

N° d'ordre :

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

-----  
UNIVERSITE MOULOD MAMMARI DE TIZI-OUZOU

FACULTE DES SCIENCES  
DEPARTEMENT DE CHIMIE



DOMAINE : SCIENCES DE LA MATIERE

FILIERE: CHIMIE

## MEMOIRE DE MASTER

SPECIALITE: CHIMIE DE L'ENVIRONNEMENT

### *THEME*

**Analyses physico-chimiques et microbiologiques des  
eaux d'une station de dessalement de l'eau de mer**

Présenté par: **Melle Lammari Sarah**  
**Melle Immoune Tinhinane**

Soutenu publiquement le 13 /07/2022, devant le jury d'examen composé de:

Mr SAHMOUNE Amar	Professeur	U.M.M.T.O	Président
Mme KLALECHE/MITICHE Lynda	MCA	U.M.M.T.O	Rapporteur
Mr KADOUCHE Slimane	MCA	U.M.M.T.O	Examineur

# Remerciements

*Ce travail a été réalisé au laboratoire de Physique et Chimie des Matériaux L.P.C.M du département de chimie de la faculté des Sciences de l'Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.*

*Avant tout, on remercie le bon **DIEU** de nous avoir accordé la volonté et le courage pour achever nos études et réaliser ce modeste travail.*

*Nous tenons à exprimer notre reconnaissance à Mme **KLALECHE / MITICHE LYNDA**, Maître de Conférences Classe A à l'Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, pour avoir dirigé ce mémoire, pour son suivi permanent, ses conseils judicieux et le soutien constant qu'elle nous a prodigué au cours de l'élaboration de ce travail.*

*Nous exprimons notre profonde gratitude à Mr. **SAHMOUNE AMAR**, Professeur à l'Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, pour toute sa gentillesse ainsi que pour ses conseils. On le remercie également d'avoir accepté de présider le jury de soutenance.*

*Nos vifs remerciements vont également à Mr **KADOUCHE SLIMANE** Maître de Conférences Classe A à l'Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou pour l'honneur qu'il nous a fait en acceptant d'examiner ce travail.*

*Nous remercierons de plus tout le personnel de la station de dessalement de la ville de Tigzirt pour leurs précieuses aides en particulier Mme **GRARADJI** et Mr **KADI** le responsable de la station.*

*Nos remerciements vont également à Mme **CHIKHI** et tous les membres de la station de nous avoir accueilli et autorisé à effectuer nos analyses au sein de leur laboratoire contrôle de qualité et procès de la station de Taksebt à OUED AISSI.*

*Enfin, on remercie nos familles et nos proches pour leur soutien et pour leurs encouragements permanents.*

## *Dédicace*

*Tous les mots ne sauraient exprimer la gratitude, l'amour, le respect et la reconnaissance, tout simplement je dédie ce mémoire.*

### *À Mes très chers grands-parents maternels*

*Tout mon respect et affection en témoignage de votre soutien, sacrifices, patience, ainsi que pour vos conseils et orientations dans ma vie, que le bon Dieu vous accorde bonne santé et longue vie.*

### *À Ma douce maman*

*Que ce modeste travail soit l'exaucement de tes vœux tant formulés, le fruit de tes innombrables sacrifices, bien que je ne t'en acquitterais jamais assez.*

### *À La mémoire de mon père*

*Qui a quitté ce monde très tôt. Ainsi à l'âme de ma grand- mère. Puisse Dieu, le tout puissant, les avoir en sa sainte miséricorde.*

### *À Ma très chère sœur*

*Cylia qui a toujours été à mes côtés pour me soutenir.*

*À mes tantes, mes oncles, mes cousins et mes cousines, à toute ma famille, ainsi que mes amies, particulièrement Kenza.*

### *À tous les enseignants*

*Qui ont collaboré à ma formation durant mon cycle d'études.*

*À toutes les personnes que j'aime.*

*Avec tous mes sentiments de reconnaissance et de Gratitude.*

*Thinhinane. I*

## *Dédicace*

*Je dédie ce modeste travail*

*À l'âme de mon grand-père tomber au champ d'honneur*

*À ma grand-mère que dieu la garde pour nous*

*À mes très chers parents, merci de m'avoir accompagné tout le  
long de ma vie,*

*Je leur dois une fière chandelle.*

*À mon frère Achour*

*À ma sœur Djoudjou*

*À mon mari qui m'a beaucoup soutenue*

*À la lumière de ma vie mon très cher fils Idir*

*À l'âme de mon beau père*

*À ma belle mère*

*À mes beaux-frères et à mes belles-sœurs*

*À mes grands-parents maternels ainsi que à mes tantes*

*et à mes oncles*

*À tous mes amis qui ont marqué leurs présences par réconfort*

*Indispensable*

*SARAH.L*

# Sommaire

## SOMMAIRE

<b>INTRODUCTION GÉNÉRALE.....</b>	<b>1</b>
-----------------------------------	----------

### Chapitre I: Etude bibliographique sur l'eau

I.1. Caractéristique et propriétés de l'eau .....	3
I.2. Répartition de l'eau sur planète terre.....	3
I.3. Eau brute dans l'environnement.....	4
I.3.1. Eaux de pluie.....	4
I.3.2. Eaux de surface.....	4
I.3.3 Eaux souterraines.....	4
I.3.4. Eaux de mer.....	5
I.4. Cycle de l'eau.....	5
I.5. Eau potable.....	6
I.5.1. Définition .....	6
I.5.2. Origine des eaux potables.....	6
I.6. Critères de potabilité de l'eau.....	6
I.6.1. Paramètres physico-chimiques.....	6
I.6.2. Paramètres organoleptiques.....	11
I.6.3. Paramètres microbiologiques.....	11
I.6.4. Paramètres liés aux substances indésirables.....	11
I.6.5. Paramètres liés à la pollution.....	12
I.6.6. Paramètres liés aux substances toxiques.....	13
I.7. Normes de potabilités de l'eau.....	13
I.8. Techniques du traitement de l'eau.....	14
I.9. Impact de qualité de l'eau sur la santé humaine.....	15
I.10. Pollution de la source en eau.....	15
I.11. Polluants de l'eau.....	16

### Chapitre II: Dessalement de l'eau de mer

II.1. Introduction.....	18
II.2. Principales technologies de dessalement d'eau.....	18
II.2.1. Procédés de distillation .....	18

II.2.2. Procédés à membranes.....	18
II.2.2.1. Electro dialyse.....	19
II.2.2.2. Osmose et osmose inverse.....	19
II.3. Dessalement de l'eau de mer dans le monde.....	20
II.4. Dessalement de l'eau de mer en Algérie.....	20
II.5. Impacts des rejets de dessalement .....	21
II.6. Saumure et ses conséquences sur l'environnement.....	22

### **Chapitre III: Matériels et méthodes**

III.1.Introduction.....	23
III.2. Situation géographique de la station de dessalement.....	23
III.3. Présentation de la station de dessalement de Tizirt.....	23
III.3.1. Pompes utilisées.....	25
III.3.2. Procédés de traitement appliqués dans la station.....	26
III.3.2.1. Captage d'eau de mer.....	26
III.3.2.2. Etape de décantation.....	27
III.3.2.3. Pompes d'apport.....	27
III.3.3. Prétraitements chimiques effectués à l'intérieur de la station.....	28
III.3.3.1. Injection de l'hypochlorite de sodium NaOCl.....	28
III.3.3.2. Injection de l'acide sulfurique H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .....	28
III.3.3.3. Filtration.....	29
III.3.3.4. Injection de métabisulfite de sodium Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>5</sub> .....	30
III.3.3.5. Etape de microfiltration.....	31
III.3.3.6. Pompage à haute pression des turbines de réception.....	31
III.3.3.7. Système de membrane de l'osmose inverse.....	31
III.3.3.8. Réservoir tampon et pompage de refoulement.....	32
III.3.3.9. Neutralisation de l'eau traitée.....	33
III.3.3.10. Chloration de l'eau traitée.....	33
III.3.3.11. Déchets rejetés.....	34
III.3.3.12. Différents coins de la station.....	35
III.4. Méthode d'analyse et caractérisation .....	36
III.4.1.Spectroscopie UV-Visible.....	36
III.4.2. Spectrophotométrie d'absorption atomique (SAA).....	37

**CHAPITRE IV: Résultats et discussions**

IV.1. Introduction.....	39
IV.2. Analyse organoleptiques.....	39
IV.2.1. Test de la couleur .....	39
IV.2.2. Test de l'odeur.....	39
IV.2.3. Test de la saveur.....	39
IV.2.4. Mesure de la turbidité.....	40
IV.3. Analyse physico-chimique.....	41
IV.3.1. Mesure du pH.....	41
IV.3.2. Mesure de la température.....	42
IV.3.3. Mesure de la conductivité.....	42
IV.3.4. Mesure de la salinité.....	42
IV.3.5. Mesure du chlore libre.....	42
IV.3.6. Mesure de la dureté totale.....	43
IV.3.7. Mesure de calcium $Ca^{2+}$ .....	43
IV.3.8. Mesure de Magnésium $Mg^{2+}$ .....	44
IV.3.9. Mesure de l'alcalinité totale.....	44
IV.3.10. Mesure des bicarbonates $HCO_3^-$ et des carbonates $CO_3^{2-}$ .....	45
IV.3.11. Mesure de la matière organique.....	46
IV.3.12. Mesure de l'oxygène dissous.....	46
IV.4. Analyse bactériologique.....	51
IV.4.1. Résultats des analyses bactériologiques de l'eau traitée.....	52
IV.4.2. Résultats des analyses bactériologiques de l'eau de mer et de la saumure.....	53
IV.5. Dosage des métaux traces.....	53
IV.6. Conclusion.....	56
<b>CONCLUSION GENERALE.....</b>	<b>57</b>
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES</b>	
<b>ANNEXES</b>	

# ANNEXES

## ANNEXE DES FIGURES

<b>Figure I.1</b> : La répartition de l'eau sur terre.....	4
<b>Figure I.2</b> : Schéma générale du cycle de l'eau.....	5
<b>Figure II.1</b> : Divers procédés de dessalement .....	19
<b>Figure III.1</b> : Localisation de la station de dessalement de Tizirt .....	23
<b>Figure III.2</b> : Vue générale de la station de dessalement de Tizirt.....	24
<b>Figure III.3</b> : La pompe d'aspiration de l'eau brute.....	25
<b>Figure III.4</b> : Armoire de commande.....	25
<b>Figure III.5</b> : Prise d'eau de mer à la plage TASSALAST.....	26
<b>Figure III.6</b> : Conduite d'eau brute.....	27
<b>Figure III.7</b> : Bassin lamellaires.....	27
<b>Figure III.8</b> : Vue générale du bassin.....	27
<b>Figure III.9</b> : Bassin d'eau décanté.....	27
<b>Figure III.10</b> : L'installation des pompes d'apports.....	28
<b>Figure III.11</b> : L'installation des trois filtres à sable.....	30
<b>Figure III.12</b> : Point d'injection de bisulfate de sodium.....	30
<b>Figure III.13</b> : Les micros-filtres.....	31
<b>Figure III.14</b> : Pompes à haute pression.....	31
<b>Figure III.15</b> : Entrée des membranes.....	32
<b>Figure III.16</b> : Sortie des membranes.....	32
<b>Figure III.17</b> : Les pompes centrifuges.....	33
<b>Figure III.18</b> : Réservoir d'équilibre osmotique.....	33
<b>Figure III.19</b> : Réservoir tampon de l'eau traitée.....	34
<b>Figure III.20</b> : La conduite de la saumure .....	34
<b>Figure III.21</b> : Chambre d'armoire de commande automatique.....	35
<b>Figure III.22</b> : Chambre de stockage chimique.....	35
<b>Figure III.23</b> : Le laboratoire de la station de Tizirt.....	36
<b>Figure III.24</b> : Spectrophotomètre UV-Visible DR 600 .....	36
<b>Figure III.25</b> : Boite LCK.....	37
<b>Figure III.26</b> : Appareil de la spectrométrie d'adsorption atomique à flamme.....	38
<b>Figure IV.1</b> : Mesure de la turbidité.....	40
<b>Figure IV.2</b> : pH mètre de type WTW Ph 730.....	41

<b>Figure IV.3</b> : Mesure du chlore libre.....	42
<b>Figure IV.4</b> : Dosage de la dureté totale TH.....	43
<b>Figure IV.5</b> : Dosage de Calcium.....	44
<b>Figure IV.6</b> : Dosage de TAC (virage de couleur rouge orangé.....	45
<b>Figure IV.7</b> : Appareil Oxymètre OX 4000L.....	46
<b>Figure IV.8</b> : Prélèvement de l'eau traitée à la station de Tizirt.....	51
<b>Figure IV.9</b> : Analyse bactériologique.....	52
<b>Figure IV.10</b> : Graphe comparatif des concentrations en métaux lourds dans l'eau dessalée .....	56

## ANNEXE DES TABLEAUX

<b>Tableau I.1</b> : Classification d'une eau selon son pH.....	7
<b>Tableau I.2</b> : La relation existant entre la minéralisation et la conductivité.....	8
<b>Tableau I.3</b> : Classification de l'eau selon la dureté totale .....	9
<b>Tableau I.4</b> : Les normes de l'eau potable selon l'OMS et le journal officiel Algérien.....	14
<b>Tableau I.5</b> : Principaux types de polluants chimiques avec leurs sources et effets.....	17
<b>Tableau II.1</b> : Différentes stations en Algérie.....	21
<b>Tableau II.2</b> : Principaux impacts de dessalement sur l'environnement.....	22
<b>Tableau III.1</b> : Paramètres de la station.....	25
<b>Tableau III.2</b> : Différentes données des pompes de la station.....	26
<b>Tableau III.3</b> : Les charges de chaque filtre.....	29
<b>Tableau III.4</b> : Caractéristiques des membranes.....	32
<b>Tableau III.5</b> : Code article et plage de mesure de chaque paramètres .....	37
<b>Tableau III.6</b> : Conditions standard d'analyse en spectrométrie d'absorption atomique...38	
<b>Tableau IV.1</b> : Résultats des analyses organoleptiques.....	40
<b>Tableau IV.2</b> : Détermination de $\text{CO}_3^{2-}$ et $\text{HCO}_3^-$ à partir de TA et TAC .....	46
<b>Tableau IV.3</b> : Résultats physico-chimiques des eaux traitées.....	47

<b>Tableau IV.4 :</b> Résultats des analyses physico-chimiques de l'eau de mer et de la saumure .....	50
<b>Tableau IV.5 :</b> Résultats bactériologiques de l'eau traitée.....	52
<b>Tableau IV.6 :</b> Résultats des analyses bactériologiques de l'eau de mer et de la saumure	53
<b>Tableau IV.7 :</b> Résultats d'analyses des métaux de l'eau de mer et de la saumure.....	54
<b>Tableau IV.8 :</b> Résultats d'analyses des métaux de l'eau dessalée.....	54

# **Introduction générale**

## **INTRODUCTION GENERALE**

L'eau est abondante sur terre, elle représente 1380 millions de km<sup>3</sup>. L'essentiel toutefois est constitué d'eau de mer (97,2 %) et de glace (2,15 %) inutilisables directement. L'eau douce ne représente que 0,07 % de la ressource totale soit environ un million de km<sup>3</sup>. La demande en eau potable de bonne qualité est de plus en plus forte et les besoins en eau dans les secteurs industriels et agricoles sont de plus en plus élevés.

En Algérie, la conjugaison de la croissance démographique, du développement des secteurs industriels et agricoles, a entraîné un accroissement spectaculaire des besoins en eau ; accroissement nettement plus important par rapport aux quantités mobilisées, au point où le déficit entre l'offre et la demande en eau risque de constituer, à long terme, un handicap insurmontable au développement et un impact négatif sur le plan socio-économique. Devant les besoins croissants en eau douce et l'impossibilité de se contenter des ressources naturelles, l'état algérien est appelé à étudier et à développer divers procédés permettant de l'obtenir à partir de l'eau de mers, des eaux saumâtres, et des eaux usées dans des conditions admissibles techniquement et économiquement.

