



## Département de Technologie chimique industrielle

### Rapport de soutenance

En vue de l'obtention du diplôme  
de Licence professionnelle en :

### Génie chimique

### Thème

**Dessalement de l'eau de mer par l'osmose inverse et  
contrôle de qualité  
(Cas de la station de dessalement UTE Desaladora de Ténès)**

**Réalisée par :**

BOUMOUSA Asmaa

**Encadré par :**

- M<sup>me</sup> BELALIA Fatiha

Enseignante MCB / Institut de technologie-Bouira

- M<sup>elle</sup> BOUZEKRI Abir

Résponsable service de laboratoire / UTE

Desaladora-Chlef (Ténès)

**Corrigé par :**

- M<sup>me</sup> DAIRI Nassima

Maître assistant grade A / Institut de technologie

-Bouira

## **Remerciement**

*Au terme de ce travail, j'exprime mes remerciements à Dieu, qui m'a donné la volonté, le courage et la santé; d'aller au bout de mon objectif notamment, à l'existence de la pandémie COVID 19.*

*Mes premiers remerciements vont envers **Dr F.BELALIA**, qui a accepté de m'encadrer au quotidien au cours de cette année, qui m'a beaucoup aidée, soutenue, conseillée et orientée dans mon travail.*

*Je tiens à exprimer ma gratitude à **M<sup>elle</sup> A.BOUZEKRI** et **Mr M. OUDANE** pour leur modestie, leur aide et leur disponibilité durant la période de stage. Je tiens à remercier tous les techniciens et les ingénieurs de la station de dessalement de l'eau de mer de Ténès.*

*Je remercie sincèrement ceux qui ont, de près ou de loin contribué à la réalisation de ce manuscrit, fruit de mon premier pas dans l'univers de la recherche.*

*Je remercie les membres de jury, d'avoir pris le temps de lire ce rapport, de juger le travail et en acceptant de faire partie du jury.*

*Je tiens à remercier profondément ma mère et ma famille qui m'ont soutenu pendant mes longues études.*

*Je remercie tous les personnes de Département Technologie Chimique Industrielle. Enfin, je n'oublierai pas de remercier mes collègues de Génie Chimique, pour leurs aides et encouragements.*

# Sommaire

**Remerciement**

**Abréviations et symboles**

**Liste des figures**

**Liste des tableaux**

**Introduction ..... 1**

## **Synthèse bibliographique**

### **Chapitre I : Généralités sur le dessalement**

I.1	Propriétés de l'eau de mer .....	3
I.1.1	Définition de l'eau de mer .....	3
I.1.2	Composition de l'eau de mer .....	3
I.1.3	Caractéristiques physico-chimiques de l'eau de mer .....	3
I.2	Dessalement de l'eau de mer .....	6
I.2.1	Définition de dessalement .....	6
I.2.2	Principes de dessalement de l'eau de mer .....	6
I.2.3	Différents procédés de dessalement .....	6
I.2.4	Avantages et inconvénients du dessalement de l'eau de mer .....	12

### **Chapitre II : Description générale de la station de dessalement de l'eau de mer**

II.1	Historique .....	13
II.2	Présentation de la station de dessalement de l'eau de mer de Ténès .....	14
II.2.1	Situation géographique de la station .....	14
II.3	Processus de dessalement appliqué dans la station de dessalement de Ténès .....	16
II.3.1	Captation de l'eau de mer .....	17
II.3.2	Prétraitement .....	18

II.3.3	Système d'osmose inverse .....	20
II.3.4	Post-traitement .....	22
II.3.5	Stockage et pompage d'eau dessalée .....	23

## **Partie Expérimentale**

### **Chapitre III : Matériel et Méthodes**

III.1	Contrôle de qualité.....	24
III.1.1	Eau de mer.....	24
III.1.2	Eau produite .....	28
III.1.3	Saumure.....	33

### **Chapitre IV : Résultats et Discussions**

IV.1	Résultats d'analyses de contrôle de qualité .....	34
IV.1.1	Eau produite : .....	34
IV.1.2	Eau de mer et saumure .....	34
IV.2	Discussion des résultats .....	35
IV.2.1	Eau produite .....	35
IV.2.2	Eau de mer et Saumure.....	36
<b>Conclusion.....</b>		<b>37</b>

