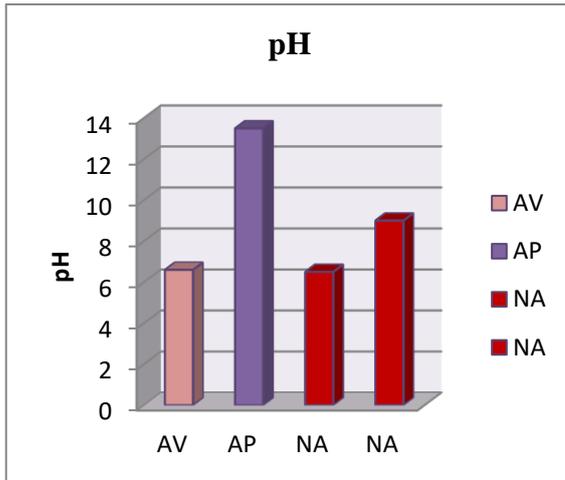
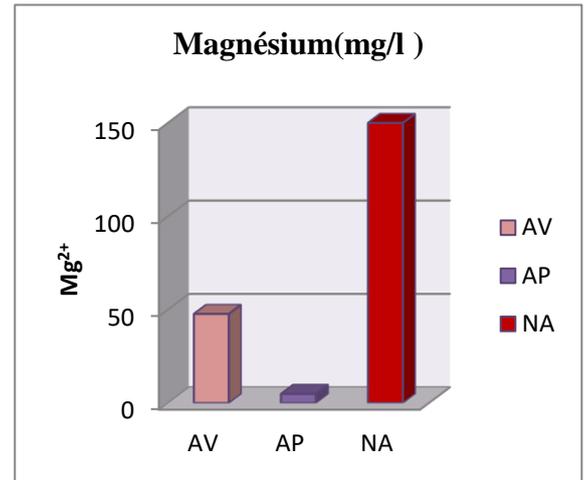
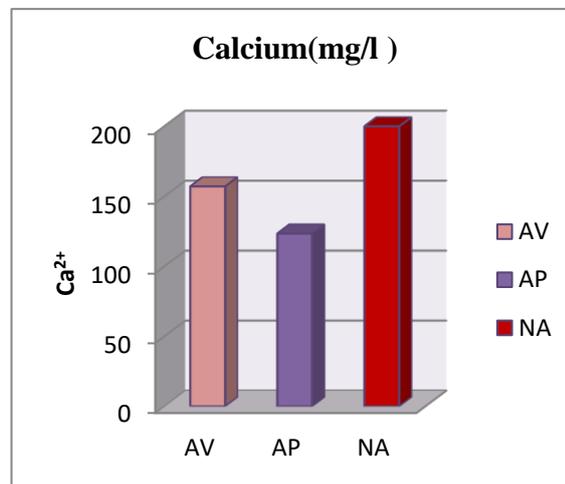


Figure IV.4 .Variation du pH.

Figure IV.5 .Variation du magnésium Mg<sup>2+</sup>.Figure IV.3 .Variation du calcium Ca<sup>2+</sup>.

Dans ce premier essai, l'expérience fait sortir que l'application de NaOH comme précipitant a donnée de bons résultats pour le (Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> et TH), contrairement au pH ou la valeur a augmenté à un taux inacceptable en plus à l'augmentation de la conductivité.

#### IV.1.2. Essais 02 :

- Dose de 2.5 g/l de NaOH et 2.5g/l de Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>

Le tableau suivant représente les résultats d'échantillon avant et après traitement et les résultats de second traitement, par HCl et l'acide acétique.

Tableau IV. 2. Analyses d'échantillon avant et après traitement.

Les parameters	Unit e	E.AV. T	E.AP.T (NaOH+CaCO <sub>3</sub> )	E.AP.T (NaOH+CaCO <sub>3</sub> +HCl)	E.AP.T (NaOH+CaCO <sub>3</sub> +Acide acetig)	NA
T	°C	19,6	19,6	15	15	25
Ph	-	7,48	13,13	7,28	6,36	6,5
Sal	-	1,1	10,3	7	5	
CE	μS/cm	2250	1574	9330	7990	2800
Ca <sup>2+</sup>	mg/l	158,716	0	12,024	20,04	200
Mg <sup>2+</sup>	mg/l	54,432	0	4,86	9,72	150
TH	mg/l	620	0	50	90	500
TAc	mg/l	170,8	4367,6	378,2	4404,2	500
Cl <sup>-</sup>	mg/l	377,219	521,868	2684,6	425,436	500

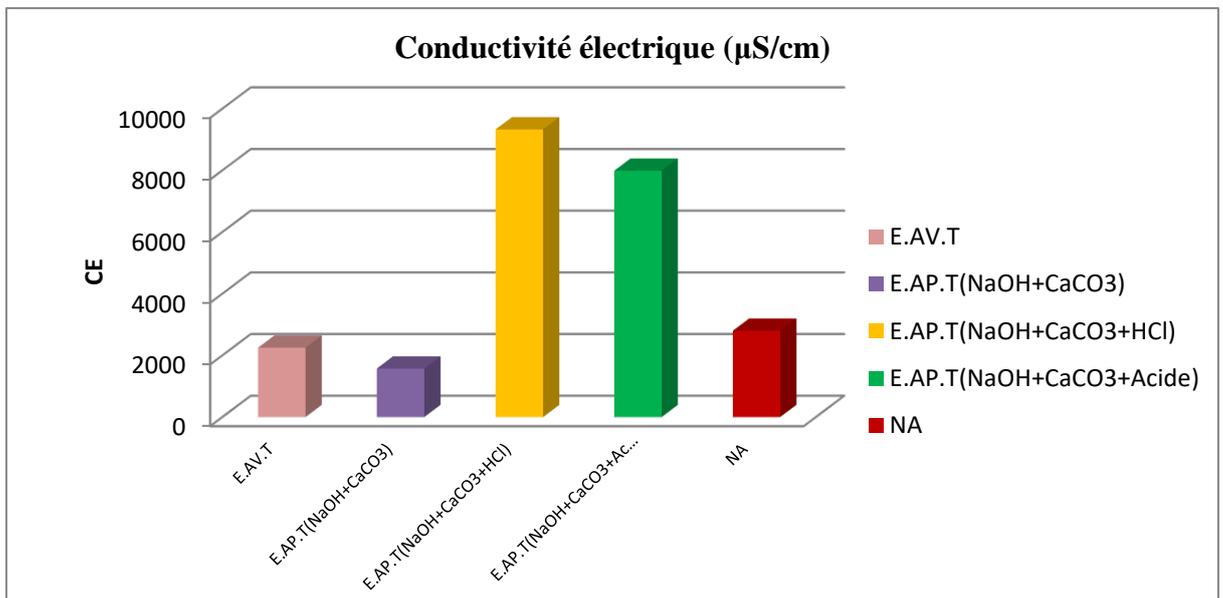


Figure IV. 6. Variation de conductivité électrique CE.

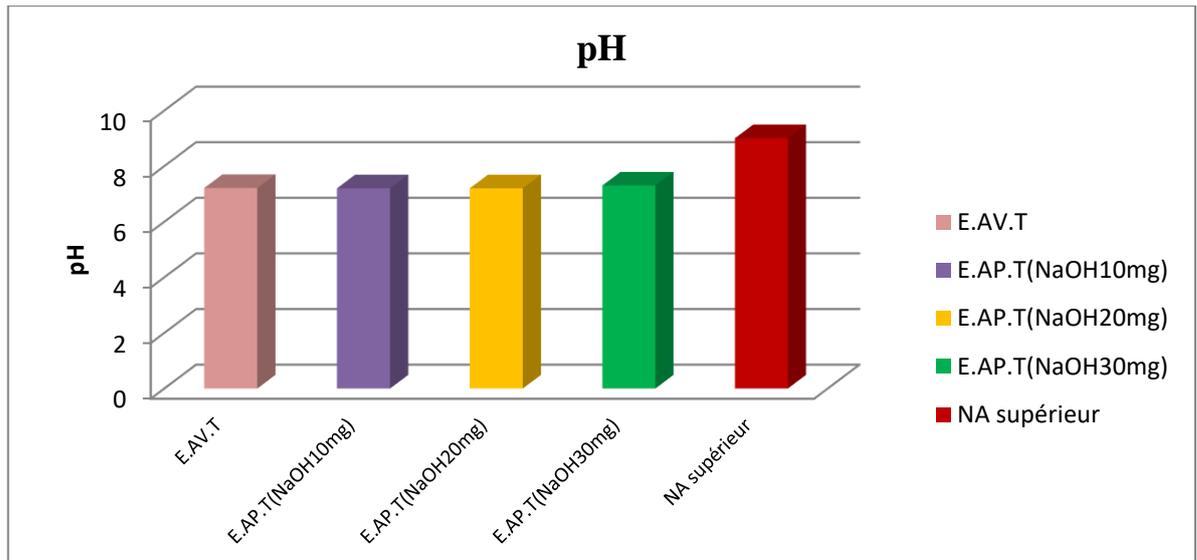


Figure IV. 7. Variation du PH.