Pour faire face à cette pénurie annoncée d'eau, de nouvelles techniques de production d'eau potable devront être mises en place pour satisfaire les besoins de la population croissante. Une des techniques prometteuses pour certains pays est le dessalement de l'eau de mer ou des eaux saumâtres qui remplacera les ressources naturelles. Les techniques de dessalement de l'eau de mer sont opérationnelles depuis de nombreuses années. Mais leur coût limite souvent leur utilisation aux pays riches. Cependant dans les dernières années, la capacité des usines de dessalement s'est fortement accrue et les coûts de production par m<sup>3</sup> ont connu une forte diminution.

Le pH moyen des eaux de mer varie entre 7,5 et 8,4, l'eau de mer est un milieu légèrement basique. La caractéristique la plus importante ces eaux est leur salinité, c'est-à-dire leur teneur globale en sels (chlorures de sodium et de magnésium, sulfates, carbonates). La salinité moyenne des eaux des mers et océans est de 35 g/l (27,2 g/l de NaCl, 3,8g/l de MgCl<sub>2</sub>, 1,7 g/l MgSO<sub>4</sub>, 1,2 g/l de CaSO<sub>4</sub>, 0,86 g/l deK<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>).

Pour pouvoir être consommée en toute sécurité, l'eau doit répondre à des critères de potabilité très strictes dictés par le Ministère de la Santé et le Conseil Supérieur du secteur d'Hygiène Publique. Ces normes varient en fonction de la législation en vigueur et selon qu'il s'agit d'une eau destinée à la consommation humaine ou d'une eau industrielle.

Les technologies actuelles de dessalement des eaux sont classées en deux catégories, selon le principe appliqué :

- Les procédés thermiques faisant intervenir un changement de phases : la congélation et la distillation.
- Les procédés utilisant des membranes: l'osmose inverse et l'électrodialyse.

Parmi les procédés précités, la distillation et l'osmose inverse sont des technologies dont les performances ont été prouvées pour le dessalement d'eau de mer. En effet, ces deux procédés sont les plus commercialisés dans le marché mondial du dessalement. Les autres techniques n'ont pas connu un essor important dans le domaine à cause de problèmes liés généralement à la consommation d'énergie et/ou à l'importance des investissements qu'ils requièrent.

Quel que soit le procédé utilisé, toutes les stations de dessalement produisent d'importantes quantités de saumure contenant divers sels, métaux lourds et composés organiques et qui est deux fois plus salée (entre 50 et 80 g/l) que l'eau de mer habituelle (35 g/l en mer Méditerranée). Les statistiques parlent des centaines de milliers de tonnes de saumure qui sont rejetées quotidiennement dans la mer depuis des stations de dessalement. Les techniques de dessalement peuvent présenter un risque environnemental: les rejets de saumure, d'eau chaude, de produits chimiques ne doivent pas contaminer l'écosystème.

L'objectif de notre travail est de donner un aperçu sur le dessalement et sur les déchets issus du dessalement des eaux de mer et aussi de vérifier l'efficacité des procédés de traitement utilisés par la station de dessalement de l'eau de mer de Tigzirt vis-à-vis de certains paramètres physico-chimiques et microbiologiques.

Ce mémoire est agencé entre trois grandes parties : La première partie est consacrée à l'étude bibliographique sur le sujet, elle est structurée en deux chapitres. Le premier chapitre porte sur des généralités sur l'eau et les techniques de traitement le deuxième chapitre donne un aperçu sur les principales technologies de dessalement d'eau de mer.

La troisième partie donne une vue générale sur la station de dessalement de Tigzirt. Elle présente également les moyens matériels, ainsi la description des techniques d'analyse exploitées pour la réalisation de ce travail.

Les résultats expérimentaux obtenus et leurs discussions ont fait l'objet de la quatrième partie de cette étude.

Nous terminerons notre étude par une conclusion générale qui englobe les principaux résultats obtenus.

# **Chapitre I**

**Etude bibliographique sur l'eau**

## I.1. Caractéristiques et propriétés de l'eau

L'eau est un corps liquide à température et à pression ordinaires; incolore, inodore et insipide, constituée d'un atome d'oxygène et deux atomes d'hydrogènes. La molécule d'eau est une des molécules les plus simples et des plus abondantes dans l'univers[1].

L'eau est plus commun et plus indispensable à la vie, elle peut se trouver sous trois états : liquide, solide et gazeux. L'état liquide et solide de l'eau sont plus compliqués que ses propriétés sont exceptionnelles.

- L'eau peut pratiquement tout dissoudre qu'elle a un rôle très important dans toutes les réactions chimiques.
- L'eau se dissocie en protons  $H^+$  et en ions hydroxydes  $OH^-$ , l'eau est neutre lorsque son pH est à 7, acide en se rapprochant de 0, basique en se rapprochant de 14.
- L'eau a une forte tension superficielle (72.7 dyn/cm) que certains métaux flottent sur sa surface.
- L'eau ne peut pas se comprimer ni augmenter de volume (principe de pascal) que lorsqu'elle change d'état (L'eau augmente de volume en se solidifiant).
- L'eau change d'état à une température qui dépend de la pression. L'eau se solidifie à 0 °C et devient vapeur à 100 °C.
- L'eau est légère sous forme solide que sous forme liquide sa densité se diminue en se solidifiant c'est pourquoi la congélation des rivières et des lacs commence par la surface.
- L'eau est extrêmement corrosive qu'elle fait rouiller l'acier [2].

## I.2. Répartition de l'eau sur terre

L'eau est très présente sur notre planète. Ainsi, vue de l'espace, la Terre apparaît bleue. Les océans recouvrent près des trois quarts de la surface terrestre (70%).

La totalité de l'eau sur Terre représente un volume d'environ 1,4 milliard de  $km^3$ , disponible sous forme liquide, solide ou gazeuse. Cependant, la majeure partie de l'eau (97%) est contenue dans les océans et est salée, ce qui la rend inutilisable par l'homme et seule l'eau douce soutien la vie terrestre, notamment la vie humaine. L'eau douce est donc un bien rare et précieux qui, s'il est contaminé, peut ne plus pouvoir remplir ses différents rôles écologiques [3].

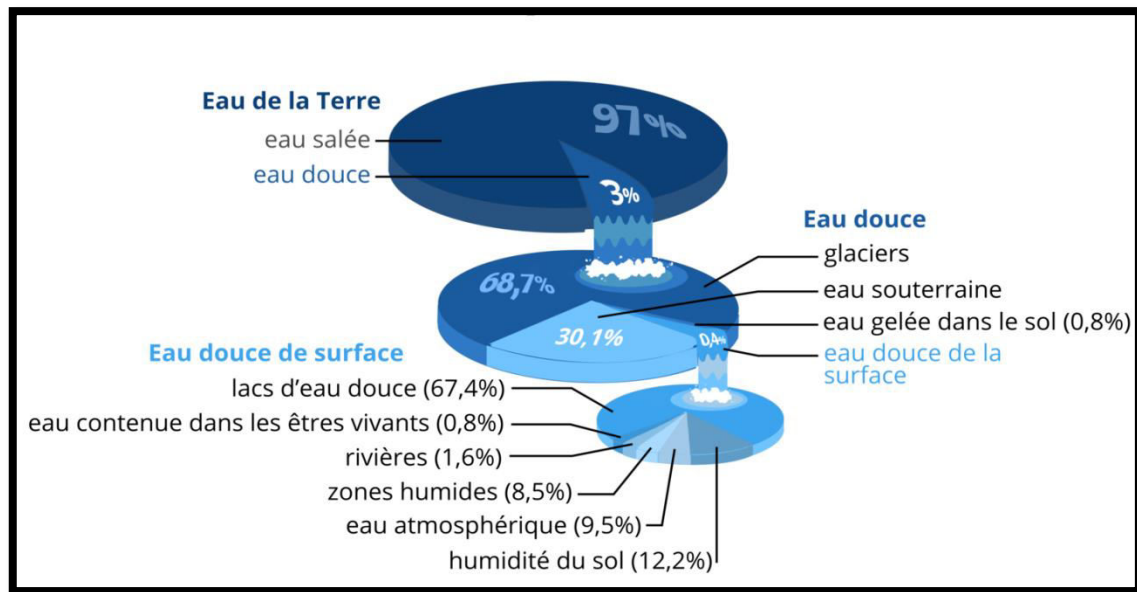


Figure I.1: La répartition de l'eau sur terre.

### I.3.Eau brute dans l'environnement

On retrouve quatre sources principales d'eaux brutes de différentes natures, leurs caractéristiques générales reflètent l'interaction eau- milieu environnant.

#### I.3.1. Eaux de pluie

Les eaux de pluie ne sont pas des eaux pures. Elles sont un peu minéralisées. Elles sont saturées d'oxygène et d'azote et ne contiennent aucun sel dissous; elles sont donc très douces de bonne qualité pour l'alimentation humaine [4].

#### I.3.2. Eaux de surface

Les eaux de surfaces se répartissent en deux catégories dont la dureté est modérée, eaux circulantes (rivières) et eaux stagnantes (lacs). Elles se forment à partir, soit de l'émergence de nappes profondes en source, soit du rassemblement d'eau de ruissellement. Elles sont généralement riches en gaz dissous et très sensibles à la pollution minérale et organique [4].

#### I.3.3.Eaux souterraines

Les eaux souterraines, enfouis dans le sol, sont habituellement à l'abri des sources de pollution, donc d'excellente qualité physico-chimique et bactériologique, mais pauvres en O<sub>2</sub> dissous. Leur origine est due à l'accumulation des infiltrations dans le sol [4].

### I.3.4. Eaux de mer

Les eaux de mer sont une source d'une eau brute qu'on n'utilise que lorsque il n'y a pas moyen de s'approvisionner en eau douce. Les eaux de mer sont caractérisées par leurs concentrations en sels dissous; c'est ce qu'on appelle leur salinité [4].

### I.4.Cycle de l'eau

L'eau douce se renouvelle en permanence par le cycle de l'eau. Elle passe de la mer à l'atmosphère, puis de la terre à la mer, en suivant un cycle qui se répète indéfiniment suivant plusieurs étapes

- Une partie des eaux de mer se transforme en vapeur d'eau sous l'action du soleil ainsi que l'eau des plantes et des animaux par évapotranspiration.
- Des nuages se forment dans le ciel, les nuages s'agrègent puis se transforment en eaux pluviales, neige ou grêle.
- Une partie des eaux pluviales s'infiltrent dans les nappes souterraines et l'autre partie rejoint les eaux de surfaces : rivières, fleuves, lacs...
- L'eau est stockée dans les réservoirs naturels sur des périodes plus ou moins longues (ex : 8 jours de stagnation dans l'atmosphère, 17 ans dans les lacs, 2500 ans dans les océans...)
- L'eau des réservoirs naturels s'évapore sous l'action du soleil puis regagne la mer et les océans [5].

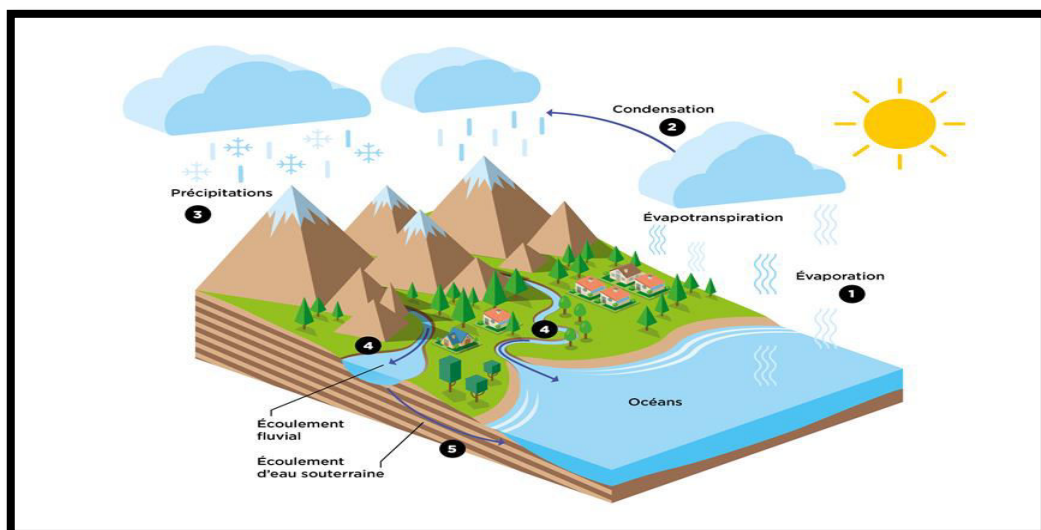


Figure I.2: Schéma générale du cycle de l'eau.

## **I.5. Eau potable**

### **I.5.1. Définition**

L'eau de consommation ou eau potable est une eau douce, chimiquement et biologiquement saine, conforme pour un usage lié à la consommation humaine pour éviter toute maladie.

### **I.5.2. Origine des eaux potables**

On regroupe trois types d'eaux

#### **I.5.2.1. Eau minérale**

Une eau minérale naturelle est chimiquement stable et pure, elle est d'origine souterraine et à l'abri de tout risque de contamination humaine.

Ses qualités thérapeutiques ont été reconnues par l'Académie Nationale de Médecine.

#### **I.5.2.2. Eaux de source**

L'eau de source est issue des nappes phréatiques souterraines, apte à la consommation humaine sans traitement ni adjonction, mais sa composition n'est pas systématiquement stable. Elle répond aux mêmes critères de potabilité que l'eau du robinet.

#### **I.5.2.3. Eau de robinet**

L'eau du robinet est une eau potable distribuée par un réseau de canalisation depuis les zones de captage, où sont prélevées les eaux brutes, jusqu'aux utilisateurs finaux, en passant par un centre de traitement et un ou plusieurs réservoirs.

## **I.6. Critères de potabilité de l'eau**

Pour pouvoir être consommée en toute sécurité, l'eau doit répondre à des critères de potabilité très stricte, que l'on peut regrouper en six grands paramètres :

### **I.6.1. Paramètres physico-chimiques**

Ils correspondent aux caractéristiques de l'eau tels que le pH, la température, la conductivité ou la dureté de l'eau et délimitent les quantités maximales à ne pas dépasser pour certains composants comme les ions, les chlorures, le potassium et les sulfates.

### I.6.1.1. Caractéristiques physiques

#### a) Température

La température de l'eau, est critique. Elle agit sur la densité, la solubilité des gaz et la dissociation des sels dissous, donc sur la conductivité des ions et dans la détermination du pH. Une augmentation de la température favorise le développement des micro-organismes dans l'eau potable [7].

#### b) Potentiel Hydrogène pH

Le Potentiel hydrogène est déterminé par la quantité des ions de l'hydrogène présent dans l'eau. Il se mesure sur une échelle de 0 à 14 démontrant un équilibre entre acidité et alcalinité, une eau calcaire est une eau basique. Le pH dépend de l'environnement [8].

<b>pH &lt;5</b>	<b>Acidité forte; 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>	Neutralité approchée; majorité des eaux de surface
<b>5,5 &lt; pH &lt;8</b>	Majorité des eaux souterraines
<b>pH =8</b>	Alcalinité forte, évaporation intense

**Tableau I.1: Classification d'une eau selon son pH.**

#### c) Conductivité

La conductivité permet de déterminer le taux des sels dans l'eau donc de sa minéralisation globale, elle dépend de la température de l'eau, de la concentration et la nature des ions mobiles dissous dans cette eau [9].