## **Références bibliographiques**

## **Annexes**

## **Résumé**

## **Abréviations et symboles**

**pH:** Potentiel d'Hydrogène.

**TDS:** Solides Totaux Dissous.

**MSF :** Multi Stage Flash.

**MED :** Distillation à Multiples Effets.

**MVC :** Compression Mécanique de Vapeur.

**AEC :** Algerian Energy Company.

**RN :** Route Nationale.

**PX :** Echangeur de Pression.

**TSS :** Total des Matières Solides en Suspension.

**DPD :** Diéthyle-p-Phénylène-Diamine.

**N.E.T :** Noir d'Eriochrome T.

**EDTA :** Ethyle Diamine Tétra Acétique.

**TH :** Titre Hydrométrique (la dureté totale).

**TAC :** Titre Alcalimétrique Complet.

**IL :** Indice de Langelier.

**Ppm :** partie par million.

**N :** Normalité.

**NTU:** Unité Néphrélométrique de Turbidité.

**m<sup>3</sup>/j :** Mètre cube par jour.

**m<sup>3</sup>/h :** Mètre cube par jour heure.

**m<sup>2</sup>:** Mètre carré.

**m/h :** Mètre par heure.

**g/l :** gramme par litre.

**mg/l:** milligramme par litre.

**mol/l:** mol par litre.

**µS/cm :** micro siemens par centimètre.

**µm :** micromètre.

**°C :** Degrés Celsius.

## Liste des figures

<b>Figure I-1:</b> Différents procédés de dessalement.....	7
<b>Figure I-2:</b> Principe des phénomènes d'osmose et d'osmose inverse [10] .....	9
<b>Figure I-3:</b> Unité d'osmose inverse [10].....	10
<b>Figure II-1 :</b> Cycle hydrologique : Evaporation- Précipitation- Ruissellement [10] .....	13
<b>Figure II-2:</b> Vue générale de la station de dessalement-Ténès .....	14
<b>Figure II-3:</b> Situation géographique de la station .....	15
<b>Figure II-4:</b> Organigramme de la station de dessalement-Ténès .....	15
<b>Figure II-5:</b> Processus de dessalement de l'eau de mer .....	16
<b>Figure II-6:</b> Filtres fin rotatifs (Baudry) .....	17
<b>Figure II-7:</b> Bâtiment de pompage d'eau de mer .....	17
<b>Figure II-8:</b> Injection du chlore au niveau de prise d'eau de mer.....	18
<b>Figure II-9:</b> Filtres à sable au niveau de la station UTE Desaladora-Ténès .....	19
<b>Figure II-10:</b> Filtres à cartouche au niveau de la station UTE Desaladora-Ténès.....	20
<b>Figure II-11:</b> Installation d'osmose inverse .....	21
<b>Figure II-12:</b> Système du dosage et saturation de la chaux .....	22
<b>Figure III-1 :</b> Appareil multi-paramètre .....	25
<b>Figure III-2:</b> Spectrophotomètre.....	27
<b>Figure III-3:</b> Dosage de chlorure .....	28
<b>Figure III-4:</b> Turbidimètre .....	29
<b>Figure III-5:</b> Colorimètre .....	30
<b>Figure III-6:</b> Dosage de la dureté totale.....	31
<b>Figure III-7:</b> Dosage de calcium et de magnésium.....	32
<b>Figure III-8:</b> Dosage de l'alcalinité .....	33

## **Liste des tableaux**

<b>Tableau I-1:</b> Teneur en salinité de l'eau de mer .....	4
<b>Tableau I-2:</b> Avantages et inconvénients de procédé de distillation .....	8
<b>Tableau I-3 :</b> Avantages et inconvénients de procédé d'osmose inverse .....	11
<b>Tableau IV-1 :</b> Analyses de l'eau produite .....	34
<b>Tableau IV-2:</b> Aanalyses de l'eau de mer et la saumure .....	34

# **Introduction**

### Introduction

La pénurie en eau semble devenir une perspective inquiétante pour l'humanité. Aujourd'hui les pays en situation de stress hydrique sont de plus en plus nombreux tandis que les besoins ne cessent de grandir. Face à ce constant, nombre de solutions techniques ont été apportées dont celle du dessalement de l'eau de mer. Cette activité est en pleine expansion du fait d'une amélioration constante des techniques et d'un coût de plus en plus réduit [1].