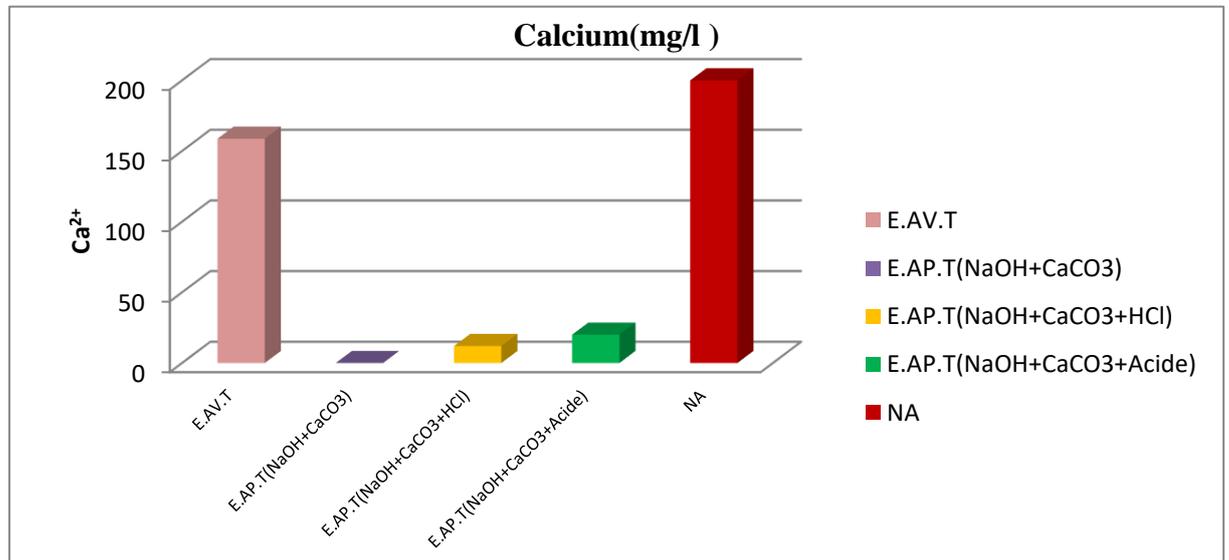


Figure IV. 8. Variation du calcium.

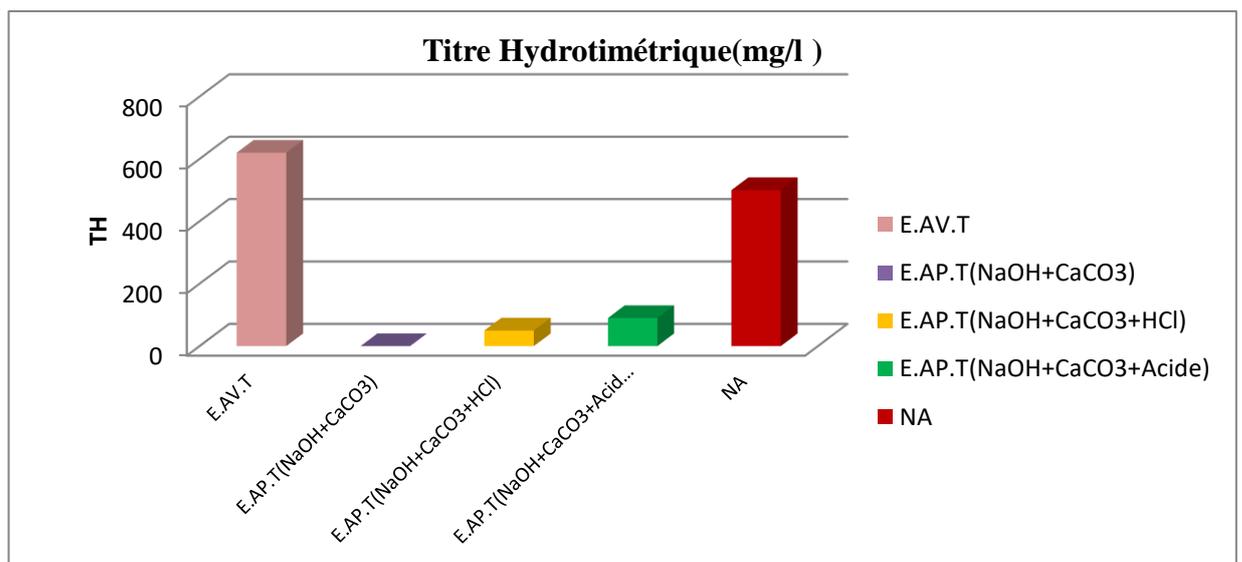


Figure IV. 9. Variation de titre hydrotimétrique TH

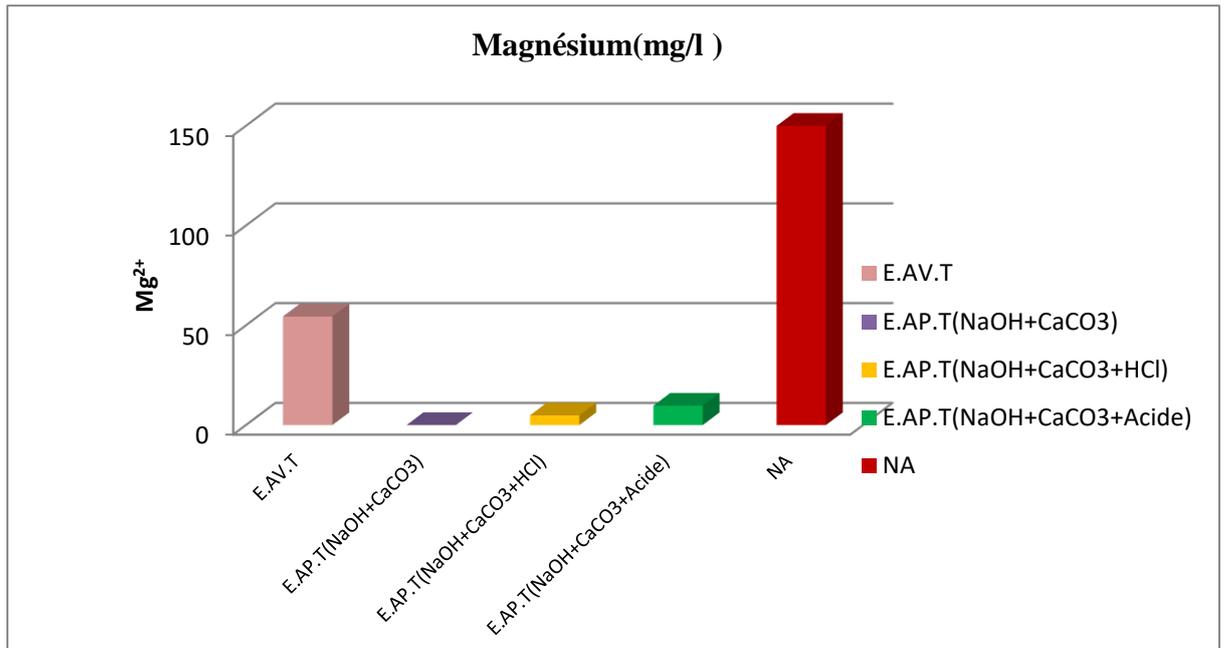


Figure IV. 10. Variation du magnésium Mg<sup>2+</sup>.

Pour cet essai, on a réduit la dose de NaOH et on a ajouté du CaCO<sub>3</sub>. Il y a un taux de rabattement important dans les éléments suivants (Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, TH, CE), or le milieu est devenu très alcalin et le pH atteint une valeur supérieure à 13, ce qui rend l'eau non potable.

On effect l'expérience est suivi d'une acidification une fois par HCl et autre fois par l'acide acétique (acide organique).

Cependant ce procédé a fait augmenter la conductivité où les valeurs enregistrées sont respectivement (9330 μS/cm, 7990 μS/cm), malgré que le pH est ajusté aux normes et les paramètres de salinité ont augmentés par apport à l'essai précédent pour donner une bonne potabilité d'autre part.

## IV.2 Essais Finale

### IV.2.1. Essais :

Le tableau suivant présente les doses optimisées de NaOH qui sont respectivement 10mg/l ,20mg/l, 30mg/l

Tableau IV. 3. Résultats d'analyses de 3em essai.