<b>Conductivité électrique</b>	<b>Taux de minéralisation</b>
<b>CE &lt; 100 <math>\mu\text{s/cm}</math></b>	minéralisation très faible
<b>100 &lt; CE &lt; 200 <math>\mu\text{s/cm}</math></b>	minéralisation faible
<b>200 &lt; CE &lt; 333 <math>\mu\text{s/cm}</math></b>	minéralisation moyenne
<b>333 &lt; CE &lt; 666 <math>\mu\text{s/cm}</math></b>	Minéralisation moyenne accentuée
<b>666 &lt; CE &lt; 1000 <math>\mu\text{s/cm}</math></b>	Minéralisation importante

**Tableau I.2: Relation existant entre la minéralisation et la conductivité.**

### d) Salinité

La salinité mesure la concentration d'une eau en sels dissous (chlorures de sodium, chlorure de magnésium, sulfate de magnésium, etc.). La salinité d'une eau correspond à la teneur globale en cations et en anions, il s'exprime en mg/l. Les eaux de mer sont caractérisées par une salinité très importante [10].

### e) Turbidité

La turbidité est la mesure de la clarté de l'eau, elle décrit la quantité de lumière diffusée ou bloquée par la présence de matières en suspension MES dans l'eau. Ces particules donnent un aspect trouble à l'eau [9].

## I.6.1.2. Caractéristiques chimiques

### c) Oxygène dissous

L'oxygène dissous est une mesure de la concentration d'oxygène libre dans la colonne de l'eau. Sa solubilité est liée à plusieurs facteurs particuliers : la température, la pression atmosphérique et la salinité et aussi en fonction de l'origine de l'eau [11].

### d) Dureté TH

La dureté d'une eau ou le titre hydrotimétrique est une mesure globale de la concentration en sels dissous de l'eau en calcium et en magnésium, en excès, elle provient essentiellement du lessivage des roches sédimentaires et des sols.

La dureté entraîne l'entartrage; des difficultés à cuisson et une consommation excessive du savon [12].

Le TH peut subdiviser en TCa (titre calcique) et TMg (titre magnésien) :  $TCa + TMg = TH$ . En fonction de leur dureté totale, les eaux peuvent être classées suivant les indicateurs du tableau suivant :

TH en degrés français (°F)	Spécificité de l'eau
0à6	Eau très douce
6à15	Eau douce
15à30	Eau moyennement dure
Plus de 30	Eau très dure

Tableau I.3: Classification de l'eau selon la dureté totale.

### c) Alcalinité

L'alcalinité d'une eau correspond à la présence des bicarbonates, carbonates et les hydroxydes, elle est mesurée soit par le titre alcalimétrique TA ou par le titre alcalimétrique complet TAC [7].

#### ➤ Titre alcalimétrique TA

Il permet de mesurer la teneur totale en hydroxydes et seulement la moitié de celle en carbonates, lorsque ces teneurs sont mesurées en méq/l ou °F, ce qui est traduit par la formulation

$$T = [OH^-] + 1/2 [CO_3^{2-}] \text{ éq/lou } ^\circ F$$

#### ➤ Titre alcalimétrique complet TAC

Il permet de mesurer les teneurs totales en hydroxydes, en carbonates et en Hydrogénocarbonates, en méq/l ou °F, soit

$$TAC = [OH^-] + [CO_3^{2-}] + [HCO_3^-] \text{ éq/lou } ^\circ F$$

### d) Chlorures Cl<sup>-</sup>

Presque tous les types d'eaux naturelles possèdent des ions chlorures Cl<sup>-</sup>, sous forme de sel de sodium et de potassium. Les concentrations vont de quelques milligrammes par litre dans des eaux naturelles pour atteindre des concentrations élevées dans des eaux résiduaires, des eaux marines et des eaux souterraines salines [13].

### e) Calcium Ca<sup>2+</sup>

Le calcium est un élément alcalino-terreux extrêmement abondant dans la nature, parfois trouvé sous le nom de chaux, composant essentiel à la santé humaine.

Le calcium est généralement l'élément dominant des eaux potables, sous forme d'ions dissous dans l'eau dépose sur les tuyaux et les canalisations.

### f) Sodium Na<sup>+</sup>

Le sodium est un métal fortement réactif, qui dans la nature, ne se rencontre qu'à l'état combiné. Il se présente sous forme ionisé Na<sup>+</sup> dans la majorité des eaux. Ce sel minéral majeur indispensable à la vie permet de maintenir l'équilibre hydrique.

Cependant les eaux trop chargées en sodium deviennent saumâtres et prennent un goût désagréable [14].

### **g) Potassium $K^+$**

Le potassium est un élément minéral majeur de symbole K. on le retrouve dans l'eau de mer et dans de nombreux minéraux.

La teneur en potassium dans les eaux naturelles est de l'ordre de 10 à 15 mg/L. A cette concentration, le potassium ne présente pas d'inconvénients pour la santé des individus [14].

### **h) Matières organiques**

Les matières organiques sont présentes naturellement dans les eaux proviennent de la mort des organismes vivants, élaborés sous l'influence des microorganismes.

Une eau riche en matière organique favorise l'apparition de mauvais goût qui pourra être augmenté par la chloration. Leur teneur est appréciée, le plus souvent, par des tests tels que la réduction du permanganate de potassium en milieu acide et en milieu alcalin [10].

### **i) Ammonium $NH_4^+$**

L'ammonium est l'ion polyatomique  $NH_4^+$ , dérivé de l'azote. Cette forme d'azote est assez souvent rencontrée dans les eaux, traduit habituellement un processus de dégradation incomplet de la matière organique [10]. A des concentrations élevées, l'ammonium sera toxique pour la santé humaine.

### **j) Oxydabilité au permanganate de potassium $KMnO_4$**

En solution diluée le  $KMnO_4$  est utilisé pour le traitement des eaux, notamment pour oxyder le fer et le manganèse dans les eaux souterraines. Elle permet l'estimation de la pollution organique totale de l'eau et l'appréciation de l'efficacité des traitements d'oxydation [11].

## **I.6.2. Paramètres organoleptiques**

Ils concernent la couleur, le goût et l'odeur de l'eau. L'eau doit être agréable à boire, claire et sans odeur. Ces paramètres étant liés au confort de consommation, ils n'ont pas de valeur sanitaire directe.

### **a) Couleur**

Le changement de couleur d'une eau potable peut être le premier signe d'un problème de qualité. Elle peut être due à certaines impuretés minérales, mais également à certaines matières organiques. Ce changement de couleur doit être éliminé pour rendre l'eau agréable à boire.

### **b) Goût et Odeur**

Les eaux de consommation doivent posséder un goût et une odeur agréable. La plupart des eaux, qu'elles soient ou non traitées, dégagent une odeur plus ou moins perceptible et ont une certaine saveur. Ces deux propriétés, ne peuvent pas être mesurées. Selon les physiologistes, il n'existe que quatre saveurs fondamentales : salée, sucrée, aigre et amère.

Le goût de l'eau varie selon la propriété des roches et des sols qu'elle traverse. Les eaux plus douces semblent plus fades. À l'inverse, les eaux fortement minéralisées ont une saveur plus forte.

Les odeurs sont causées par la présence des substances relativement volatiles dans l'eau. Elles peuvent être organiques ou inorganiques[13].

## **I.6.3. Paramètres microbiologiques**

Ils permettent de vérifier si l'eau ne contient aucun germe pathogène, comme les virus, les bactéries ou les parasites, pouvant provoquer des maladies, voire d'épidémies.

## **I.6.4. Paramètres liés aux substances indésirables**

Les micropolluants tels que l'arsenic, le cyanure, le chrome, le nickel, le sélénium ainsi que certains hydrocarbures sont soumis à des normes très sévères à cause de leur toxicité. Leur teneur tolérée est de l'ordre du millionième du gramme

### **a) Fer**

Le fer est un élément chimique naturellement présent dans la nature. Il peut se dissoudre dans les eaux souterraines en plus dans l'eau potable.

Les concentrations de fer dans l'eau sont généralement sans danger pour la santé du point de vue physiologique, mais à des teneurs très importantes il influe sur la qualité organoleptique de l'eau [13].

## b) Aluminium

L'aluminium est le troisième élément de la croûte terrestre, il entre dans la composition de tous les sols, donc dans les ressources en eau. Sa présence dans l'eau du robinet peut également être liée à l'utilisation de sels d'aluminium lors d'une étape de traitement des eaux. En général, la quantité d'aluminium susceptible d'être retrouvée dans l'eau de distribution ne présente pas de caractère toxique pour les populations [13].

## c) Manganèse

Le manganèse est naturellement présent dans l'eau par la corrosion des roches. Des concentrations en manganèse, même élevées, ne constituent pas de risques pour la santé humaine. Néanmoins, leur forte concentrations dans l'eau est source de désagréments d'ordres esthétiques et organoleptiques [7].

## I.6.5. Paramètres liés à la pollution

Ils concernent les substances telles que :

### a) Nitrites $\text{NO}_2^-$

L'ion nitrite est la base conjuguée de l'acide nitreux, une forme intermédiaire de l'azote, les nitrites se forment soit par l'oxydation partielle de l'azote ammoniacal ou de la réduction des nitrates. Leur présence dans l'eau provient de l'utilisation des engrais et résulte également des rejets industriels [11].

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

Les nitrates sont une production naturelle de l'oxydation du stade finale de l'azote. Elles sont très solubles dans l'eau. Leur présence dans l'eau de consommation est principalement attribuable aux activités humaines.

### c) Phosphates $\text{PO}_4^{3-}$

Le phosphate est la source naturelle du phosphore. Les ions phosphate contenus dans les eaux naturelles peuvent provenir, en plus de la dégradation de la matière organique, de la nature des terrains traversés aussi des rejets industriels.

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

Le sulfate est un des éléments majeurs des composés dissouts dans l'eau de pluie.

Des concentrations importantes en sulfate dans l'eau que nous buvons peuvent avoir un effet laxatif important combiné avec le calcium et le magnésium [11].

### I.6.6. Paramètres liés aux substances toxiques

#### a) Plomb $Pb^{2+}$

Le plomb dans l'eau de consommation provient principalement de la dissolution du plomb présent dans les tuyaux de raccordement entre certaines maisons et le réseau de distribution municipal.

Une fois dans l'organisme. Le plomb se diffuse vers des organes comme le cerveau et provoquer le saturnisme : troubles neurologiques et digestifs [14].

#### b) Mercure $Hg^{2+}$

Le mercure est un élément toxique naturellement présent dans l'écorce terrestre. Il est libéré dans l'environnement par l'activité volcanique, l'érosion des roches et à la suite des activités humaines. L'eau potable ne doit pas contenir plus de 1  $\mu g/l$  de mercure par litre d'eau [15].

### I.7. Normes de potabilité de l'eau

L'eau après traitement doit répondre à des critères de qualités très strictes fixées par l'Organisation Mondiale de la Santé.

Paramètres	Selon l'OMS	Selon le Journal Algérien
Température	25 °C	25 °C
pH	9	6,5-8,5
Conductivité	1000 $\mu s/cm$	2800 $\mu s/cm$
Turbidité	5 NTU	5 NTU
Dureté totale $CaCO_3$	50 °F	100-500 °F
Sodium	150 mg/L	200 mg/L
Calcium	100 mg/L	75-200 mg/L
Magnésium	50 mg/L	150 mg/L
Chlorures	600 mg/L	200-500 mg/L

<b>Nitrates</b>	50 mg/L	50 mg/L
<b>Nitrites</b>	0.1 mg/L	0.1 mg/L
<b>Sulfates</b>	250 mg/L	200-400 mg/L
<b>Phosphates</b>	5 mg/L	5 mg/L
<b>Ammonium</b>	0.5 mg/L	0.5 mg/L
<b>Oxygène dissous</b>	5 mg/L	5 mg/L
<b>Aluminium</b>	0.2 mg/L	0.2 mg/L
<b>Oxydabilité de KMnO<sub>4</sub></b>	5 mg/L	3 mg/L
<b>Chrome</b>	0.05 mg/L	0.05 mg/L
<b>Fer</b>	Pas de valeur guide	0.3 mg/L
<b>Manganèse</b>	0.4 mg/L	0.05 mg/L

**Tableau I.4 : les paramètres physico-chimique selon l’OMS et le Journal Officiel Algérien[6].**

## **I.8. Techniques du traitement de l’eau**

### **I.8.1. Dégrillage**

Le dégrillage permet d’enlever les débris de dimensions intermédiaires, afin d’éviter qu’ils interfèrent avec le fonctionnement des équipements avals [16].

### **I.8.2. Micro tamisage**

Le micro tamisage permet l’enlèvement des fines matières en suspension présentes dans l’eau à l’aide d’une toile métallique à mailles très serrées ou à travers une membrane poreuse [4].

### **I.8.3. Coagulation-floculation**

La coagulation floculation est un procédé caractérisé par l’injection des produits chimiques afin de déstabiliser et agglomérer les particules en suspension. Ces particules s’agglutinent pour former un floc qu’on peut facilement éliminer par les procédés de décantation et de filtration [4].

### **I.8.4. Décantation**

La décantation est un procédé utilisé pour réduire les impuretés dont la densité est supérieure à celle de l’eau. Il est suivi d’une filtration [4].

### **I.8.5. Filtration**

La filtration est destinée à clarifier un liquide qui contient des matières solides en suspension, en le faisant passer à travers un milieu poreux [4].

### **I.8.6. Désinfection**

La désinfection est un traitement qui permet de détruire ou d'éliminer les micro-organismes susceptibles de transmettre des maladies en utilisant des produits chimiques comme le chlore ou des moyens physiques comme l'ébullition [4].

## **I.9. Impact de qualité de l'eau sur la santé humaine**

Tous les usages de l'eau et des milieux qui dépendent du vivant peuvent être impactés par les altérations physico-chimiques si elles conduisent à des mortalités. La contamination peut résulter d'un contact direct avec l'eau elle-même ou survient par l'intermédiaire d'aliments ou d'air contaminés par une eau de qualité impropre [17].

Une eau polluée peut entraîner de graves problèmes de santé. Des malformations congénitales, de malnutrition, du choléra, de l'hépatite A, de la typhoïde, à la mort. On estime 5 millions de personnes meurent chaque année en buvant cette eau [18].

### **I.10. Pollution de la source en eau**

La pollution de l'eau peut se définir comme étant la dégradation de la qualité de l'eau, ou une altération dans un sens défavorable de plusieurs caractéristiques, chimiques ou biologiques de cette eau provoquée par le rejet de produits liquides, solides ou gazeux. Ce qui rend son utilisation dangereuse et qui perturbe l'écosystème aquatique [19]. La pollution de l'eau peut avoir des origines diverses

#### **I.10.1. Pollution industrielle**

Cette pollution est provoquée par les rejets de produits chimiques comme le PCB rejetés par les industries notamment les produits pétroliers, les eaux usées, les détergents et les déchets radioactifs. Elle peut perturber le cycle de l'azote dans le sol de ce fait aucune végétation ne pousse à l'endroit contaminé [20].

#### **I.10.2. Pollution domestique**

Elle provient des eaux usées issues de l'utilisation d'eau au quotidien, elles contiennent des déchets organiques ou de la matière fécale ; elle provient aussi des produits ménagers chargés de polluants chimiques nocifs pour l'environnement. Mélangés à l'eau,

ils terminent dans la nature et engendrent une pollution chimique [17].

### I.10.3. Pollution agricole

Les déjections animales et les produits phytosanitaires (herbicides, insecticides, fongicides) contenus dans les engrais utilisés dans l'agriculture. Sous l'effet du ruissellement de l'eau, ils s'infiltrent dans le sous-sol et enrichissent les cours d'eau et les nappes souterraines en dérivés azotés [21].

### I.10.4. Pollution accidentelle

Toutes les activités sont concernées par un risque de déversements accidentels dans les sources d'eaux. Qu'ils soient du secteur industriel, de l'agriculture, de l'assainissement, des transports, la construction. Lorsque des quantités importantes de produits toxiques s'échappent de ces activités, elles se disséminent en peu de temps dans le milieu naturel et perturbent l'écosystème [22].

## I.11. Polluants de l'eau

On regroupe généralement les polluants de l'eau sous trois grandes catégories.

### I.11.1. Polluants chimiques

Les polluants chimiques représentent les substances minérales ou organiques extraites, synthétisées et rejetées par les activités humaines: produits chimiques de synthèse (à base d'hydrocarbure, de charbon, de produits halogénés, de l'azote, ...), métaux, soude, acides. La consommation quotidienne d'eau polluée par des traces de ces substances peut avoir des effets néfastes sur la santé humaine [23].

Principaux polluants	Principales sources de contamination	Principaux effets sur l'environnement et la santé humaine
Métaux lourds	L'industrie métallurgique et minière, déforestation	Liées au développement de pathologies grave chez l'homme et ils détériorent les écosystèmes.
Acides nitrique et sulfurique	Pluies acides	Les dépôts acides endommagent les lacs, les rivières, cancérogènes pour les humains.
Nitrates et phosphates	Engrais et les détergents	Contribuent au développement des algues dans les lacs et les cours d'eau, et peuvent provoquer des problèmes de santé.

<b>Produits organiques persistants (POP)</b>	Procédés industriels, pesticides, solvants, produits nettoyants	Ils présentent de nombreux effets nuisibles pour l'homme et l'environnement.
--	---	--

**Tableau I.5: Principaux types de polluants chimiques avec leurs sources et effets.**

### **I.11.2. Polluants biologiques**

La pollution biologique est l'introduction d'espèces exogènes ou d'organismes génétiquement modifiés dans un milieu. La source principale provient du traitement des eaux usées et des eaux d'égouts, ces polluants comprennent les organismes libres et les agents pathogènes. Chez l'humain, l'eau contaminée par des microorganismes peut provoquer des diarrhées, des vomissements et des maladies parasitaires si elle est consommée [24].

### **I.11.3. Polluants physiques**

Regroupent les rejets de matières en suspension inertes, les eaux de lavage provenant de l'exploitation de minéraux et les rejets de calories, pouvant entraîner la réduction de la concentration en oxygène dans l'eau [25].

# **Chapitre II**

**Dessalement de l'eau de mer**

## II.1. Introduction

Le dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres peut donc constituer dans certains cas une solution compétitive pour pallier le manque d'eau dans les régions littorales. Malgré les avantages du dessalement de l'eau de mer, les dégâts provoqués par celui-ci sur l'environnement sont considérables.

## II.2. Principales technologies de dessalement d'eau

Le dessalement s'appelle aussi désalinisation ou plus rarement dessalage. Il consiste à séparer l'eau et les sels à partir d'une eau brute, qui peut être de l'eau de mer ou une eau saumâtre d'origine continentale. Plusieurs méthodes permettent la séparation de l'eau de mer en une eau douce contenant une faible concentration des sels dissouts et une solution concentrée en sels. On citera notamment la distillation, humidification solaire, l'osmose inverse, la congélation et l'électrodialyse. Cependant, les deux technologies utilisées actuellement, à l'échelle industrielle, sont celles basées sur la distillation et l'osmose inverse.

### II.2.1. Procédés de distillation

La technique de dessalement de l'eau de mer la plus utilisée est la distillation ou dessalement thermique. L'eau de mer est chauffée jusqu'à évaporation, seules les molécules d'eau s'échappent, laissant en dépôt des sels et d'autres substances [27].

L'eau de mer chauffée émet une vapeur d'eau pure qu'il suffit de condenser pour obtenir de l'eau douce consommable. Ce principe de dessalement très simple est utilisé depuis longtemps [26].

### II.2.2. Procédés à membranes

On peut envisager une séparation de l'eau et des sels dissous au moyen de membranes sélectives. Deux procédés sont actuellement commercialisés : l'électrodialyse et l'osmose inverse [26].

#### II.2.2.1. Électrodialyse

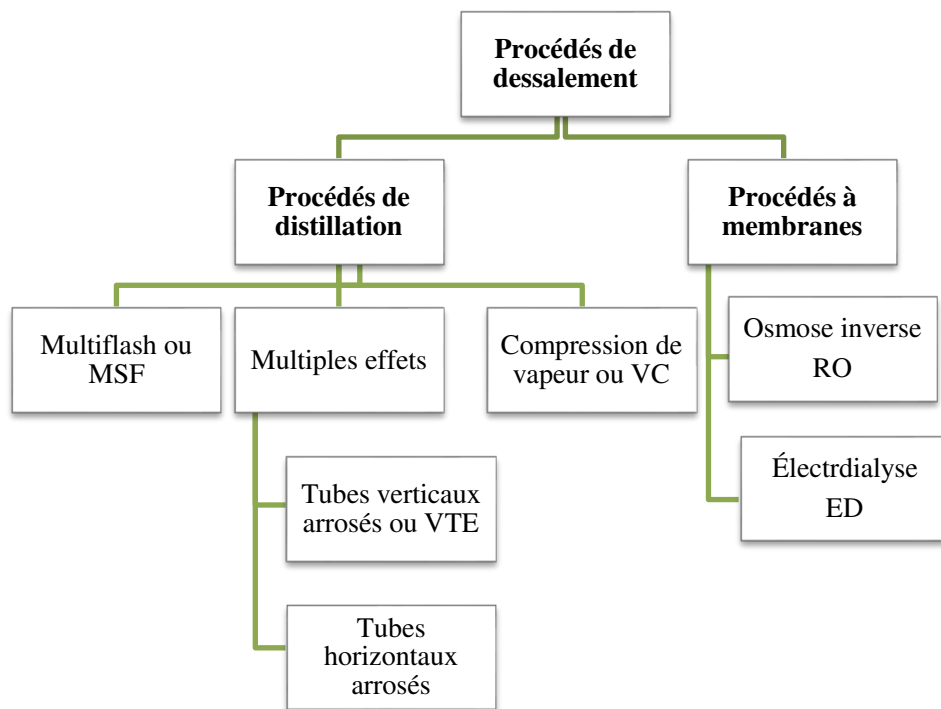
L'électrodialyse consiste à transférer des ions de sels dissous à travers des membranes qui ne laisse pas passer l'eau épurée, le mouvement des ions est provoqué par un champ électrique, l'électrode négative (cathode) attire les cations, tandis que les anions se déplacent vers l'électrode positive (anode) [26].

**II.2.2.2. Osmose et Osmose inverse**

On appelle osmose le transfert d'une solution moins concentrée vers une solution plus concentrée jusqu'à l'équilibre à travers une membrane semi perméable.

L'osmose inverse est une technique utilisée pour la purification de l'eau. Il s'effectue en sens inverse du phénomène naturel en introduisant une pression plus forte que la pression osmotique, l'eau diffuse à travers la membrane et les sels se retiennent dans le compartiment contenant la solution la plus concentrée [26].

Il existe d'autres procédés de dessalement tels que la Congélation, l'échange d'ions et la distillation solaire.



**Figure II.1. Les divers procédés de dessalement [26].**

Pendant très longtemps, soit des années 1960 jusqu'aux années 1980-1990. Le procédé de distillation flash était le seul procédé utilisé pour les installations de dessalement d'eau de mer de grandes capacités (>10000 m<sup>3</sup> /jour). L'osmose inverse est apparue vers les années 1970. D'abord pour les dessalements des eaux saumâtres, puis pour les unités de dessalement d'eau de mer de petite capacité (quelques dizaines de m<sup>3</sup> /jour). La première unité de grande capacité (20000 m<sup>3</sup> /jour) a été mise en service sur l'Ile de Maire en 1983. Ensuite, progressivement, l'osmose inverse est venue concurrencer la

distillation pour les installations de capacité élevée : ainsi en 2005, Israël mettait en service à Ashkelon une unité de 320000 m<sup>3</sup> /jour.

### II.3. Dessalement de l'eau de mer dans le monde

Une vingtaine d'organisations internationales, d'organismes de développement et d'instituts scientifiques, avance des chiffres très inquiétants sur la pénurie qui menace les populations. Plus de 80 % des zones humides ont été perdues depuis l'ère préindustrielle dans le monde et ces 20 dernières années, le stockage de l'eau dans les terres a diminué d'un centimètre par an, en tenant compte de la surface, du sous-sol mais aussi de l'humidité du sol, de la neige et de la glace. Au total, le nombre et la durée des sécheresses a augmenté de 29 % en 20 ans [27].

Depuis les années 60, une solution s'est donc progressivement imposée: le dessalement, notamment de l'eau de mer. Il est aujourd'hui pratiqué dans 15.906 usines répandues dans 177 pays, Le processus, essentiellement fondé sur la distillation ou l'osmose inverse, devient en effet de moins en moins chère grâce au développement de nouvelles technologies [27].

### II.4. Dessalement de l'eau de mer en Algérie

L'Algérie a vécu ces dernières années une pénurie en eau potable, les ressources conventionnelles en eau sont insuffisantes pour subvenir aux besoins de la population, ceux qui a incité les autorités algériennes à chercher d'autres ressources pour garantir l'alimentation en eau potable de cette population. La solution la plus adaptée est le dessalement de l'eau de mer.

Le littoral de l'Algérie compte plusieurs stations de dessalement de l'eau de mer réparties sur les différentes wilayas du nord et d'autres stations en projet. Elles fournissent environ 17 % de l'eau consommée dans le pays et alimente 6 millions de personnes avec un volume de 2.8 millions m<sup>3</sup> par jour.

Wilaya	Nom de la station et l'année mise en service	Capacité m <sup>3</sup> /Jour d'eau potable
Alger	Hamma (février 2008)	200 000
	Staoueli (aout 2021)	7 500
	Ain Benian (septembre 2021)	10 000
	Zeralda (octobre 2021)	10 000
	Bordj El Kiffan (avril 2022)	10 150

<b>Oran</b>	Arzew (2005)	90 000
	Bousfer	5 500
	Ain Turk	5 000
	Mactaa (2015)	500 000
<b>Ain Témouchent</b>	Béni Saf (2009)	200 000
	Chatt El Hilal	200 000
<b>Tipaza</b>	Oued Sebt (2010)	100 000
	Douaouda	120 000
	Bousmail	10 000
<b>Ain El Tarf</b>	El Tarf	50 000
	Echatt (2011)	300 000
<b>Tlemcen</b>	Souk Tléta	200 000
	Honaine (2010)	200 000
<b>Chlef</b>	Ténès	200 000
	Beni Haoua	5 000
<b>Béjaia</b>	Béjaia	100 000
<b>TiziOuzou</b>	Tigzirt	2 500
<b>Jijel</b>	Jijel	200 000
<b>Skikda</b>	Skikda (2009)	100 000
<b>Mostaganem</b>	Mostaganem (2010)	200 000

Tableau II.1. Différentes stations en Algérie.

## II.5. Impacts des rejets de dessalement sur l'environnement

La construction d'une station de dessalement produit plusieurs impacts sur l'environnement comme nous pouvons le constater, la plupart des impacts proviennent principalement de la saumure d'après le tableau suivant

<b>Impact</b>	<b>Origine de l'impact</b>	<b>Techniques d'atténuation</b>
<b>Métaux lourds Toxicité</b>	Corrosion du matériel de la station de dessalement	Choix judicieux des matériaux résistants à la corrosion
<b>Salinité accrue Effets nocifs pour les espèces résistants aux sels</b>	Saumure rejetée, concentrée	Dilution de la saumure avant rejet et récupération des sels
<b>Pollution thermique Réduction de l'oxygène dans les eaux réceptrice</b>	Saumure chaude	Mélange de la saumure avec de l'eau froide avant rejet

<b>Désinfectants</b>	Chlore et ses composés Réaction du chlore avec les composés organiques	Mesures de protection contre les polluants au prélèvement de la station
<b>Produits chimiques Eutrophisation des eaux réceptrices, hausse du pH</b>	Adjonctions d'agents anticorrosion et antitartre	Réduction de l'utilisation des produits chimiques

**Tableau II.2. Principaux impacts de dessalement sur l'environnement**[34].

## II.6. Saumure et ses conséquences sur l'environnement

La saumure est un sous-produit du dessalement inévitable, qui est déchargée, généralement dans l'environnement marin. Les constituants présents dans ces eaux résiduelles rejetées par les usines de dessalement dépendent dans une large mesure de la qualité de l'eau d'alimentation, de la qualité de l'eau douce produite et de la technique de dessalement adoptée. Cependant, les rejets des usines de dessalement ne comprennent pas seulement l'effluent de saumure concentrée et les désinfectants, mais également des eaux chaudes et des effluents aqueux tels que les distillats et condensats d'éjecteur [30].

Lorsque la saumure est rejetée sans dilution ni traitement, elle induit une augmentation de la concentration en sel autour de la zone de rejet [29].

La salinité des saumures est comprise entre 68 et 90 g/l. La masse d'eau très dense forme une couche sur le fond marin et se déplace suivant les lignes de pente maximale. Le concentrât contient également les résidus des produits chimiques ayant servi aux prétraitements comme le méta bisulfite de sodium pour la déchloration de l'eau d'alimentation [31]. Une concentration en ion  $\text{Na}^+$  et une concentration en ion  $\text{Cl}^-$ , induisent à des contraintes anthropiques et climatiques que l'on peut résumer de la façon suivante

- Dégradation du sol et des plantations (pêchers et oliviers) par les rejets de résidus et stagnation des rejets libres d'eau de rinçage de la station de déminéralisation,
- inondation des terres agricoles par les eaux chargées de résidus et contamination de la nappe phréatique, disparition de la végétation naturelle et salinisation effrénée des terres agricoles, et diminution de la pluviométrie.

Une forte salinité et une température élevée, favorisant une diminution de la teneur en oxygène induit un changement durable dans la diversité des espèces et l'abondance de la zone impactée [32]. Disparition du corail et des organismes planctoniques et une diminution des populations de poissons à proximité du rejet [33].

# **Chapitre III**

## **Matériels et Méthodes**

### III.1. Introduction

L'objectif principal de notre étude est de vérifier l'efficacité des procédés de traitement utilisés par la station de dessalement de l'eau de mer de Tizirt vis-à-vis de certains paramètres physico-chimiques et microbiologiques.

### III.2. Situation géographique de la station de dessalement

Le site de la station de dessalement de Tizirt est localisé au bord de la mer au d'environ de 400 m de la plage TASSALAST près de la ville de Tizirt située à 38 km au nord de la wilaya de Tizi-Ouzou, à 125km à l'est d'Alger et à 120km à l'ouest de Bejaia.

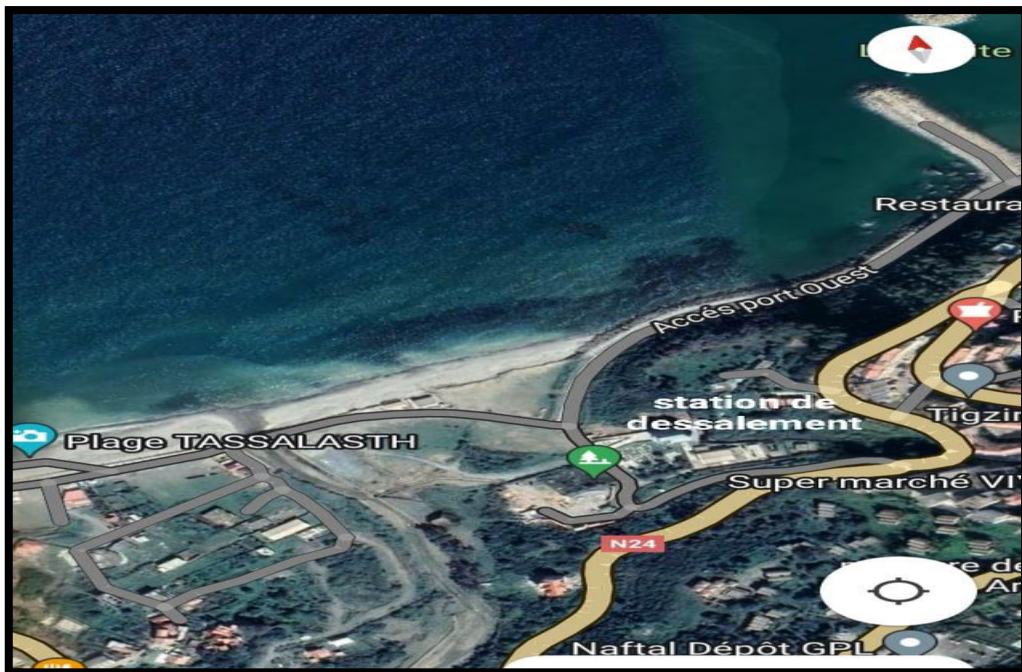


Figure III.1: Localisation de la station de dessalement de Tizirt.