Paramètres	Unité	E.AV.T	E.AP.T <sub>(NaOH10mg)</sub>	E.AP.T <sub>(NaOH20mg)</sub>	E.AP.T <sub>(NaOH30mg)</sub>	NA
T	°C	23,3	22	22	22	25
CE	µS/cm	2130	2100	2030	2070	2800
pH	-	7,21	7,2	7,2	7,3	6,5-9
Sal	-	1	1	0,8	1	-
TDS	mg/l	1132	1140	1100	1122	-
Turb	NTU	0,327	0,4	0,8	0,54	5
Ca <sup>2+</sup>	mg/l	148,3	120	85,176	104	200
Mg <sup>2+</sup>	mg/l	54,038	48	45,17	40	150
TH	mg/l	615	450	400	420	500
TAc	mg/l	132,62	170	120	180	500
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	132,62	170	120	180	500
Cl	mg/l	343,41	360	360,71	446	500
Fe	mg/l	0	0	0	0	0,3
P	mg/l	0	0	0	0	5
No	mg/l	0	0	0	0	0,2
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	mg/l	0,011	0,09	0,03	0,08	0,5
So <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	mg/l	500,8	513,9	529,1	525,1	400
Na <sup>+</sup>	mg/l	204,17	205,555	225,777	211,111	200
k <sup>+</sup>	mg/l	11	11	11	5	12
RS	mg/l	1627	992	1330	1680	1500

### ➤ Conductivité électrique CE :

Les résultats d'analyses avant et après les traitements effectués sont représentés sur la figure (11). L'histogramme montre les variations de la Conductivité électrique résultant des trois doses de traitement d'eaux par rapport aux normes Algériennes comme suit :

Dans le graphe :

- E. AV. T : Echantillon Analyses Avant Traitement ;
- E. AP. T : Echantillon Analyse Apres Traitement ;

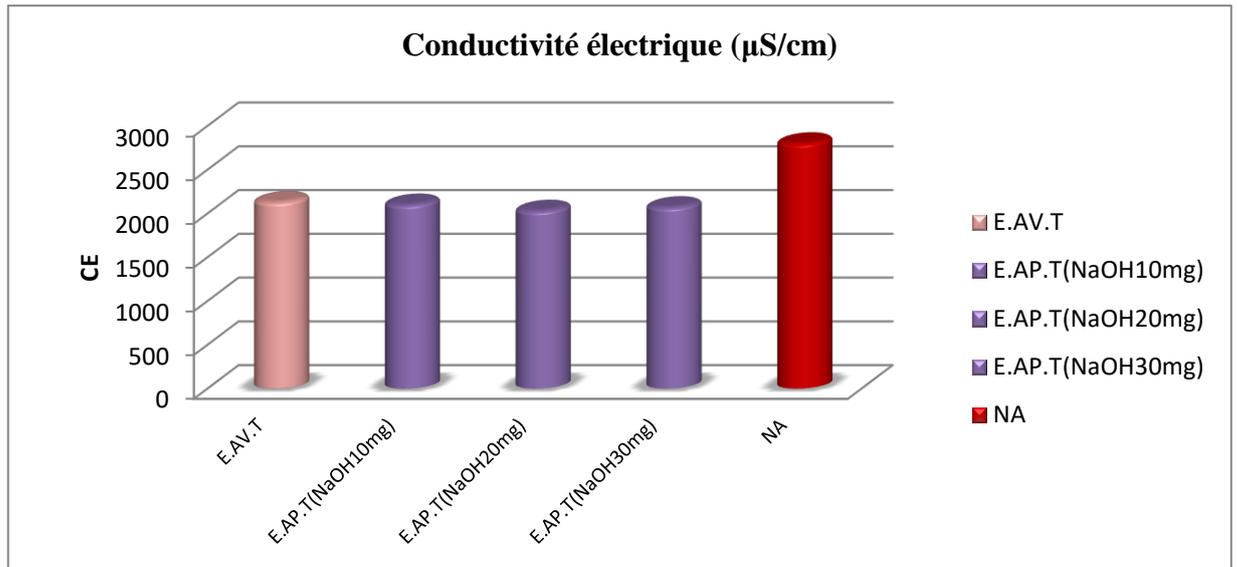


Figure IV. 11.Variation de conductivité électrique de trois doses traitées.

Les résultats obtenus montrent la réduction de Conductivité électrique CE, de (2130 µS/cm) avant traitement aux valeurs représentées dans le tableau suivant. :

Tableau IV. 4. Tableau des résultats de traitement de Conductivité électrique CE

Dose	CE	Taux de rabattement
10mg/l	2100µS/cm	30µS/cm
20mg/l	2030µS/cm	130µS/cm
30mg/l	2070µS/cm	70µS/cm

On peut dire que le traitement du CE par les trois doses a donné des résultats admissibles comparé à la norme algérienne (2800µS/cm), la meilleure dose est de (20mg/l).

➤ **Potentiel d’Hydrogène pH**

Les résultats d’analyses sont représentés sur la figure(12). L’histogramme montre les variations du pH résultant des trois doses de traitement d’eaux par rapport aux normes Algériennes :

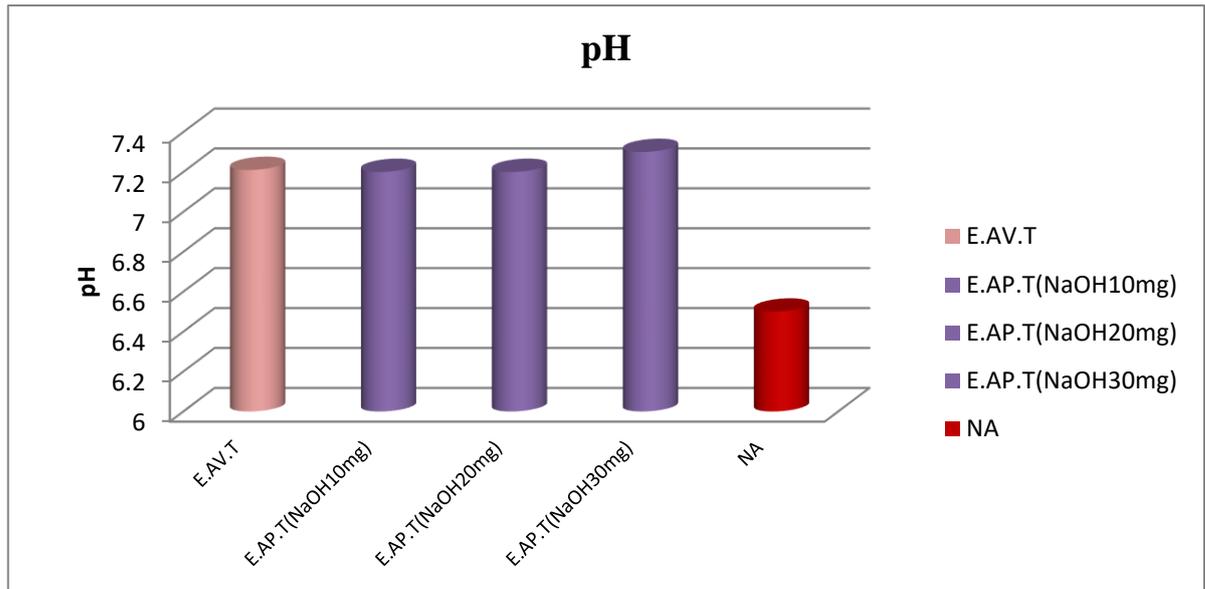


Figure IV. 12. Variation de pH de trois doses traitées.

Les résultats obtenus montrent une légère variation du pH, de (7.21) avant traitement aux valeurs suivantes.

Tableau IV. 5. Tableau des résultats de traitement de Potentiel d'Hydrogène pH

Dose	pH	Taux de rabattement
10mg/l	7.20	0.01
20mg/l	7.20	0.01
30mg/l	7.30	0.10

On peut dire que le traitement du pH des trois doses a donné des résultats admissibles comparés à la norme algérienne (6.5-9), la meilleure dose est de (10mg/l) et (20mg/L).