### III.3. Présentations de la station de dessalement de Tizirt

La mise en service date en aout 2004 et sa capacité est de 2500 m<sup>3</sup>/j. Sa réalisation était par la société (HYDRO-TRAITEMENT) et puis réceptionnée par l'ADE (Algérienne des eaux) en 2007, c'est une station monobloc périmait de garantir l'alimentation en eau potable de la ville basse de Tizirt. Cette station produit une eau osmosée refoule vers un réservoir, où elle est mélangé avec l'eau du barrage ce qui fait reminéralisé cette eau.



**Figure III.2 : Vue générale de la station de dessalement de Tizirt.**

- **Objectif** : assurer l'alimentation des habitants de la ville de Tizirt
- **Distribution réel** : 1000 m<sup>3</sup> /jour due aux arrêts de la station
- **Mise en service finale** : Aout 2004
- **Capacité** : 2500 m<sup>3</sup> /jour par la technique d'osmose inverse
- **Coût du projet** : 125.000.000 Da

Le procédé de traitement au niveau de cette station est l'osmose inverse qui représente un procédé de choix. L'osmose inverse progresse sur le marché de dessalement pour les raisons suivante :

- ✓ Amélioration des performances des membranes d'osmose inverse.
- ✓ Amélioration des performances des technologies de récupération d'énergie.
- ✓ Mise en œuvre plus facile
- ✓ Baisse des prix des équipements et des membranes.
- ✓ Éprouvé et maîtrisable techniquement
- ✓ Faible consommation énergétique (environ 3-4 kW/m<sup>3</sup> dans le cas d'une eau de mer 35 g/l).

Paramètres	Valeurs nominales	Unité
Capacité de production	2500	m <sup>3</sup> /Jour
Débit d'entrée	232	m <sup>3</sup> /heure
Débit de production	104	m <sup>3</sup> /heure

Débit de saumure	128	m <sup>3</sup> /heure
Taux de conversion	45	%

Tableau.III.1: Paramètres de la station[34].

### III.3.1. Pompes utilisées

Dans la station, plusieurs types de pompes sont utilisés, chacune dans un but bien précis. La pompe aspire l'eau brute et le refoule dans une conduite menant vers le bassin de décantation laminaire. Ce dernier est composé de différents compartiments.



Figure III.3: La pompe d'aspiration de l'eau brute.

Cette pompe est à 6 m de profondeur par rapport au sol et à 1m au niveau de la mer menée d'une armoire de commande et d'un moteur électrique.

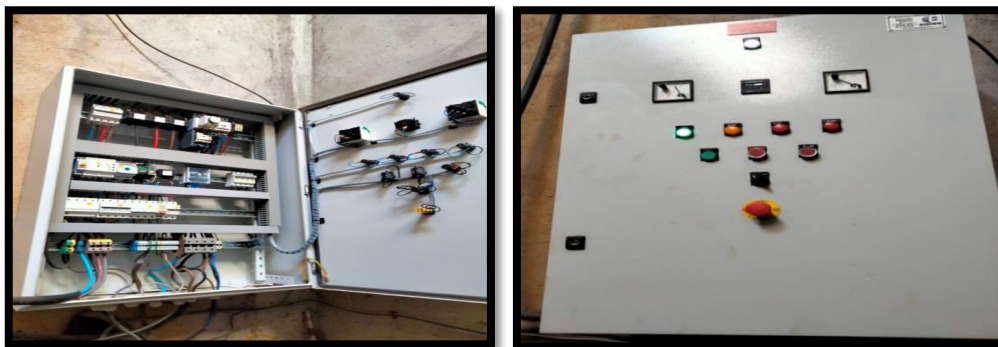


Figure III.4: Armoire de commande

Les caractéristiques des autres pompes sont résumées dans le tableau III.2.

Pompes	Débit (m <sup>3</sup> /h)	Type	HMT (m)	Puissance (kW)	Vitesse de rotation (tours /min)	Pompe en marche
Pompe d'eau de mer	280	Centrifuge horizontal	25	25.5	1465	1 sur 2
Pompe de transfert vers l'installation	93	Centrifuge horizontal	40	18.5	2940	2 sur 3
Pompe à haute pression	77	suppresseur	280	150	5930	2 sur 3
Pompe de lavage et de refoulement	90	Centrifuge transmission vertical	89.1	30	-	1 sur 2 Pour chacun

Tableau.III.2: Différentes données des pompes de la station[34].

### III.3.2. Procédés de traitements appliqués dans la station

#### III.3.2.1. Captage d'eau de mer

L'eau de mer est aspirée par une pompe centrifuge munie d'une conduite en polyéthylène à haute densité PEHD de diamètre inférieure à 400 mm, émergée dans la mer à une profondeur de 12 m et 500 m au large, son site et sa conception seront choisis pour obtenir une eau de bonne qualité et de s'affranchir des risques entraîné par des risques entraînée par des pollutions accidentelles de l'eau de mer.



Figure III.5: Prise d'eau de mer à la plage TASSALAST.

### III.3.2.2. Étape de décantation

La décantation se fait dans un bassin de décantation appelé lamellaire dans lequel on trouve des lamelles inclinées, ce bassin est aussi alimenté par deux conduites d'eau brute et muni d'une autre conduite appelée « trop plein » permet de retenir les particules en suspension et évacuer les eaux excédentaires.



Figure III.6: Conduite d'eau brute.



Figure III.7: Bassin lamellaire.

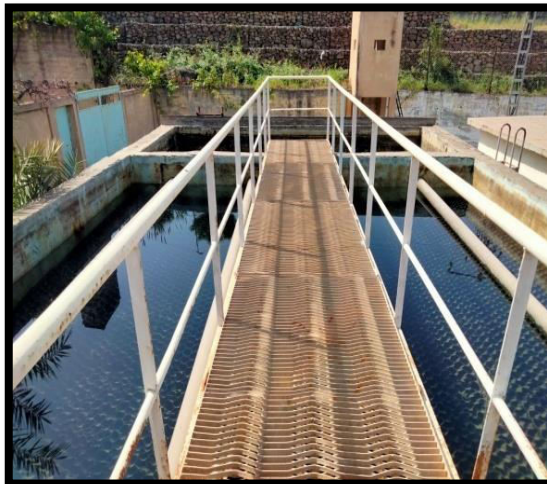


Figure.III.8: Vue générale du bassin.



Figure III.9: Bassin d'eau décantée.

### III.3.2.3. Pompes d'apport

Après la décantation trois pompes d'apports sont installées pour l'acheminement de l'eau décantée et l'alimentation pour la production.



Figure III.10: L'installation des pompes d'apport.

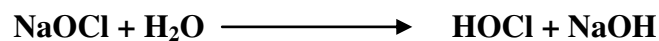
### III.3.3. Prétraitements chimiques effectués à l'intérieur de la station

Une série de produits chimiques doivent être injectés le long du processus afin d'assurer un bon rendement et une bonne qualité de l'eau produites dont l'acide sulfurique ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), le coagulant/ floculant et l'hypochlorite de sodium.

#### III.3.3.1. Injection de l'hypochlorite de sodium NaOCl

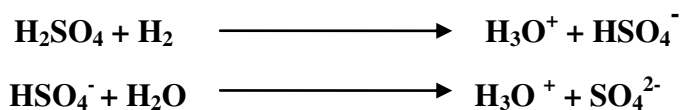
L'injection de NaOCl est dans le but de

- Désinfecter et stériliser l'eau afin de limiter le colmatage biologique.
- Stopper la prolifération des organismes vivants dans l'eau de mer.



#### III.3.3.2. Injection de l'acide sulfurique $\text{H}_2\text{SO}_4$

La station est équipée d'un système de dosage chimique anti scalant d'acide sulfurique ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) qui permet d'augmenter la solubilité des sels calcaires (carbonate et sulfate). L'injection de l'acide sulfurique est nécessaire pour l'action contre l'incrustation de carbonate de calcium  $\text{CaCO}_3$ .



### III.3.3.3. Filtration

La filtration de l'eau de mer est prévue pour protéger les pompes et assurer le bon fonctionnement des pulvérisateurs. Son objectif est donc l'élimination de toutes les matières en suspensions dont le diamètre varie entre 5 à 10  $\mu\text{m}$  et qui n'ont pas été éliminées lors de la décantation.

#### III.3.3.3.a. Filtration duelle

Après un prétraitement, on procédera à l'élimination des particules qui peuvent existées dans l'eau de mer, en la filtrant à travers des filtres à sable et anthracite.

Le système de filtration proposé par ASTRAMATIC se réalisera moyennant le montage en parallèle de trois filtres verticaux de type duel (double lit filtrant) constitué par des matériaux inertes comme l'anthracite et le silex [34].

#### III.3.3.3. b. Différentes données des filtres à sables

Les filtres sont de fonctionnement automatique construits en polyester-fibre de verre transformés moyennant filament Widing, conçus et approuvés à une pression de 6  $\text{Kg}/\text{cm}^2$  et dotés de tableaux de vannes de DN-150 en PVC et vannes papillons construites en PVC de DN-75 pourvus de trous d'homme de 400  $\varnothing$  latéral et supérieur et de manomètres pour le contrôle de la perte de charge.

Lit	Silex	Taille (mm)	Hauteur couches (mm)	Quantité
1 <sup>er</sup> lit	Silex support lourd	3-5	Couvrir le collecteur	800 Kg
2 <sup>ème</sup> lit	Silex support	1-2	300	1500 Kg
3 <sup>ème</sup> lit	Silex filtrant	0.4-0.8	500	2500 Kg
4 <sup>ème</sup> lit	Anthracite	0.8-102	500	1800 Litres

Tableau.III.3: Les charges de chaque filtre[34].



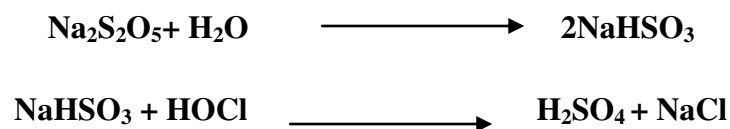
Figure III.11: L'installation des trois filtres à sable.

### III.3.3.4. Injection de métabisulfite de sodium $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$

Le bisulfate de sodium ( $\text{NaHSO}_3$ ) comme agent de réduction réagit avec la molécule de chlore actif (l'acide hypochloreux  $\text{HOCl}$ ) afin de la neutraliser et éviter son arrivée aux membranes, sachant que ce dernier les oxydéra et les détruira.

On dispose d'un système de dosage de métabisulfite de sodium. Le bisulfate de sodium va réagir avec la molécule de chlore actif. Le produit chloré final de la réaction est  $\text{NaCl}$ , molécule qui a perdu son pouvoir oxydant.

Le bisulfate de sodium est formé à partir de métabisulfite de sodium.



En théorie (1,34 mg) de métabisulfite de sodium supprime (1,0 mg) de chlore libre.



Figure III.12: Point d'injection de bisulfate de sodium.

### III.3.3.5. Etape de microfiltration

Une fois l'eau de mer filtrée au niveau des filtres à sable et dosée aux produits chimiques décrit antérieurement, elle est conduite au niveau des microfiltrations, filtres d'affinement, afin d'éliminer toutes les particules qui peuvent rester en suspension de dimension supérieure à 5 microns [34].



Figure III.13: Les micros filtres (filtres à cartouches).

### III.3.3.6. Pompage à haute pression et turbine de réception

L'eau parfaitement prétraitée et filtrée arrive au système de pompage à haute pression (HP) de 63 bars qui à son tour alimente les membranes d'osmose inverse [34].



Figure III.14: Pompes à haute pression.

### III.3.3.7. Système de membrane de l'osmose inverse

L'installation des membranes sera construite pour une ligne de production de 600 m<sup>3</sup>/jour. Ces membranes ont une grande résistance chimique et peuvent travailler à un pH de 2 à 13 ce qui donne une grande facilité de lavage et récupération.

Les caractéristiques des membranes sont données dans le tableau III.5.

<b>N° de membranes</b>	<b>231</b>
<b>Fabriqueur</b>	<b>HDRANAUTICS</b>
<b>Modèle</b>	<b>SWC3</b>
<b>Aire</b>	<b>380 ft<sup>2</sup></b>
<b>Configuration</b>	<b>Spiral</b>
<b>Diamètre</b>	<b>8</b>
<b>Longueur</b>	<b>40</b>
<b>Matériau</b>	<b>POLYAMIDE</b>

**Tableau.III.4: Caractéristiques des membranes[34].**



**Figure III.15: Entrée des membranes.**

**Figure III.16: Sortie des membranes.**

### **III.3.3.8. Réservoir tampon et pompage de refoulement**

L'eau traitée sera stockée dans un réservoir cylindrique de 1000 litres de capacité utile construit en PRFV et doté d'indicateur de niveau et un transmetteur de niveau dans continu de 4-20 mA pour la commande de la pompe de distribution.

L'eau traitée sera menée à bien par l'assemblage d'un groupe de pompage construit en AISI-316, constitué par deux pompe centrifuge conçu pour le débit maximal de 105 m<sup>3</sup>/heure et capable de vaincre les pertes de charge provoquée par les 50.



Figure III.17: Les pompes centrifuges



Figure III.18: Réservoir d'équilibre osmotique.

### III.3.3.9. Neutralisation de l'eau traitée

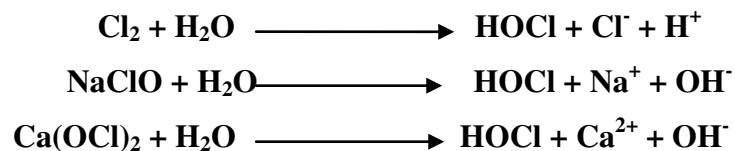
L'eau traitée à la sortie de réservoir d'équilibre osmotique est généralement acide. Il passera par un système de neutralisation composé d'un système de dosage de NaOH.

### III.3.3.10. Chloration de l'eau traitée

#### III.3.3.10.a. Aspect chimique de la chloration

Pour que l'eau traitée ne soit pas contaminée au niveau de réservoir de stockage elle sera dosée par une toute petite quantité de chlore.

- Le chlore est un oxydant très énergétique.
- Il a une forte tendance à capter un électron supplémentaire de façon à acquérir une structure stable sous forme d'ions chlorure  $\text{Cl}^-$ .
- Dans l'eau le chlore gazeux et les hypochlorites réagissent rapidement pour donner l'acide hypochloreux  $\text{HOCl}$  qui est le produit actif dans la désinfection.



### III.3.3.10.b. Aspect biologique de la chloration

➤ L'acide hypochloreux est essentiellement le composé le plus actif dans les mécanismes de désinfection, du fait qu'il ne présente pas de charge électrique. Il passe plus facilement la membrane cytoplasmique.

➤ Le HClO bloque toute activité enzymatique à l'intérieur de la cellule cible par échange d'atome de chlore avec les molécules hydrogène des enzymes. Ce qui entraînera la mort cellulaire.