#### ➤ Calcium $Ca^{2+}$ :

Les résultats d'analyse effectués sont représentés sur la figure (13). L'histogramme montre les variations de la  $Ca^{2+}$  résultant des trois doses de traitement d'eaux par rapport aux

normes Algériennes comme suit :

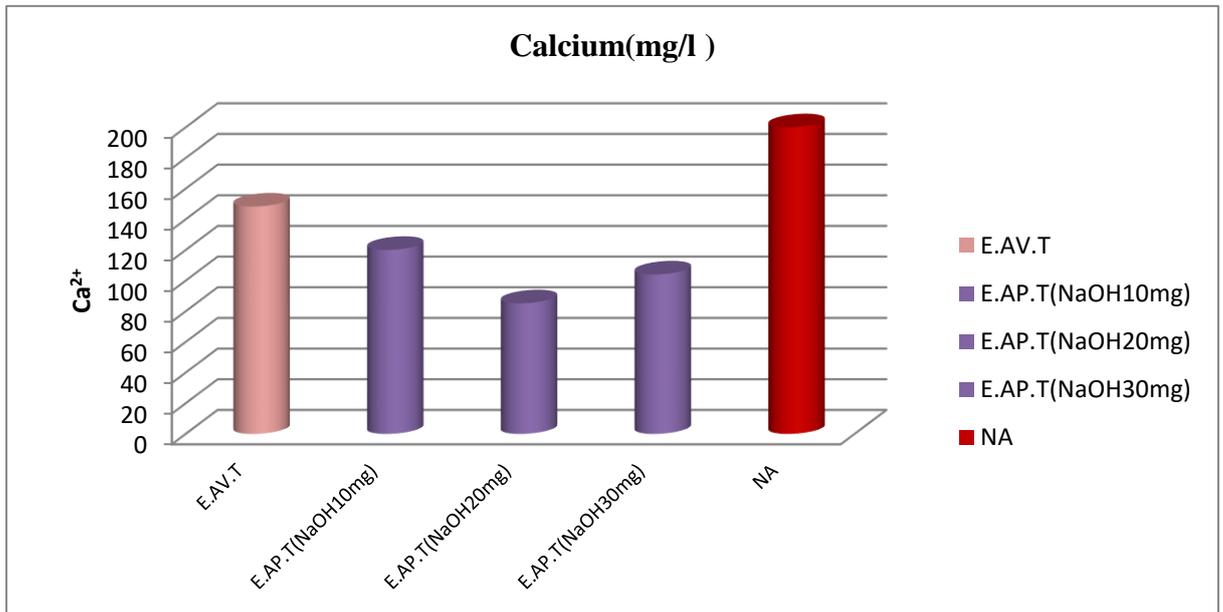


Figure IV. 13.Variation de calcium de trois doses traitées

Les résultats obtenus montrent la diminution des teneurs de calcium (148.3mg/l).

Tableau IV. 6. Tableau des résultats de traitement de Calcium Ca<sup>2+</sup>

Dose	Ca <sup>2+</sup>	Taux de rabattement
10mg/l	120mg/l	28.3mg/l
20mg/l	85.176mg/l	63.124mg/l
30mg/l	104mg/l	44.3mg/l

On peut dire que le traitement du Ca<sup>2+</sup> des trois doses a donné des résultats admissibles comparé à la norme algérienne (200mg/l), la meilleure dose est de (20mg/l).

#### ➤ Magnésium Mg<sup>2+</sup> :

Les résultats d'analyses avant et après les traitements effectués sont représentés sur la figure (14). L'histogramme montre les variations de la Mg<sup>2+</sup> résultant des trois doses de traitement d'eaux par rapport aux normes Algériennes comme suit :

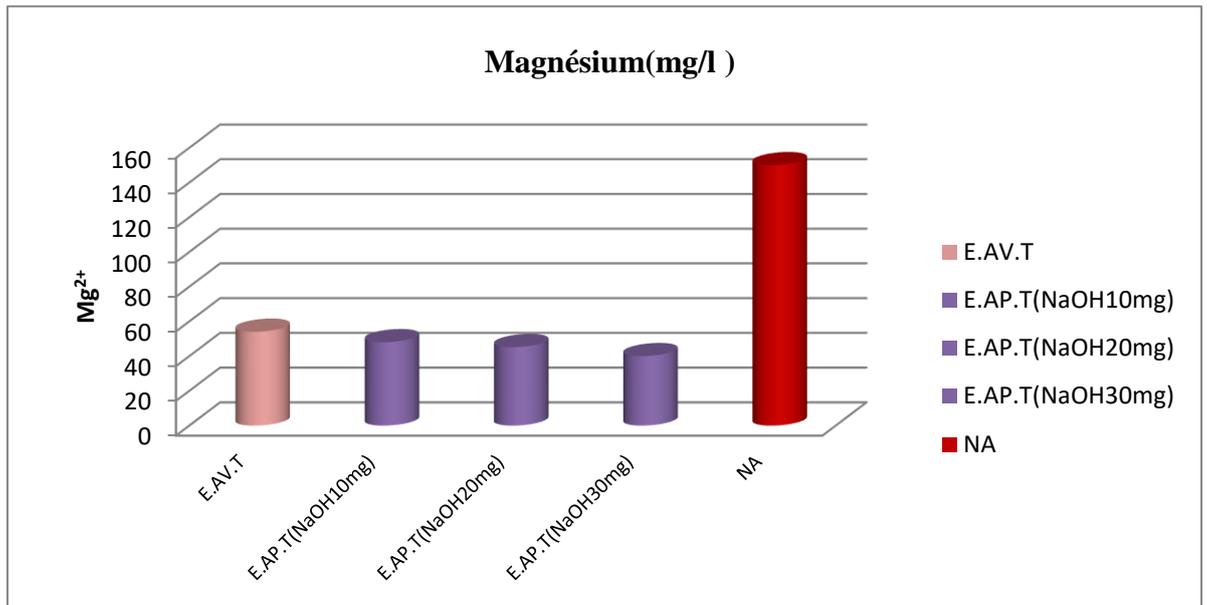


Figure IV. 14. Variation de magnésium de trois doses traitées.

Les résultats obtenus montrent la diminution de magnésium, de (54.083mg/l) avant traitement aux valeurs représentées dans le tableau :

Tableau IV. 7. Tableau des résultats de traitement de Magnésium Mg<sup>2+</sup>

Dose	Mg <sup>2+</sup>	Taux de rabattement
10mg/l	48mg/l	6.083mg/l
20mg/l	45.17mg/l	8.913mg/l
30mg/l	40mg/l	14.083mg/l

On peut dire que le traitement du Mg<sup>2+</sup> des trois doses a donné des résultats admissibles s comparés à la norme algérienne (150 mg/l), la meilleure dose est de (30mg/l).

#### ➤ Titre hydrotimétrique TH :

Les résultats d'analyses effectués sont représentés sur la figure (15). L'histogramme montre les variations de la TH résultant des trois doses de traitement d'eaux par rapport aux normes Algériennes comme suit :

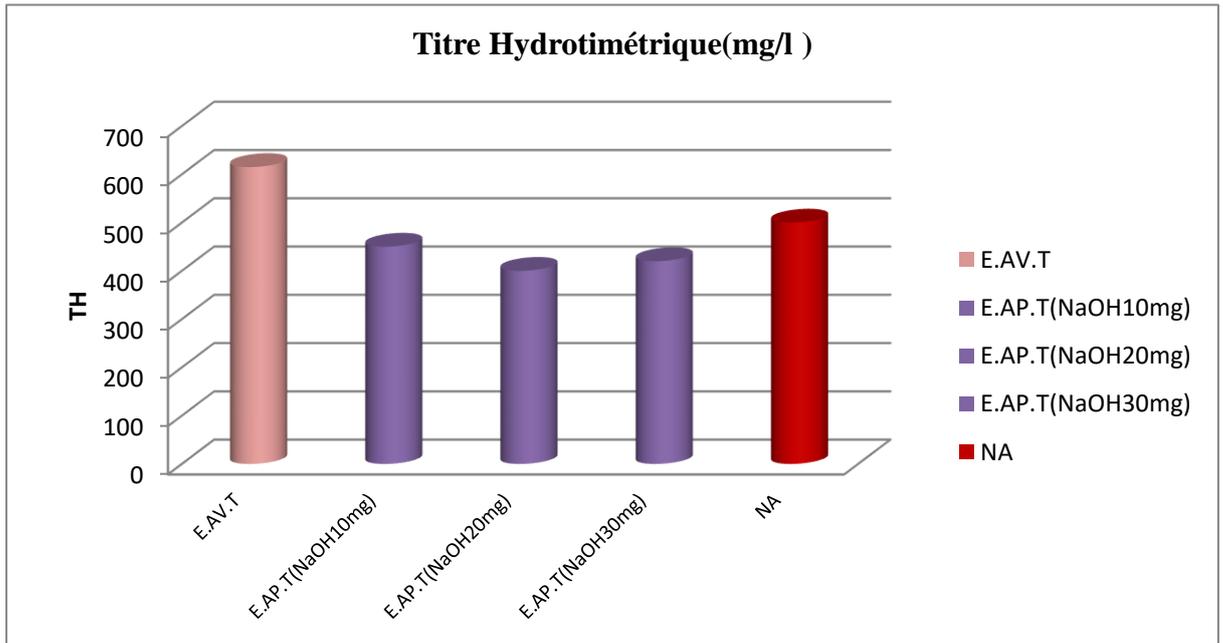


Figure IV. 15.Variation de titre hydrotimétrique de trois doses traitées.

Les résultats obtenus montrent la diminution des teneurs titre hydrotimétrique, de (615mg/l), avant traitement aux valeurs suivantes :

Tableau IV. 8. Tableau des résultats de traitement de Titre hydrotimétrique TH

Dose	TH	Taux de rabattement
10mg/l	450mg/l	200mg/l
20mg/l	400mg/l	250mg/l
30mg/l	420mg/l	230mg/l

On peut dire que le traitement du TH des trois doses a donné des résultats admissibles comparés à la norme algérienne (500 mg/l). Par ailleurs, on peut dire que la meilleure dose est (20mg/l).

➤ **Titre Alcalimétrique Complète TAc:**

Les résultats d'analyses avant et après le traitement réaliser sont représentés sur la figure (16). L'histogramme montre les variations de la TAc résultant des trois doses de traitement d'eaux par rapport aux normes Algériennes comme suit :

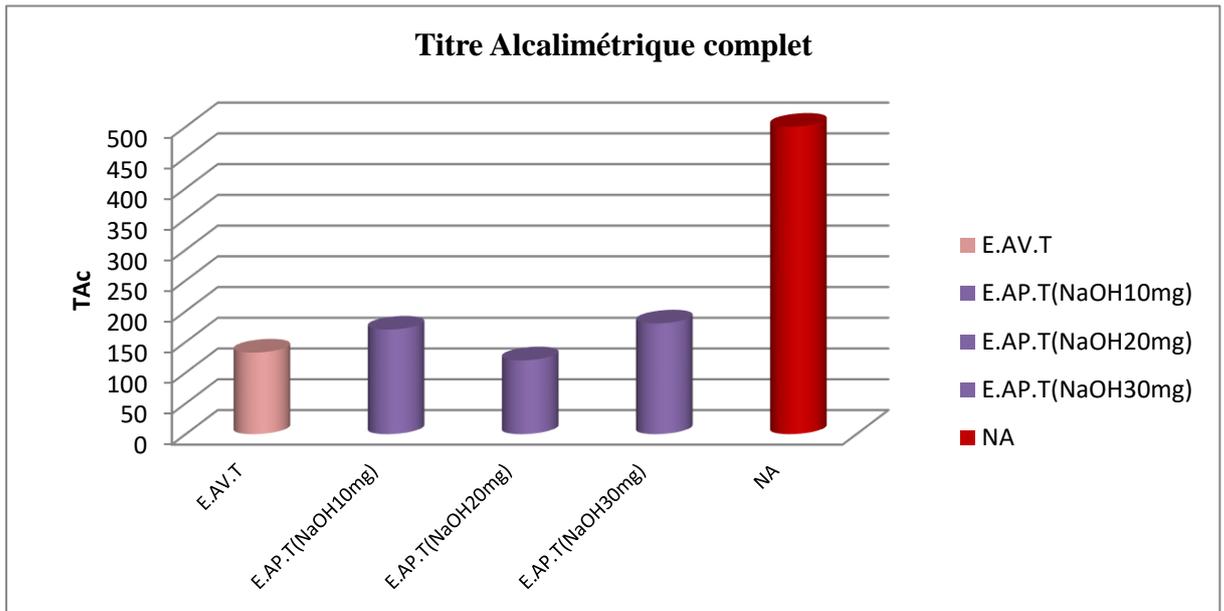


Figure IV. 16. Variation de titre alcalimétrique complète de trois doses traitées

Les résultats obtenus montrent une faible augmentation des teneurs de titre alcalimétrique complète, de (132.62mg/l), avant traitement à des valeurs :

Tableau IV. 9. Tableau des résultats de traitement de Titre Alcalimétrique Complète TAc

Dose	TAc	Taux de rabattement
10mg/l	170mg/l	37.38mg/l Augmentation
20mg/l	120mg/l	12.62mg/l Augmentation
30mg/l	180mg/l	47.38mg/l

On peut dire que le traitement du TAc des trois doses a donné des résultats admissibles comparé l'algérienne (500mg/l). Par ailleurs, on peut dire que la meilleure dose de (30mg/l).

#### ➤ Chlorures Cl<sup>-</sup> :

Les résultats d'analyses des chlorures après traitement effectués sont représentés sur la figure (17)

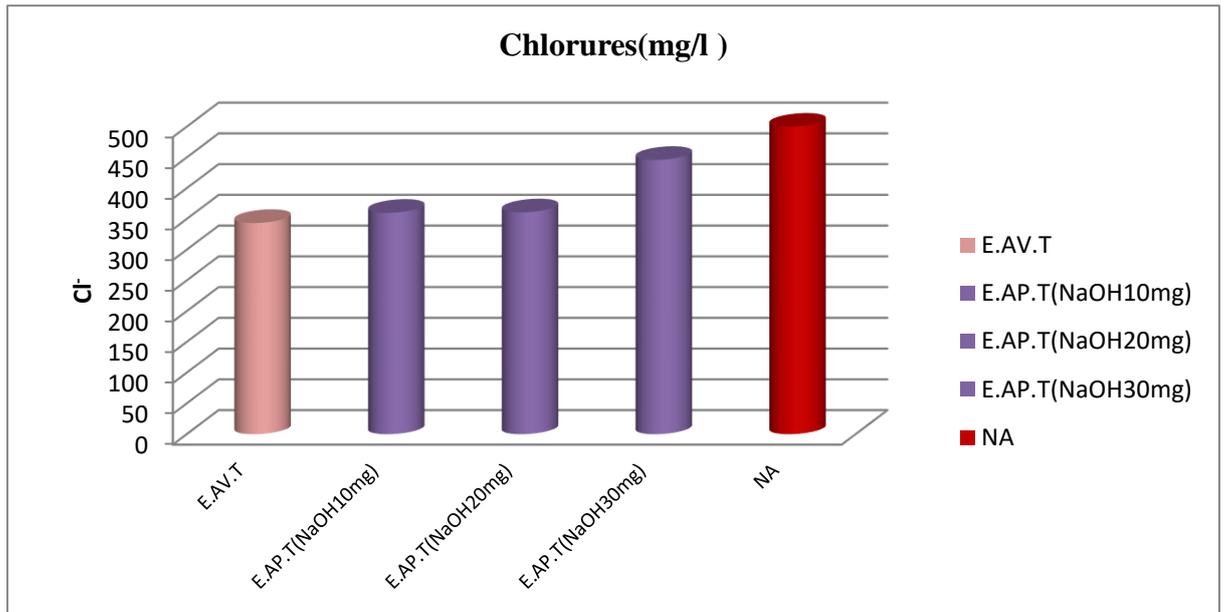


Figure IV. 17.Variation de chlorures de trois doses traitées.

Les résultats obtenus montrent la légère augmentation des teneurs chlorures, de(343.41mg/l), avant traitement à des valeurs respectivement après traitement.

Tableau IV. 10. Tableau des résultats de traitement de Titre Alcalimétrique Complète TAc

Dose	Cl <sup>-</sup>	Taux de rabatement
10mg/l	360mg/l	16.59mg/l Augmentation
20mg/l	360.71mg/l	17.30mg/l Augmentation
30mg/l	446mg/l	102.59mg/l Augmentation

On peut dire que le traitement du cl<sup>-</sup> des trois doses a impliqué une augmentation de taux des chlorures, malgré cela les résultats sont admissibles comparés à la norme algérienne (500mg/l).Par ailleurs, on peut dire que la meilleure dose de (10mg/l).

➤ **Sulfate SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> :**

Les résultats d'analyses avant et après les traitements effectués sont représentés sur la figure (18). L'histogramme montre les variations de la SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> résultant des trois doses de traitement d'eaux par rapport aux normes Algériennes comme suit :

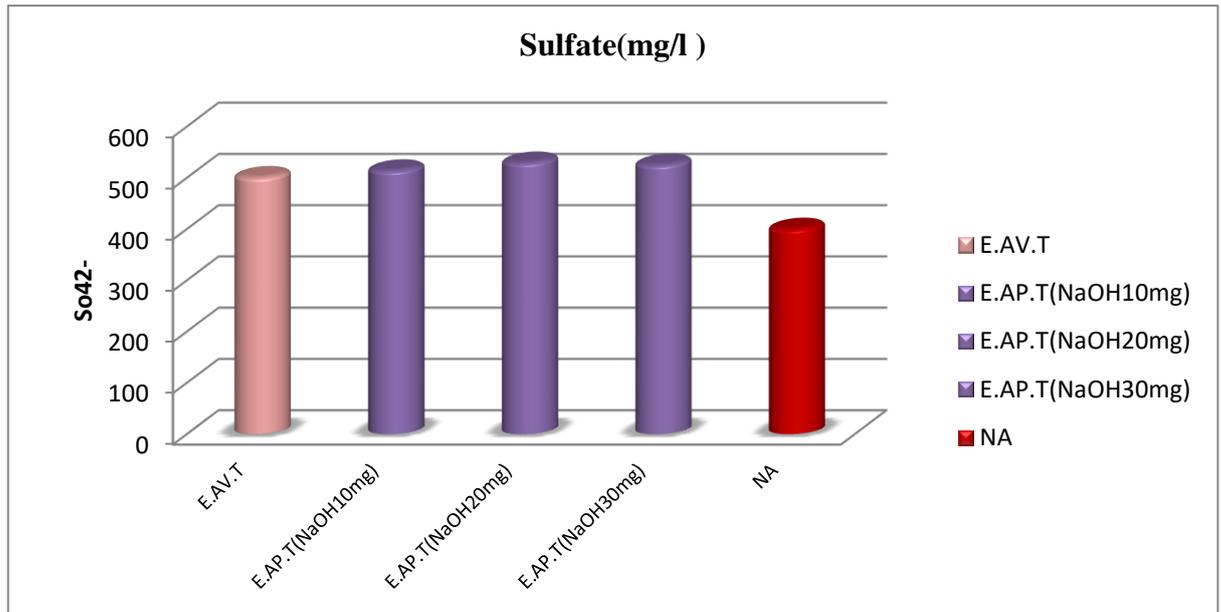


Figure IV. 18. Variation de sulfate de trois doses traitées.