Figure III.19: Réservoir tampon de l'eau traitée.

### III.3.3.11. Déchets rejetés

Après la sortie de l'eau des membranes 45% sont transférées vers le réservoir de stockage et 55% sont rejetées. Les rejets sont appelés saumure.



Figure III.20: La conduite de la saumure.

### III.3.3.12. Différents coins de la station

#### a) Armoires de commandes

La station est menée par une chambre d'armoires de commande automatique



Figure III.21: Chambre d'armoires de commande automatiques.

#### b) Stockage chimique

Les produits chimiques utilisés sont stockés dans des citernes comme le montre la figure III.22.



Figure III.22: Chambre de stockage chimique.

#### c) Laboratoire de la station

À la sortie, la qualité de l'eau doit être contrôlée ce qui fait la station est menée d'un petit laboratoire où on calcule le pH de l'eau traitée par un pH mètre et la turbidité de cette eau et aussi sa conductivité et sa concentration en chlore.



Figure III.23: Laboratoire de la station de Tizirt.

### III.4. Méthode d'analyse et caractérisation

#### III.4.1. Spectroscopie ultraviolet-visible (UV-Visible)

Le DR 6000 est un spectrophotomètre UV-Visible de haute précision, doté de toutes les fonctions nécessaires pour le travail quotidien d'un laboratoire de contrôle ou de recherche.



Figure III.24: Spectrophotomètre UV-Visible DR 6000.

La qualité supérieure des composants optiques assurent des résultats précis et une durée d'utilisation accrue. Le DR 6000 est également doté d'un support pour les tests en cuve. Il commence la mesure automatiquement et affiche le résultat en mg/l. La mesure s'effectue sans autre manipulation.

Les tests en cuve LCK permettent de déterminer le dosage des paramètres chimiques de l'eau en suivant le mode opératoire représenté à l'intérieur de la couverture de chaque boîte LCK qui indique la quantité de l'eau à ajouter, la manière d'agitation de la solution dans la cuve et le temps de réaction. La cuve contient la quantité exacte de réactif. On ajoute simplement l'échantillon d'eau puis on insère la cuve dans le spectrophotomètre et on prend la mesure.

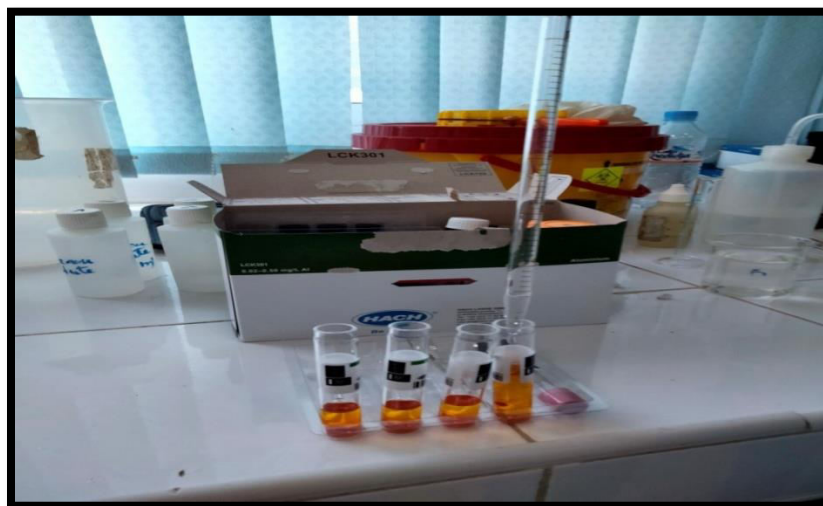


Figure III.25: Boîte LCK

Paramètre	Code article	Plage de mesure mg/l
Aluminium	LCK 301	0.02 - 0.50
Fer	LCK 320	0.2 – 6
Nitrites	LCK 342	0.6 – 6
Nitrates	LCK 339	0.23 – 13.5
Ammonium	LCK 303	2 – 47
Potassium	LCK 328	8 - 50
Sulfate	LCK 353	150 – 900
Phosphate	LCK 350	2 – 20 6 – 60
Chlorure	LCK 311	1 – 70 70 - 1000

Tableau III.5: Code article et plage de mesure de chaque paramètre.

### III.4.2. Spectrophotométrie d'absorption atomique (SAA)

La Spectrophotométrie d'Absorption Atomique est l'une des méthodes très sensibles et largement utilisées pour doser plus de 70 éléments du tableau périodique. Elle permet le

dosage de ces éléments à l'état de traces. Cette technique a été utilisée dans notre travail pour doser les métaux. L'appareil utilisé est un spectrophotomètre à flamme du type SHIMADZU AA-6800.



**Figure III.26: Appareil de la spectrométrie d'absorption atomique à flamme.**

Toutes les analyses ont été effectuées avec une cathode creuse constituée du métal à doser. Pour doser chaque élément, on doit se rapporter aux conditions spectrales du dosage des métaux, qui sont résumées dans le tableau II.6.

<i>Eléments</i>		<b>Domaine de linéarité [<math>\mu\text{g/ml}</math>]</b>	<b>Type de flamme</b>	<b>Longueur d'onde [nm]</b>
<b>Chrome</b>	<b>Cr</b>	0,50 – 04,0	-	357,9
<b>Nickel</b>	<b>Ni</b>	0,05 – 11,0	-	232,0
<b>Cuivre</b>	<b>Cu</b>	0,04 – 07,0	-	324,7
<b>Zinc</b>	<b>Zn</b>	0,01 – 02,0	-	213,9
<b>Cadmium</b>	<b>Cd</b>	0,01 - 01,2	-	228,8

**Tableau III.6: Conditions standard d'analyse en spectrométrie d'absorption atomique.**

# **Chapitre IV**

## **Résultats et discussions**

## **IV.1. Introduction**

Notre travail a pour objectif d'étudier la qualité de l'eau dessalée à la station de dessalement de Tizirt, et de vérifier l'efficacité des procédés de traitement utilisés par la station. Nous avons effectué des prélèvements au mois de Mars et Mai 2022 en vue d'une analyse physico-chimique et bactériologique, au niveau de trois points de la station À l'entrée de la station (eau de mer) et à la sortie de la station en deux points (eau produite après dessalement et eau rejetée (Saumure)).

On détermine les paramètres organoleptiques tels que la turbidité, la saveur, la couleur, les paramètres physico-chimiques: pH, température, conductivité, salinité,  $Cl_2$ , dureté total, calcium, magnésium, alcalinité, carbonate, bicarbonate, matière organique, oxygène dissous, nitrites, nitrates, sulfates, fer, chlorures, potassium, phosphates, ammonium et aluminium et les métaux lourds ainsi que les paramètres bactériologiques.

Cette étude a été réalisée au niveau du laboratoire de contrôle de la qualité et procès de la station de Taksebt et le laboratoire LPCM de l'UMMTO.

## **IV.2. Analyse organoleptiques**

Pour faire une étude qualitative de l'eau de mer et celle traitée après le processus de dessalement, une analyse sensorielle des propriétés organoleptiques constitue un des premiers indices de la potabilité de l'eau traitée. Les paramètres mesurés sont la couleur, l'odeur, la saveur et la turbidité.

### **IV.2.1. Test de la couleur**

Elle a été déterminée par des tubes à colorimètre de type HACH DR 890 et comparée avec une solution de référence de platine-cobalt (Pt/Co). Rincer la cuvette avec l'eau distillée et la remplir (le blanc). Placer ensuite le blanc dans le colorimètre et appuyer sur le zéro. Puis, on place la cuvette qui contient l'échantillon dans le colorimètre et appuyer sur READ. La lecture se fera directement sur l'écran de l'appareil et le résultat de la couleur apparaît avec des unités de platine-cobalt (Pt/Co).

### **IV.2.2. Test de l'odeur**

Elle a été évaluée par simple sensation dans le lieu de prélèvement.

### **IV.2.3. Test de la saveur**

Elle a été évaluée par dégustation de l'eau au point de prélèvement.

#### IV.2.4. Mesure de la turbidité

La mesure de la turbidité a été effectuée à l'aide d'un Turbidimètre (HACH, 2100N) comme le montre la figure IV.1. Après avoir calibrer l'appareil avec des solutions d'étalons, les échantillons sont analysés en utilisant des capsules en verre bien nettoyées et bien séchées, le résultat est affiché directement sur l'écran de l'appareil, la turbine est exprimée en NTU (Nephelométric Turbidity Unit).



Figure IV.1: Mesure de la turbidité.

Les résultats des analyses organoleptiques sont reportés dans le tableau IV.1. On remarque que l'eau traitée est incolore et limpide et ne présente aucune odeur ou saveur.

Paramètres	Eau traitée	Eau de mer	Saumure	Normes Algériennes
<b>Couleur</b>	3.54	5.78	5.9	15 mg/l (Pt-Co)
<b>Odeur</b>	Inodore	Inodore	Inodore	Au bout de quatre dilutions successives aucune odeur ne doit être perçue
<b>Saveur</b>	sans	salée	Très salée	Au bout de quatre dilutions successives aucune saveur ne doit être perçue
<b>Turbidité</b>	0.13	0.43	0.09	5 NTU

Tableau IV.1: Résultats des analyses organoleptiques.

Par contre, l'eau de mer et la saumure donnent des saveurs désagréables dues à la concentration élevée en chlorure de sodium qui fait ressortir une saveur salée. Ces paramètres n'ont pas de signification sanitaire, mais par leur dégradation, ils peuvent

indiquer une pollution ou un mauvais fonctionnement des installations de traitement ou de distribution. Les eaux étudiées sont sans odeurs.

La turbidité est un paramètre important à suivre lors de la production de l'eau destinée à la consommation humaine car il rend compte de la bonne efficacité des étapes de traitement. La norme algérienne fixe une valeur limite de 5 NTU de turbidité pour la potabilité de l'eau. Tous les échantillons analysés ne présentent pas une telle turbidité. Les valeurs moyennes obtenues pour l'eau de mer et de la saumure sont respectivement 0,43 et 0,09 NTU et d'une moyenne de 0,13 NTU pour l'eau traitée, qui restent inférieures à la valeur limite recommandée par la réglementation algérienne.

### IV.3. Analyse physico-chimique

Les échantillons des eaux sont recueillis dans des bouteilles en plastique pour les analyses physico-chimiques, les bouteilles de prélèvement sont bien nettoyées et rincées deux à trois fois par l'eau à analyser, puis elles sont remplies et identifiées au préalable. Sur chacune, on note l'heure, la date et l'endroit de prélèvement. Nous avons effectué 20 prélèvements au cours des mois de mars et avril. Les échantillons doivent être conservés à une température entre 3°C et 5°C afin de garantir leur intégrité.

#### IV.3.1. Mesure de pH

La mesure de potentiel hydrogène se fait par un pH-mètre (Inolab, WTW pH 730), comme l'indique la figure IV.2.



Figure IV.2. pH-mètre de type WTW pH 730.

Mettre l'appareil en marche et étalonner avec les solutions tampons (pH=4, pH=7 et de pH=10), vérifier la calibration du pH-mètre avec le standard pH=7. On plonge ensuite l'électrode tout en agitant légèrement dans un bécher qui comporte environ 100 ml de

chaque échantillon; laisser stabiliser et lire ensuite le pH. Il faut également rincer l'électrode après chaque mesure.

Cet appareil nous a permis de mesurer la température et la conductivité avec la même méthode.

### **IV.3.2. Mesure de la température**

L'OMS ne mentionne aucune référence quant à la température de l'eau potable. La norme Algérienne ainsi que la norme de la Communauté Européenne (CEE) montrent que les valeurs enregistrées sont inférieures à 25°C et de ce fait, sont conformes aux normes suscitées. La mesure de la température en °C est effectuée avec le même appareil de mesure du potentiel hydrogène et en suivant le même protocole de mesure de pH.

### **IV.3.3. Mesure de la conductivité**

La mesure de la conductivité se fait avec le même appareil et protocole de mesure de pH et de la température. Allumer l'appareil et calibrer le conductimètre avec une solution standard du chlorure de potassium (KCl) à 180 µS/cm. Puis, on rince l'électrode avec l'eau à analyser et la tremper dans un bêcher de 100ml rempli avec de l'eau à analyser et on note la valeur de la conductivité en micro siemens par centimètre (µS/cm). Pour la maintenance de l'appareil rincer l'électrode après chaque mesure avec de l'eau et avec de l'acide chlorhydrique HCl à une concentration de 1%.

### **IV.3.4. Mesure de la salinité**

La mesure de la salinité s'effectue avec le même appareil et le mode opératoire des paramètres précédents.

### **IV.3.5. Mesure du chlore libre**

La mesure du chlore libre se fait par la méthode colorimétrique avec la Diéthyl-p-Phénylène-Diamine (DPD). Les réactifs sont fournis sous forme de pastilles. Le chlore libre réagit avec la molécule DPD. À la fin, on obtient une coloration rose, l'intensité de cette couleur produite est proportionnelle à la concentration en chlore libre recherchée.



**Figure IV.3: Mesure du chlore libre.**

Mettre 10 ml de l'échantillon dans une cuve propre et la mettre dans un colorimètre et étalonner ce dernier à 0 mg/l et 10 ml de l'échantillon dans une autre cuve propre et ajouter une pastille de DPD, puis introduire la cuve dans le colorimètre et effectuer la lecture immédiatement. Le résultat est exprimé en mg/l.

#### **IV.3.6. Mesure de la dureté totale**

La concentration en sel de calcium et de magnésium dissout dans l'eau se détermine par dosage par l'EDTA, en utilisant le NET (noir d'ériochrome T) comme indicateur de fin de réaction.

Mettre dans un erlenmeyer 100 ml d'eau à analyser et ajouter 5 ml de la solution tampon d'ammonium (pH=10) et trois gouttes d'indicateur coloré NET. La solution se colore en rose ou violet, à ce stade, un titrage par la solution d'EDTA (0,02 N), sous agitation jusqu'au virage au bleu permet de mesurer la TH.

Les résultats sont exprimés par la formule suivante :

$$TH = (N_{EDTA} \times V_{EDTA}) \times 1000 / V_0$$

$N_{EDTA}$ : La normale de la solution EDTA.

$V_{EDTA}$ : Volume en millilitres, de la solution EDTA, utilisé pour le dosage.

$V_0$ : Volume en millilitres, d'échantillon dosé.



**Figure IV.4: Dosage de la dureté totale TH.**

### IV.3.7. Mesure de Calcium $\text{Ca}^{2+}$

Pour déterminer la dureté calcique, on utilise l'EDTA comme complexant, le dosage se fait à un pH élevé (12-13). L'indicateur utilisé est le Murexide qui est sensible aux seuls ions  $\text{Ca}^{2+}$  pour former un complexe rouge.

Prélever 100 ml d'eau à analyser dans un erlenmeyer, et ajouter 5 ml de la solution NaOH (0.1N) et une pincée de Murexide, puis remuer soigneusement pour homogénéiser la solution, une couleur rose apparaît. Un titrage par l'EDTA (0.02N) a lieu jusqu'au virage rose au mauve. La dureté calcique est calculée par la formule suivante :

$$\text{Ca}^{2+} (\text{mg/l}) = (N_{\text{EDTA}} \times V_{\text{EDTA}}) \times 1000 / V_0 \times 20$$

$V_{\text{EDTA}}$ : Volume en millilitres, de la solution EDTA, utilisé pour le dosage.

$V_0$ : Volume en millilitres, d'échantillon dosé.



**Figure IV.5: Dosage de calcium.**

### IV.3.8. Mesure de Magnésium $\text{Mg}^{2+}$

À partir de la détermination de la dureté totale et la dureté calcique, on peut par différence déterminer la dureté magnésienne, selon la relation suivante

$$TH = TH (Ca^{2+}) + TH (Mg^{2+})$$

$$TH (Mg^{2+}) = TH - TH (Ca^{2+})$$

### IV.3.9. Mesure de l'Alcalinité totale

#### IV.3.9.1. Titre alcalimétrique TA

La mesure est basée sur la neutralisation d'un certain volume d'eau à analyser par l'acide chlorhydrique HCl(0.02N) en présence de phénophtaléine à 0.5%.

Dans un erlenmeyer, mettre 100 ml d'eau à analyser et ajouter 2 à 3 gouttes de phénophtaléine, une couleur rose est révélée suite au changement du pH qui s'avère inférieur à 8.3. Titrer et agiter avec la solution de HCl de 0.02N jusqu'à décoloration complète de la solution, dans le cas contraire le TA est nul. Les résultats sont exprimés par la formule suivante

$$TA (meq/l) = (N_{HCl} \times V_{HCl}) \times 1000 / V_0$$

$N_{HCl}$ : Normalité de HCl

$V_{HCl}$ : Volume de HCl

$V_0$ : Volume de l'échantillon

#### IV.3.9.2. Titre alcalimétrique complet TAC

Le TAC mesure la teneur en hydrogénocarbonate, hydroxyde libre et en carbonate contenus dans l'eau. Cette détermination est basée sur la neutralisation d'un certain volume d'eau par l'acide chlorhydrique HCl dilué en présence de méthyle orange.

Prélever 100 ml d'eau à analyser dans un erlenmeyer, ajouter 2 à 3 gouttes de solution de méthyle orange, une couleur jaune doit alors se développer. Titrer avec la solution de HCl de 0.02N en agitant constamment, jusqu'au virage du jaune au jaune orangé (pH = 4.3) de la solution. Les résultats sont exprimés par la formule suivante

$$TAC (meq/l) = (N_{HCl} \times V_{HCl}) \times 1000 / V_0$$



Figure IV.6: Dosage de TAC (virage de couleur jaune orangé).

#### IV.3.10. Mesure des bicarbonates $\text{HCO}_3^-$ et des carbonates $\text{CO}_3^{2-}$

La détermination de carbonate et de bicarbonate est faite selon le tableau suivant.

	TA=0	TA<TAC/2	TA=TAC/2	TA>TAC/2
$\text{OH}^-$	0	0	0	2TA-TAC
$\text{CO}_3^{2-}$	0	2TA	TAC	2TAC-2TA
$\text{HCO}_3^-$	TAC	TAC-2TA	0	0

Tableau IV.2: Détermination de  $\text{CO}_3^{2-}$  et  $\text{HCO}_3^-$  à partir du TA et TAC.

#### IV.3.11. Mesure de la matière organique

La matière organique est classiquement déterminée par perte au feu. Sa concentration dans un échantillon d'eau s'exprime en mg/l.

Prélever 100 ml de chaque échantillon, dans un erlenmeyer ajouter 20 ml de l'acide sulfurique puis les déposer sous la haute sur une plaque chauffante pendant 2 minutes, ajouter 20 ml de permanganate de potassium ( $\text{KMnO}_4$ ) et attendre jusqu'à ébullition ensuite attendre 10 min pour éteindre et ajouter 20 ml d'oxalate de sodium ( $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$ ) pour décoloration de la solution. Titrer avec le  $\text{KMnO}_4$ . Jusqu'à l'apparition d'une couleur rose pâle.

Pour le blanc (eau distillée), ajouter l'oxalate de sodium puis titrer avec le  $\text{KMnO}_4$  jusqu'à l'obtention d'une couleur rose pâle (blanc retour).

#### IV.3.12. Mesure de l'oxygène dissous

La mesure de l'oxygène dissous est faite avec un oxymètre (OX 4000L), comme indiqué sur la figure IV.7.



Figure IV.7: Appareil, Oxymètre OX 4000L.

Le dosage des paramètres chimiques; Nitrite  $\text{NO}_2^-$ , Nitrates  $\text{NO}_3^-$ , Chlorure  $\text{Cl}^-$ , Potassium  $\text{K}^+$ , Fer  $\text{Fe}^{2+}$ , Aluminium  $\text{Al}^{3+}$ , Sulfate  $\text{SO}_4^{2-}$ , Phosphate  $\text{PO}_4^{3-}$  a été effectué à l'aide d'un spectrophotomètre DR 6000.

#### IV.3.12.1. Résultats des analyses physico-chimiques des eaux traitées

Les résultats de l'analyse physico-chimiques de l'eau traitée sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Paramètres	Unités	Valeurs	Normes OMS
Température	°C	17.05	25
pH	-	8.01	6.5 - 9
Conductivité	ms/cm	1	1
Salinité	mg/l	525	1000-
Dureté totale	°F	4.8	50
TA	mg/l	00	-
TAC	mg/l	93	500
Carbonates	mg/l	00	-
Bicarbonates	mg/l	93	-
Calcium	mg/L	3.2	100
Magnésium	mg/l	9.72	50
Chlorures	mg/l	270	600
$\text{Cl}_2$	mg/l	0.75	5

<b>Nitrates</b>	mg/l	0	50
<b>Nitrites</b>	mg/l	0.04	0.1
<b>Phosphates</b>	mg/l	0	5
<b>Ammonium</b>	mg/l	0	0.5
<b>Oxygène dissous</b>	mg/l	9.51	5
<b>Aluminium</b>	mg/l	0.005	0.2
<b>Fer</b>	mg/l	0.04	Pas de valeur guide-
<b>Matières organiques</b>	mg/l	2.6	3

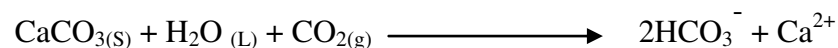
**Tableau IV.3: Résultats physico-chimiques des eaux traitées.**

Globalement, les résultats obtenus révèlent pour chaque paramètre physico-chimique, une diminution importante de sa valeur initiale et proche de la norme.

Les valeurs de température fluctuent entre 16,2 et 18,2°C, avec une moyenne de 17,05 °C qui sont conformes aux normes. L'eau traitée présente un pH légèrement basique aussi bien en période de pluie qu'en période sèche. La valeur du pH varie entre 8,01 et 8,25. Ces valeurs sont proches aux valeurs du pH de l'eau de mer qui est de 8,3 [35].

La salinité de l'eau traitée après dessalement indique une valeur moyenne de 525 mg/l, valeur en accord avec celles des normes de l'OMS qui recommandent pour des considérations gustatives une teneur limite de 1000 mg/l dans l'eau destinée à la consommation humaine. et sortant de celles des normes algériennes qui recommandent une valeur entre 150 et 500 mg/l.

Les résultats montrent des valeurs comprises entre 85–97 mg/l avec une valeur moyenne de 93 mg/l. Ces valeurs sont également conformes aux normes algériennes qui limitent le taux d'alcalinité des eaux de consommation à 500 mg/L en CaCO<sub>3</sub>. La présence des bicarbonates (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) dans l'eau est due à la dissolution des formations carbonatées (calcaire) par des eaux chargées en gaz carbonique selon la réaction :



Généralement les chlorures présents dans l'eau potable n'ont pas des conséquences toxiques pour l'homme même à concentration forte (1000 mg/l), mais peuvent être nuisibles au goût de l'eau en lui donnant une saveur salée. La réglementation algérienne recommande 500 mg /l comme la valeur maximale. Dans l'eau traitée, il a été enregistré

une valeur de 270 mg /l en accord avec celle de la norme. Pour l'oxygène dissous, les valeurs mesurées en accord avec les normes.

Le calcium est l'élément essentiel (99% dans le squelette), doit être fourni au corps humain à raison de 0.7 à 2 g/jour. Une concentration élevée dans l'eau ne présente aucun danger pour la santé. La réglementation algérienne indique 75 mg/l de calcium comme une valeur guide et 200 mg/l de concentration maximale. Les analyses de l'eau traitée donnée 3.2 mg/l comme valeur moyenne. Ces teneurs restent sous la valeur guide qui peut provoquer un déficit de calcium.

Le magnésium est un élément indispensable à la croissance et pour la production de certaines hormones. Les teneurs obtenues pour l'eau traitée sont respectivement de 6,4 mg/l en minimum, 14,25 mg/l en maximum et 9,92 mg/l comme moyenne qui sont en accord avec les normes OMS (50 mg/l) et les normes algériennes qui fixent 150 mg/l comme valeur maximale. Mais, on peut dire que l'eau traitée de cette station a une faible teneur en magnésium si on considère que la consommation journalière recommandée est de l'ordre de 300 mg/l d'après l'OMS.

Un manque en magnésium augmente le risque pour diverses conditions pathologiques telles que les vasoconstrictions, l'hypertension, l'arythmie cardiaque, la possibilité de diabète de type II. Les recherches ont montré aussi, que l'eau faible en magnésium peut causer une augmentation des taux de mortalité et morbidité des maladies cardiovasculaires.

Un manque à la fois de calcium et de magnésium peut également entraîner certains types de cancers, via la désactivation d'enzymes anti-oxydantes par exemple, provoquant l'accumulation des radicaux libres responsables des dommages intracellulaires, angiogénèse, de la fatigue, des troubles de l'humeur (sensation de stress, de tension), des troubles du sommeil et même des palpitations cardiaques.

#### **IV.3.12.2. Résultats des analyses physico-chimiques de l'eau de mer et de la saumure**

Les résultats de l'analyse physico-chimiques de l'eau de mer et de la saumure sont représentés dans les tableaux suivants.

Paramètres	Unités	Eau de mer	Saumure
Température	°C	15.5	17.8
pH	-	8.35	8.43
Conductivité	ms/cm	53.8	82.9
Salinité	mg/l	36600	69000
Dureté totale TH	°F	1 100	1 660
TA	mg/l	8	00
TAC	mg/l	69.49	265.57
Carbonates	mg/l	16	00
Bicarbonates	mg/l	53.49	265.57
Calcium	mg/l	2 400	1 600
Magnésium	mg/l	1 215	3 062
Chlorures	mg/l	3 250	5 290
Cl <sub>2</sub>	mg/l	00	00
Nitrates	mg/l	00	0.001
Nitrites	mg/l	0.06	0.05
Phosphates	mg/l	00	00
Ammonium	mg/l	0.4	0.2
Oxygène dissous	mg/l	9.03	9.01
Aluminium	mg/l	0.05	0.038
Fer	mg/l	0.09	0.03
Matière organique	mg/l	3.2	5.2

**Tableau IV.4: Résultats des analyses physico-chimiques de l'eau de mer et de la saumure.**

Les résultats obtenus pour l'analyse physico-chimique de l'eau de mer et de son rejet, nous révèlent un pH des eaux alcalin. Ces valeurs sont proches aux valeurs du pH de l'eau de mer qui est de 8,3 [35]. On a enregistré de faibles teneurs en aluminium et en fer ainsi que pour les ions ammonium, leurs valeurs restent dans les normes.

La température de l'eau, est un facteur écologique qui entraîne d'importantes répercussions écologiques. Elle agit sur la densité, la viscosité, la solubilité des gaz dans l'eau, la dissociation des sels dissous, de même que sur les réactions chimiques et

biochimiques, le développement et la croissance des organismes vivants dans l'eau et particulièrement les micro-organismes. Les températures enregistrées varient en fonction des périodes de prélèvements, elles oscillent entre 15°C et 20 °C. Ces légères variations de température suivent celles du climat de la région.

La conductivité de la saumure atteint une valeur maximale de 82.9 ms/cm, ce qui la rend très chargée en sels, la conductivité dépend de la concentration en ions.

La salinité de l'eau de mer est de 36600 mg/l et celle de la saumure est très importante qui indique une valeur moyenne de 69000 mg/l, presque le double de la salinité de l'eau de mer, ce qui montre l'efficacité du traitement adapté osmose inverse.

L'eau de mer et la saumure sont très riches en calcium, les valeurs obtenues sont respectivement 2400mg/l et 1600 mg/l. Elles sont très dures, elles présentent un T.H de 1100 °F et 1660 °F respectivement, ces valeurs moyennes sont très élevées, il y a un excès de  $\text{Ca}^{2+}$  et de  $\text{Mg}^{2+}$  liés à  $\text{HCO}_3^-$ . Ces ions sont des sources potentielles d'entartrément selon les conditions de température, de concentration et du pH.

La saumure est très chargée en chlorures 5290 mg/l, presque le double de la quantité de l'eau de mer, cette forte augmentation revient à l'injection d'hypochlorite de sodium qui a pour objectif d'éviter le développement bactériologique. Pa contre, le dosage des phosphates dans les eaux étudiées n'a pas révélé leur présence dans les eaux.

#### IV.4. Analyse bactériologique

Cette analyse ne peut être valablement interprétée que si elle est effectuée sur un échantillon correctement prélevé dans une bouteille stérile.



**Figure IV.8: Prélèvement de l'eau traitée à la station de Tigzirt.**

Pour déterminer les différents types de bactéries (bactéries coliformes, Escherichia coli, entérocoque intestinaux). Stériliser le bassin de filtration avec du benzène et à l'aide

d'une pince stérilisée déposer les membranes de filtration sur le fritté puis prélever d'une manière stérile 100 ml de différents types d'échantillon les verser dans le bassin de filtration. Mettre le robinet en position ouvert

Récupérer les membranes de filtration et les déposer sur différentes boîte de pétri de différents milieu de culture spécifique au type de bactéries. Les mettre dans une étuve à 37°C pendant 24h ou 48h, ensuite compter les colonies de bactéries s'étant développées sur le milieu.



Figure IV.9: Analyse bactériologique.

#### IV.4.1. Résultats des analyses bactériologiques de l'eau traitée

Le tableau IV.5 représente les résultats des analyses bactériologiques de l'eau traitée.

	Unités	Valeurs	Normes OMS
<b>Bactéries coliformes</b>	UFC (unités formats une colonie) /100 ml	00	00 dans 100 ml d'échantillon
<b>Escherichia coli</b>	UFC/100 ml	00	00 dans 100 ml d'échantillon
<b>Entérocoque intestinaux</b>	UFC/100 ml	00	00 dans 100 ml d'échantillon

Tableau IV.5: Résultats bactériologiques de l'eau traitée.

D'après ces résultats, on remarque que l'eau traitée est exempte de bactéries coliforme, Escherichia coli et exempte également des entérocoques intestinaux.

On constate que la qualité microbiologique de ces eaux analysées est satisfaisante et conformément aux exigences normatives OMS.

#### IV.4.2. Résultats des analyses bactériologiques de l'eau de mer et de la saumure

Les résultats de l'analyse microbiologique de l'eau de mer et de la saumure sont illustrés dans le tableau.

	Unités	Eau de mer	Saumure
<b>Bactéries coliformes</b>	UFC/100 ml	43	12
<b>Escherichia coli</b>	UFC/100 ml	11	07
<b>Entérocoque intestinaux</b>	UFC/100 ml	00	00

**Tableau IV.6: Résultats des analyses bactériologiques de l'eau de mer et de la saumure.**

L'analyse bactériologique a montré une contamination dans l'eau de mer. Elle concerne un degré élevé des bactéries coliformes et une quantité légèrement élevée de bactéries E coli, qui sont d'origine fécale et environnementale.

On constate l'absence des entérocoques intestinaux qui résistent mal à la salinité de l'eau de mer.

D'après l'analyse bactériologique de la saumure, on constate une diminution des bactéries coliformes et E coli, qui est due à la chloration.

#### IV.5. Dosage des métaux traces

Les méthodes d'analyses des métaux en traces (Cd, Cr, Cu...), sont celles préconisées par les normes [36] et par [37]. Le dosage des métaux en traces a été effectué sur les échantillons d'eau de mer et de saumure prélevés après leurs filtrations sur filtre cellulosique de 0,45µm selon [37] et leurs stabilisations par HNO<sub>3</sub> 50 % (V/V) à pH=2. Les métaux lourds ont été dosés par spectrométrie d'absorption atomique (SAA) de marque SHIMADZU AA-6800, flamme Air acétylène et est pilotée par un logiciel. Les analyses ont été effectuées au sein de notre laboratoire à l'UMMTO.