Les résultats obtenus montrent une légère augmentation des teneurs chlorures, de (500.8mg/l), avant traitement à des valeurs respectivement après traitement.

Tableau IV. 11. Tableau des résultats de traitement de Sulfate  $SO_4^{2-}$

Dose	$SO_4^{2-}$	Taux de rabattement
10mg/l	513.9mg/l	13mg/l Augmentation
20mg/l	529.1mg/l	28.3mg/l Augmentation
30mg/l	525.1mg/l	24.3mg/l Augmentation

On peut dire que le traitement des trois doses a donné des résultats admissibles pour  $SO_4^{2-}$  comparé à la norme algérienne (400 mg/l). Par ailleurs, on peut dire que la meilleure dose est (10mg/l).

➤ **Sodium  $Na^+$  :**

Les résultats d'analyses effectués sont représentés sur la figure (19). L'historgramme montre les variations de la  $Na^+$  résultant des trois doses de traitement d'eaux par rapport aux normes Algériennes comme suit :

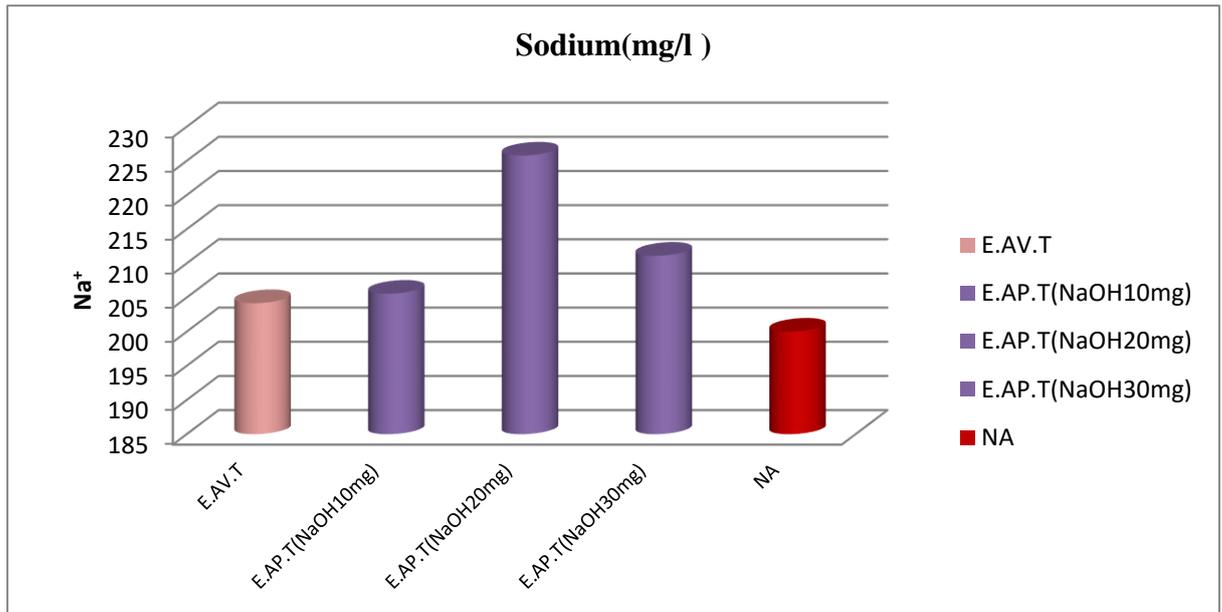


Figure IV. 19. Variation de sodium de trois doses traitées.

Les résultats obtenus montrent la légère augmentation des teneurs en sodium, de (204.17mg/l) avant traitement aux valeurs suivantes :

Tableau IV. 12. Tableau des résultats de traitement de **Sodium Na<sup>+</sup>**

Dose	Na <sup>+</sup>	Taux de rabattement
10mg/l	205.555mg/l	1.39mg/l Augmentation
20mg/l	225.777mg/l	21.627mg/l Augmentation
30mg/l	211.111mg/l	6.94mg/l Augmentation

Les résultats de traitement des trois doses ont attribué à des concentrations admissibles comparées à la norme algérienne (200 mg/l). Malgré l'augmentation dans la dose de 20mg/l) Par ailleurs, on peut dire que la meilleure dose est (10mg/l).

#### ➤ Potassium K<sup>+</sup> :

La variation de potassium dans l'échantillon traité est représentée sur la figure (20) :

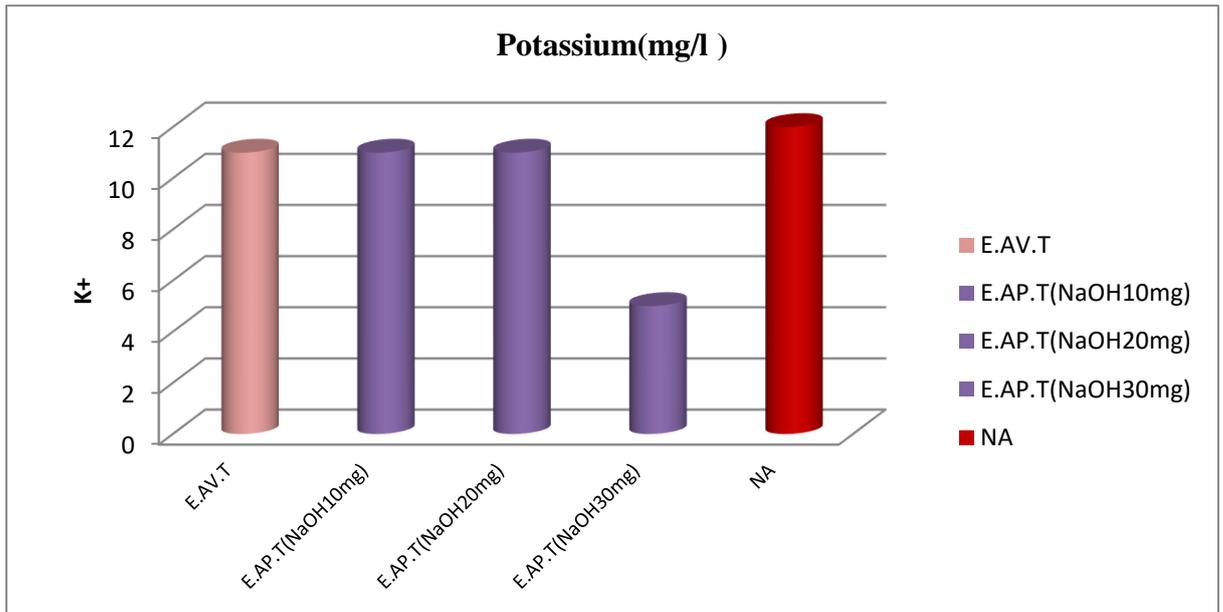


Figure IV. 20. Variation de potassium de trois doses traitées

Les résultats obtenus montrent une légère oscillation des teneurs de potassium, de (11mg/l), avant traitement à des valeurs respectives.

Tableau IV. 13. Tableau des résultats de traitement de Potassium  $K^+$ 

Dose	$K^+$	Taux de rabattement
10mg/l	11mg/l	0mg/l
20mg/l	11mg/l	0mg/l
30mg/l	5mg/l	6mg/l

La variation de potassium  $K^+$  dans les trois doses est acceptable. Comparer à la norme algérienne (12mg/l) cette valeur est très satisfaisante.

➤ **Résidus sec RS :**

Les analyses avant et après le traitement effectué sont représentées sur la figure (21). L'histogramme montre les variations de la RS résultant des trois doses de traitement d'eaux par rapport aux normes Algériennes comme suit :

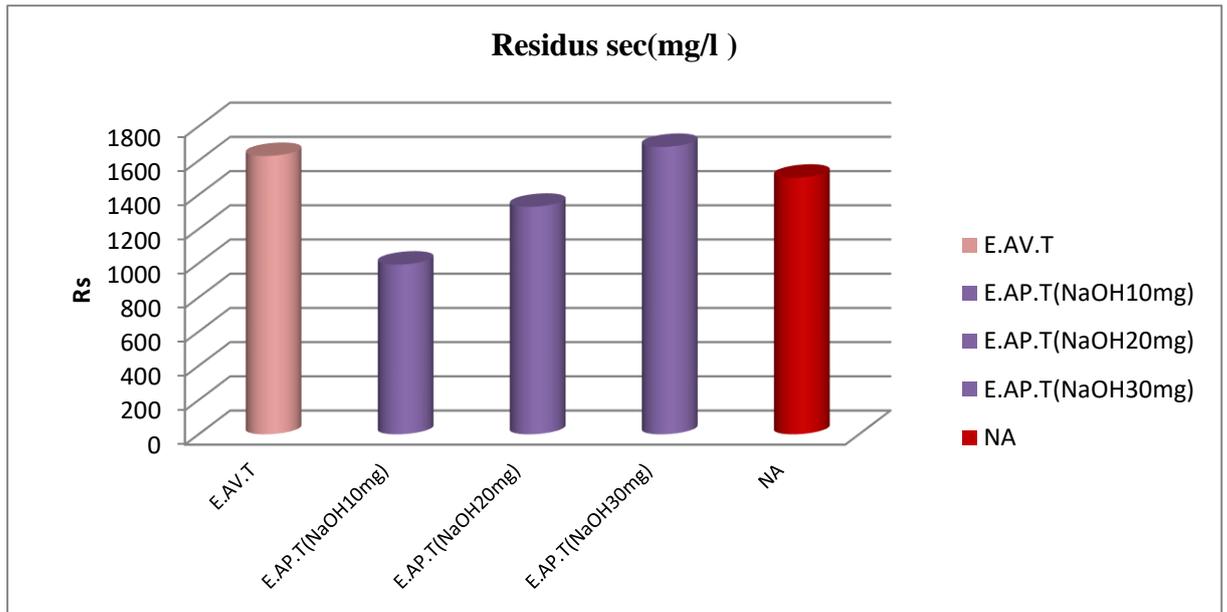


Figure IV. 21.Variation de résidu sec de trois doses traitées

Les résultats obtenus montrent l'augmentation des teneurs résidu sec, de (1627 mg/l), avant traitement aux valeurs suivantes.

Tableau IV. 14.tableau des résultats de traitement de Résidus sec RS

Dose	RS	Taux de rabattement
10mg	992mg/l	635mg/l Augmentation
20mg	1330mg/l	297mg/l Augmentation
30mg	1680mg/l	53mg/l Augmentation

On peut dire que le traitement du RS des trois doses a donné des résultats admissibles comparé à la norme algérienne (1500mg/l). Par ailleurs, on peut dire que la meilleure dose de (10mg/l).

➤ **Phosphore P, nitrite NO<sub>2</sub>, fer Fe:**

Les résultats obtenus montrent que les concentrations de phosphore et nitrite et fer étaient nulles, ces résultats d'analyses avant le traitement et après.

➤ **Ammonium NH<sub>4</sub><sup>+</sup> :**

Les résultats obtenus montrent une légère augmentation des teneurs d'ammonium, de (0.011mg/l), avant traitement à des valeurs respectivement après traitement.

<b>Dose</b>	<b>NH<sub>4</sub><sup>+</sup></b>	<b>Taux de rabattement</b>
10mg/l	0.09mg/l	0.08mg/l
20mg/l	0.03mg/l	0.019mg/l
30mg/l	0.08mg/l	0.069mg/l

On peut dire que le traitement du NH<sub>4</sub><sup>+</sup> des trois doses a donné des résultats admissibles comparé à la norme algérienne (0.5mg/l). Par ailleurs, on peut dire que la meilleure dose est (20mg/l).

## **Conclusion**

A la lumière des résultats obtenus cités dans des tableaux ci-dessus du rapport entre la dureté totale de l'eau de robinet avec l'hydroxyde de sodium (on observe un abaissement de TH de l'eau) .

Quand on regarde les rapports entre les trois doses, les résultats de dureté sont légèrement convergents.

Par conséquent, les faibles doses contribuent directement au traitement et nous pouvons dire que ces résultats nous montrent l'efficacité de la méthode utilisée.

---

# **CONCLUSION GENERALE**

---

## **Conclusion générale**

La précipitation est l'une des techniques largement utilisée pour résoudre ce problème, l'eau dure est une eau chargée en ions calcium et magnésium, causer les problèmes majeurs l'entartrage des réseaux de distribution et une consommation excessive de savon.

Pour se débarrasser de ce dernier, on a étudié le processus de d'adoucissement par précipitation pour réduction de calcium et magnésium qui ont un effet direct sur la dureté de l'eau.

Notre travail qui s'est axé principalement sur l'adoucissement de l'eau par précipitation chimique (en utilise d'hydroxyde de sodium), nous a permis de relever la conclusion suivante :

- L'adoucissement par l'hydroxyde de sodium a des effets sur la conductivité et la concentration du calcium et magnésium et la dureté mais il résulte une léger augmente le taux de du sodium dans la norme admissible

---

**REFERENCES**  
**BIBLIOGRAPHIQUES**

---

---

## Références bibliographiques

- [1]. (Zahid Ajman ., Peter G. Koutsoubos, 2010). The science and technology of industrial water treatment : Mineral Scales and Deposits: An Overview, CRC Press, Taylor & Francis Group, Lubrizol Advanced Materials Inc. Brecksville, USA, Ohio
- [2]. (ANONYME.2007). Consensus Scientifique sur les ressources en eau produites par le programme mondial pour l'évaluation des ressources en eau. S .1 : (ONU-Eau WWAP) ,2007.
- [3]. (ASSOULINE S.,J.2007). Géopolitique de l'Eau : Nature et Enjeux. Edition Studyrama Perspectives, 2007.
- [4]. (DIALLO, 2010). Évolution des paramètres physico-chimiques et bactériologiques des eaux de puits en fonction du traitement à l'hypochlorite de sodium. Thèse de médecine, Université du Mali (F. M.P.O.S.), p17.
- [5]. (DEGREMONT. 2005). Mémento technique de l'eau. Tome 1, 10 , 2<sup>ème</sup> édition . s.l. : tec et doc , 2005, p :3-38.
- [6]. (Manceur., Djambala.2016). Analyse microbiologique de l'eau distribuée, Mémoire de Master 2 en Microbiologie Appliquée, Université Labri, Tébessa.
- [7]. (CARDOT.1999). Les traitements de l'eau : procédés physico-chimiques et biologiques, cours et problèmes résolus : génie de l'environnement. Edition Elipses, p71.
- [8]. (ANCTIL. 2008). L'eau et ses enjeux. Editions de Boeck université. 2008.
- [9]. (METAHRI. 2002). Caractérisations de l'état de pollution et modélisation du pouvoir auto épurateur du Sebaou par la méthode du bilan d'oxygène et évaluation de la pollution par les nitrates. Thèse du magister. Université Mouloud Mammeri treize-Ouzo.
- [10]. (KETTAB. 2001). Les ressources en eau en Algérie: stratégie, enjeux et vision.
- [11]. ( Oudjehane R, L. Boutekdjiret, Y. Laïd, K. Ba chiri, Z. Cherfi. 2008). Rapport sur la surveillance de la qualité de l'eau potable en Algérie. Algérie : Institut National de Santé Publique, 2008.
- [12]. (KHADRAOUI A., S .TALEB. 2008). Qualité des eaux dans le sud algérien (potabilité pollution et impact sur le milieu) ,2008 .
- [13]. (OMS. 2003). 2003.
- [14]. (JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE, 2006). JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE.