Les bouteilles destinées aux analyses des métaux traces ont été nettoyées suivant la méthode décrite par [37]. Les flacons contenant les échantillons d'eaux de mer à analyser ont été décontaminées et contenant l'agent de préservation [0,5 ml de HNO<sub>3</sub> 50 % (V/V) à pH=2), ont été transportés au laboratoire dans des conditions isothermes entre 4°C et 6°C à l'obscurité, puis ont été analysés dans les 24 heures qui suivent.

Les résultats des analyses des éléments traces métalliques étudiées dans les eaux sont représentés dans le tableau IV.7.

Métaux	Unités	Eau de mer	Saumure
<b>Cadmium (Cd)</b>	mg/l	0.0284	0.0134
<b>Chrome (Cr)</b>	mg/l	0.191	0.0042
<b>Nickel (Ni)</b>	mg/l	0.0314	0.025
<b>Cuivre(Cu)</b>	mg/l	00	00
<b>Zinc (Zn)</b>	mg/l	00	00

**Tableau IV.7: Résultats d'analyses des métaux dans l'eau de mer et la saumure.**

Une eau dure n'étant pas aussi corrosive que l'eau douce risque moins de se charger, lors de son passage dans les canalisations en certains métaux potentiellement nocifs tels que, le cadmium, le chrome, nickel, etc. Les résultats révèlent nettement, la présence de ces éléments dans l'eau les échantillons étudiés avec des valeurs non conformes.

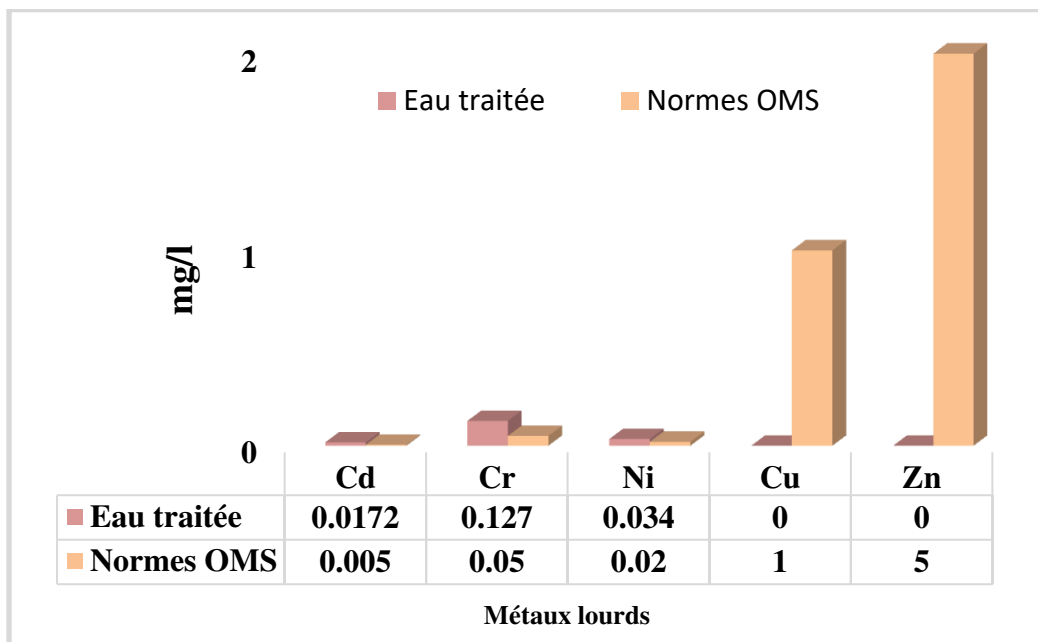
Des métaux, comme le zinc, le nickel, le cadmium, le chrome, ont été étudiés car ils sont connus pour leur action de toxiques cumulatifs, neurotoxiques et néphrotoxiques

Les résultats obtenus montrent que ces micros polluants métalliques, à savoir le chrome, le cadmium et le nickel, existent à des teneurs importantes dans l'eau de mer, ainsi que dans les eaux traitées, elles dépassent le double des teneurs de référence fixées par la norme OMS représentées dans le tableau IV. 8. Ces valeurs élevées sont dues aux rejets des eaux usées urbaines et industrielles pas loin de la station.

Ces métaux posent d'énormes problèmes car ils ne sont pas biodégradables et sont très toxiques même à de très faibles concentrations. Il est donc impératif de réduire au minimum ces rejets afin de préserver et de restaurer l'environnement.

Métaux	Unités	Eau traitée	Normes OMS
Cadmium (Cd)	mg/l	0.0172	0.005
Chrome (Cr)	mg/l	0.127	0.05
Nickel (Ni)	mg/l	0.034	0.02
Cuivre(Cu)	mg/l	00	1
Zinc (Zn)	mg/l	00	5

Tableau IV.8: Résultats d’analyses des métaux dans l’eau dessalée.



L’accumulation de cadmium dans le foie et les reins chez l’homme et une exposition prolongée induit une atteinte rénale, une fragilité osseuse, des troubles de la reproduction ainsi qu’un risque accru de cancer.

Le chrome, par contre, il est toxique sous sa forme hexavalente et peut s'accumuler dans le foie, les reins, la glande thyroïde et la moelle osseuse. Il entraîne des troubles respiratoires, des inflammations des muqueuses et des ulcères.

Le dosage du cuivre et du zinc n’a pas révélé leur présence dans les eaux, ce qui laisse supposer que leurs concentrations sont inférieures, à la limite de détection par absorption atomique.

## **IV.6.Conclusion**

Le dessalement d'eau de mer apporte une solution rapide à la pénurie d'eau douce, mais apporte avec lui beaucoup d'inconvénients tel que :

- Besoin énergétique important. ·
- Utilisation de produits chimiques. ·
- Rejets des saumures concentrées et chaudes dans le cas de la distillation.
- ·Traces de métaux lourds dans les rejets. ·
- Aucune législation spécifique au rejet de saumure.
- Emission de gaz à effet de serre liée à la consommation d'énergie des processus industriels.

Cette étude nous montre que la production d'eau douce par des procédés non conventionnels comme le dessalement de l'eau de mer, est caractérisé par la production en parallèle d'une eau saumure fortement chargée en sel qui a pour conséquence la variation de la composition chimique de l'eau de mer qui altère l'équilibre des écosystèmes et l'environnement marin. La diminution de la concentration en oxygène dissous a une conséquence sur la vie des espèces marines.

Mais malgré tout cela, le meilleur moyen de réduire les effets de la saumure est de traiter cette saumure avant son rejet à la mer. Une sérieuse réflexion doit être engagée en Algérie pour évaluer les coûts de projets pour assurer une gestion fiable des stations de dessalement d'eau de mer et doivent insérer les coûts de traitement des rejets.

# **Conclusion générale**

## **CONCLUSION GENERALE**

L'Algérie a lancé ses dernières années, un programme ambitieux d'installations des stations de dessalement afin de couvrir les besoins en eau qui s'accroissent par l'explosion démographique, le développement industriel et agricole ainsi que la sécheresse. Dans cette initiative, la station de l'eau de mer de la ville de Tizirt s'est lancée pour fournir de l'eau potable pour la population de la région afin de combler le déficit.

A la lumière des résultats obtenus, les eaux issues de dessalement de l'eau de mer présentent une qualité physico-chimique plus ou moins adéquate. Par ailleurs, les analyses chimiques révèlent des teneurs relativement élevées de chrome, cadmium et de nickel vis-à-vis des normes de l'OMS. Ces paramètres constituent un risque imminent pour la santé et la sécurité du consommateur.

Les analyses organoleptiques exposent une eau traitée incolore et limpide et ne présente aucune odeur ou saveur. Les analyses du pH et conductivité électrique révèlent des valeurs conformes aux normes algériennes et celles de l'OMS.

Les teneurs en chlore, phosphates, bicarbonates et nitrites sont conformes aux recommandations soulignées.

Le profil en certains cations et anions spécifiquement le calcium, le magnésium, les nitrates et les phosphates et les ions ammonium témoigne d'une diminution notable quant aux normes algériennes et celles de l'OMS.

L'eau traitée est exempte de bactéries coliforme, *Escherichia coli* et exempte également des entérocoques intestinaux. L'analyse bactériologique a montré une contamination dans l'eau de mer. Elle concerne un degré élevé des bactéries coliformes et une quantité légèrement élevée de bactéries *E coli*, qui sont d'origine fécale et environnementale et absence des entérocoques intestinaux qui résistent mal à la salinité de l'eau de mer.

Les analyses d'autres cations tels que les métaux ou éléments traces témoignent d'une élévation de la teneur en chrome, cadmium, et nickel. Noter que le chrome est hautement toxique. La technique de l'osmose inverse ne permet pas une bonne élimination de ces derniers.

# **Références bibliographiques**

## **Bibliographie**

- [1] Chaplin, M. (2016). Water structure and science, [www1.lsbu.ac.uk/water](http://www1.lsbu.ac.uk/water). Accessed on, 15.
- [2] MAILLARD, H., et MORILLON S. (2013). L'eau source de vie. Association française.
- [3] Morel, J. (2007). Les ressources en eau sur Terre: origine, utilisation et perspectives dans le contexte du changement climatique—un tour d'horizon de la littérature.
- [4] Desjardins, R. (2007), *traitement des eaux*. 2<sup>ème</sup> édition revue et enrichie.
- [5] Anctil, F., Rousselle, J., & Lauzon, N. (2012). *Hydrologie: Cheminements de l'eau*. Presses inter Polytechnique.
- [6] OMS (2006). journal officiel de la république algérienne n°27 (26 avril 2006 p10, 11, 12).
- [7] Rodier J. (1996). L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer, 8<sup>ème</sup> éd. Ed. Dunod, Paris
- [8] Kettab A. (1992). Traitement des eaux : les eaux potables. Ed. Office des publications universitaires
- [9] Rejsek M. (2002). Analyse des eaux, aspect réglementaire et technique, série science et technique de l'environnement, Paris
- [10] Maurel A. (2006). Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres et autres procédés non conventionnels d'approvisionnement en eau douce. Ed. Tec et Doc, 2<sup>ème</sup> éd, Lavoisier, Paris
- [11] DERWICHE. (2010). Caractéristique physico-chimique des eaux de la nappe alluviale du haut Sebou en aval de sa confluence avec oued Fès, Larhyss Journal.
- [12] Desjardins R. (1990). Le traitement de l'eau 2<sup>ème</sup> Ed. Ecole polytechnique de Montréal.
- [13] Rodier J. et al. (2005). L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer, 9<sup>ème</sup> éd, Ed Dunod, paris
- [14] Vilagienes R. (2003). Eau, environnement et santé publique. Introduction à l'hydrologie. Ed. Tec et Doc, 2<sup>ème</sup> éd, Lavoisier, Paris.
- [15] FCE. Formation Continue en Entreprise (ADE). (2003). Les cahiers techniques de stage: Contrôle des paramètres physico-chimiques et bactériologiques d'une eau de consommation.

- [16] Canler, J. P. (2008). Caractérisation des refus de dégrillage des stations d'épuration: étape préliminaire avant la mise en place d'un pilote de traitement.
- [17] Festy, B., Hartemann, P., Ledrans, M., Levallois, P., Payment, P., & Tricard, D. (2003). Qualité de l'eau. *Environnement et santé publique-Fondements et pratiques*, 333-368.
- [18] Poda, J. N. (2007). Les maladies liées à l'eau dans le bassin de la Volta: état des lieux et perspectives. *Volta Basin Focal Project Report*.
- [19] Marcel-M. Chartier. (1974). *Les types de pollution de l'eau*.
- [20] BOEGLIN, J. C. (1999). Pollution industrielle de l'eau: Caractérisation, classification, mesure. *Techniques de l'ingénieur. Technologies de l'eau*.
- [21] Benoît, M., Deffontaines, J. P., Gras, F., Bienaimé, É., & Riela-Cosserat, R. (1997). Agriculture et qualité de l'eau Une approche interdisciplinaire de la pollution par les nitrates d'un bassin d'alimentation. *Cahiers agricultures*.
- [22] Montiel, A., & Welte, B. (1990). Le manganèse dans l'eau-Élimination du manganèse dans l'eau par traitement biologique. *Revue des sciences de l'eau/Journal of Water Science*.
- [23] Directive Cadre européenne sur l'eau. (2000). La pollution des eaux.
- [24] Kaabeche, M. (1990). Les groupements végétaux de la région de Bou ssaàda(Algérie). Essai de synthèse sur végétation steppique de Maghreb.thèse de doctorat.Université de paris sud.
- [25] Marcel-M. Chartier. (1974). les types de pollutions de l'eau.
- [26] Alain Maurel «Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres et autres procédés non conventionnels d'approvisionnement en eau douce», 2<sup>ème</sup> édition.
- [27] journal le Monde. (2019). Dessalement de l'eau : l'ONU alerte sur les quantités de saumure déversées.
- [28] Maurel, A. (2002). Dessalement des eaux de mers et des eaux saumâtres, Editions Lavoisier, Paris.
- [29] Elimelech, M., Phillip, W. A. (2011). The future of seawater desalination : energy, technology, and the environment. *Science*.
- [30] Dawoud Mohamed A. and Al Mulla Mohamed M. (2012). Environmental Impacts of Seawater Desalination: Arabian Gulf Case Study, *International Journal of Environment and Sustainability*.
- [31] Cooley, H., Gleick, P.H. and Wolff, G. (2006). Desalination, with a grain of salt. A California Perspective: Pacific Institute for Studies in Development, Environment and Security: Oakland, California.

- [32] Dawoud, M. A., Al Mulla, M. M. (2012). Environmental impacts of Seawater Desalination : Arabian Gulf Case Study. International Journal of Environment and Sustainability.
- [33] Mabrouk, B. (1994), Environmental impact of waste brine disposal of desalination plants, Red Sea, Egypt.
- [34] Manuel de la station de Tigzirt.
- [35] Aminot A ,kerouel R. (2004). Ifremer Éd. Paris 336.
- [36] Association Française de Normalisation (AFNOR). (1997) 1372. Recueil des Normes françaises Environnement. Tomes 1, 2, 3 et 4.
- [37] Rodier J. Bazin C. Broutin J.P. Chambon P. Champsaur H. Rodi L. (1996) 1383. L'analyse de l'eau, 8ème édition. Dunod Ed., Paris, France.

## **RESUME**

L'objectif de cette étude est de donner un aperçu sur le dessalement et aussi de vérifier l'efficacité des procédés de traitement utilisés par une station de dessalement de l'eau de mer vis-à-vis de certains paramètres physico-chimiques et microbiologiques.

Les résultats obtenus montrent que les eaux issues de dessalement de l'eau de mer présentent une qualité physico-chimique plus ou moins adéquate. Par ailleurs, les analyses chimiques révèlent des teneurs relativement élevées de chrome, cadmium et de nickel vis-à-vis des normes de l'OMS. Les analyses organoleptiques exposent une eau traitée incolore et limpide et ne présente aucune odeur ou saveur. Les teneurs en chlore, bicarbonates et nitrites sont conformes aux recommandations soulignées. Le profil en certains cations et anions spécifiquement le calcium, le magnésium, les nitrates et les phosphates et les ions ammonium témoigne d'une diminution notable quant aux normes algériennes et celles de l'OMS. L'eau traitée est exempte de bactéries coliforme, *Escherichia coli* et également des entérocoques intestinaux. L'analyse bactériologique a montré une contamination dans l'eau de mer. Elle concerne un degré élevé des bactéries coliformes et une quantité légèrement élevée de bactéries *E coli*, qui sont d'origine fécale et environnementale et absence des entérocoques intestinaux qui résistent mal à la salinité de l'eau de mer.

**Mots clés:** Eau, dessalement, qualité, physico-chimique, bactériologique.