- 
- [15]. **(Baouia K. 2018)**. Traitement des eaux Mémoire de master en génie civil et hydraulique, Université Kasdi Merbah, Ouargla.
- [16]. **(Paul L. 2010)**. Méthodes d'analyse et d'appréciation des cours d'eau. Analyses physico-chimiques, nutriments. L'environnement pratique n°1005. Office fédéral de l'environnement. Berne 2010. 44.
- [17]. **(Jean L., Gérard M., Denis M., Laurent A.2005)**. Mémento technique de l'eau .2édition Tome 1 Dégrèvement suez. ISBN 2-7430-0717-6.
- [18]. **(BOEGLIN Jean-claude)**. Propriétés des eaux naturelles. Technique de l'ingénieur, traité environnement, G1 . p110.
- [19]. **(DAJOZ. 1982)**. Précis d'écologie. Gauthier Villars : 4ème édition, 1982. p525.
- [20]. **(Jestin .E)**. La production et le traitement des eaux destinées à l'alimentation et à la préparation de denrées alimentaires, Agence de l'eau de Seine-Normandie, France.
- [21] **(Monique, Henry .1991)** .Les eaux naturelles et les eaux de consommation Saint Laurent 1991.
- [22]. **(Jean Juc Celleric .2002)**.
- [23]. **(Rodier Jr. 2009)**. . L'analyse de l'eau : 9e édition. DUNOD (éditeur),. paris france : s.n., 2009. 1579. 1135.
- [24]. **(Chapman D., Kimstach .V. 1996)**. Selection of water quality variables. Water quality assessments: a guide to the use of biota, sediments and water in environment monitoring, Chapman edition, 2nd ed. E & FN Spon, London, 1996, p :59-126.
- [25]. **(HCEFLCD. 2006)**. Etude sur la pisciculture au barrage Almassira, CR.2006, dar CHAFAAI, Cercle d'ELBROUGE, Province de Settat, p 201.
- [26]. **(HAMEL L .2013)**. Etude physico-chimique et bactériologique de l'eau de la source « SidiBouyashak» destinée à la consommation humaine de la population de Tlemcen. Mémoire de Master en Sciences des aliments, Université ABOUBEKR Belkaid TLEMEN. (2013), p12.
- [27]. **(HIMI N., FEKHAOUI M., FOUTLANE A., BOURCHIC H., ELMMAROUFY M., BENAZZOUT T., HASNAOUI M. 2003)**.Relazion e plankton-parametri fisicichim ici in un bacinodimaturazione (lagunamista Béni Slimane – Morocco. Rivesta Di Idrobiologia. Université adeglistudi di perugia, Dipartimento di Biologia Animale edEcologia laboratorio Di Idrobiologia “G.B. Grassi”, 110–111p.
- [28]. **(KIRDA.,C. 1997)**. .Assessment of irrigation water quality, 1997.

- 
- [29.] (MOHAMEDOU E. 2006). Evaluation de la qualité physicochimique et métallique des eaux du fleuve Sécas du Delta Mauritanien localisé dans la ville de Rosso. Mémoire DESA Faculté des Sciences,. maroc : Université Ibn Tofail Maroc, 2016.
- [30]. (ALPHASIDIKI.M.2005).Qualité Organoleptique de l'eau de consommation produite .évaluation saisonnière. Thèse d'ACHOUR.S, GUERGAZIS, 2002-Incidence de la minéralisation des eaux algériennes sur la réactivité de composés organiques vis-à-vis du chlore, Rev. SCI. Eau, 15,3, p : 649-668.
- [31]. (CEAEQ. 2016).Centre d'Expertise En Analyse Environnementale Du Québec « Détermination de la turbidité dans l'eau : méthode néphélométrique ». MA. 103 – Tur. 1.0, Rév. 5, Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, p 11.
- [32]. (RODIER, J. 1980).L'analyse d'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer, France, p : 925-953.
- [33]. (DEGREMONT. 1989). Mémento technique de l'eau. s.l. : 8<sup>ème</sup> Edition, 1989.
- [34]. (Boulalib .2015). Thèse de Doctorat en Science sen Chimie Analytique Parme Boula lib, Traitement des eaux.
- [35]. (Eperdons, Bremond. 1979). Paramètres de la qualité des eaux. paris : Ministère de l'environnement Paris. 259.
- [36]. (Ould Kankou. 2004). Vulnérabilité des eaux et des sols de la rive droite du fleuve Sénégal en Mauritanie. Thèse de Doctorat, l'université de limoges, option Chimie et Microbiologie de l'Eau. france
- [37.] (Mijinbouw., Matthes G., Geol. 1994). In pollution in the Aquati environnement.
- [38]. (Vuichard., Bremond R . 1973). Paramètres de la qualité des eaux, Ministère de la protection de la nature et del'environnement,. PARIS : SPEPE, 1973. 179.
- [39]. (Bremond R.2005). Paramètres de la qualité des eaux, OSPEPE, Qualité physicochimique et Chimique des eaux de surface. Institut Bruxellois pour la gestion de l'environ, Paris.
- [40]. (Samak H. 2002). Analyse physico-chimique et bactériologique au L.N.S des eaux de consommation de la ville de Bamako durant la période 2000 et 2001, p 77.
- [41]. (Bengounmi M. 2004). Qualité de l'eau en aviculture .Revue trimestrielle d'information scientifique et technique – Volume 3 – N°1, Maroc, p : 5-25.
- [42]. (Nardi., F. 2009). Excès de Phosphore et de Matières organiques naturelles dans les eaux de retenues : diagnostic et remèdes. Thèse de doctorat. s.l. : Université d'Angers, 2009.
-

- 
- [43]. (Deliste C.E .1977). The effects of sulphur on water and aquatic life in Canada. Dans : Sulphur and its inorganic derivatives in the Canadian environment, NRCC No. 15015, comité associé sur les critères scientifique concernant l'état de l'environnement, Conseil national de recherches du Canada, Ottawa (1977).
- [44]. (Chimique .1991). L'Actualité Chimique, septembre-octobre 1991.
- [45]. (RODIER J. 1984). L'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer, 7<sup>ème</sup> édition, 1984.
- [46]. (MOUCHET .2000). Traitement des eaux avant utilisation. Filières et applications G 1172, s.l. Traité Environnement, volume G1.
- [47]. (EBEDEAU C. 1964). Le livre de l'eau. Volume I, s.l. : 2<sup>nd</sup> edition, 1964. P :337-348.
- [48]. (Letterman, R.D. 1999). Water Quality and Treatment: A Handbook of Community Water Supplies. . New York : McGraw-Hill.
- [49]. (Agostinho, L.C.L., Nascimento, L. et Cavalcanti, B.F. 2012). Water hardness removal for industrial use: Application of the electrolysis process. Open Access Sci. Rep., 2012, 1, 460–465.
- [50]. (Rodier J. 1975). .L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer. Coll. 1975.
- [51]. (Beaudry, T., Henry, T., M.1984). Chimie des eaux, Les griffons d'arômes, 1<sup>ère</sup>, édition, 1984. INC Canada. p537.
- [52]. (Sawyer, C.N. et McCarty, P.L. 1967). Chemistry for sanitary engineers. 2e édition. McGraw-Hill Series in Sanitary Science and Water Resources Engineering, McGraw-Hill, Toronto (1967). Toronto : McGraw-Hill, 1967.
- [53]. (Cameron.McDonald. 2019). Water Articles. water filtration, water, . s.l. : filtration June 06, 2019.
- [54]. (GREFFART, L. MONITION ,1969). LES DONNÉES DE L'ANALYSE DES EAUX par J. GREFFART et L. MONITION Septembre 1969.
- [55]. (BEN MAAMAR. 2003). L'adoucissement et la déminéralisation: développement théorique et diagnostic technique. ENIP, Skikda. Recueil des communications des journées techniques et scientifiques sur la qualité des eaux du sud. sud, 2003, p 269.
- [56]. (TOUIL. 2003). Qualité des eaux d'alimentation de la ville d'Ouargla et procédés de traitement. Recueil des communications des journées techniques et scientifiques sur la qualité des eaux du sud. 2003, p 73.
- [57]. (Lewis Alan, Scott. 1996). Safe Drinking Water. San Francisco : , CA: Scott Alan Lewis.
-

- 
- [58]. (Crawford M. 1967). Prevalence and pathological changes of ischaemic heart-disease in a hard-water and in a soft-water area. The Lancet 289(7484), p :229-232.
- [59]. (DJIDEL.M. 2009). Pollution minérale et organique des eaux de la nappe superficielle de la cuvette D'Ouargla (Sahara septentrional, Algérie). Thèse de Doctorat, Université Badri Mohatra, Annaba.
- [60]. (BELKCEMI M., BENSEDDOUK. K, NEZZAL. G. 2003). Traitement par osmose inverse d'une eau de forage, Beb Azzouer Algérie. Recueil des communications des journées techniques et scientifiques sur la qualité des eaux du sud : s.n, 2003.p 4.
- [61]. (ANTOLY. 2003). Les méthodes employées pour l'adoucissement la décarbonatation et le dessalement des eaux. Recueil des communications des journées techniques et scientifiques sur la qualité des eaux du sud. sud : s.n., 2003. p102.
- [62]. (BRODSKY. A., ZDENEK. V.1971). Possibilité décarbonatations des eaux à la chaux la technique de l'eau et l'assainissement, 3.33-40.
- [63]. (Lawrence. 2015). Physicochemical Treatment Processes Edited.
- [64]. (Associates., Ragsdale . 1997). Version III. New Mexico Water Systems Operator Certification Study Guide. Santa Fe. : NMED Surface Water Quality Bureau, 1997.
- [65]. (FNS.2013).Fondation Nationale de la Santé. Manuel pratique d'analyse de l'eau 4<sup>ème</sup> édition Brasilia. (2013), P : 57- 67