L'Algérie l'une des pays qui ont fait appel à cette technique pour répondre à l'insuffisance de la disponibilité des ressources en eau, le recours au dessalement de l'eau de mer par des procédés membranaires et précisément l'osmose inverse est la solution qui a été envisagée pendant ces dernières années.

L'objectif de la réalisation de ce travail est de suivre le procédé de dessalement de l'eau de mer par la technique d'osmose inverse, et de contrôler sa qualité tout en passant par l'eau brute, l'eau produite et la saumure.

Ce travail s'organise donc autour de quatre chapitres :

Le rapport démarre par une introduction générale qui est surtout destinée à décrire et exposer le problème considéré et préciser l'objectif de cette étude.

- Le premier temps, nous présentons une synthèse bibliographique sur un certain nombre de généralités sur les propriétés de l'eau de mer et les différents procédés de dessalement de l'eau de mer;
- La deuxième partie comporte la présentation de la station de dessalement de l'eau de mer de Ténès suivi par la description du procédé de dessalement par la technique d'osmose inverse;
- Le troisième chapitre qui est la partie expérimentale, elle est consacrée aux méthodes et matériels usagés pour le contrôle physico-chimique de l'eau obtenu ;
- Le dernier chapitre est réservé aux résultats obtenus et la discussion, en comparant ces valeurs aux normes algériennes.

Enfin, une conclusion générale récapitule les principaux résultats obtenus au cours de ce travail

On a été réalisé au niveau du site du traitement d'eau de mer au sein de la station de dessalement de l'eau de mer de Ténès (wilaya de Chlef) durant la période février – mars de l'année 2020.

**Synthèse**  
**bibliographique**

# **Chapitre I :**

# **Généralités sur le**

# **dessalement**

## I.1 Propriétés de l'eau de mer

### I.1.1 Définition de l'eau de mer

L'eau de mer est l'eau salée des milieux marins et océaniques. Elle est une solution complexe qui contient tous les éléments essentiels la vie (calcium, silicium, carbone, azote, phosphore, oligo-éléments) et des matières organiques (teneur comprise entre 0,5 et 2 mg) [2].

### I.1.2 Composition de l'eau de mer

L'eau de mer est constituée essentiellement d'eau pure ( $H_2O$ ), mais contient tout de même une concentration en sels excessive ainsi que de diverses substances en faible quantité pour la consommation et l'agriculture.

L'eau de mer est considérée comme une solution de onze constituants majeurs qui sont par ordre décroissant d'importance, le chlorure ( $Cl^-$ ), l'ion sodium ( $Na^+$ ), le sulfate, l'ion magnésium ( $Mg^{2+}$ ), l'ion calcium ( $Ca^{2+}$ ), l'ion potassium ( $K^+$ ), le bicarbonate ( $HCO_3^-$ ), le bromure ( $B^-$ ), l'acide borique, le carbonate ( $CO_3^{2-}$ ) et le fluorure ( $F^-$ ).

Les deux principaux sels sont ( $Na^+$ ) et ( $Cl^-$ ), qui en s'associant forment le chlorure de sodium principal constituant du « sel marin », que l'on extrait dans les marais salants pour obtenir du sel alimentaire. (Voir annexe N°1)

Les gaz dissous comprennent principalement : 64% d'azote, 34% d'oxygène, 1,8% de dioxyde de carbone (soit 60 fois la proportion de ce gaz dans l'atmosphère terrestre) [2].

Les nombreux oligo-éléments sont importants pour l'équilibre du milieu marin. Présents à des concentrations infimes, certains sont toxiques à hautes doses. C'est le cas de l'arsenic, du mercure ou encore du plomb.

La composition de l'eau de mer est toujours la même. Seule la quantité des sels dissous varie en fonction du relief, de l'environnement ou du climat.

### I.1.3 Caractéristiques physico-chimiques de l'eau de mer

#### I.1.3.1 Salinité

En eau de mer la salinité est l'un des paramètres les plus importants, elle mesure la teneur en sels de toute nature dissous dans l'eau (chlorures de sodium et de magnésium, sulfates, carbonates). Elle s'exprime en g/L ou mg/L ou encore la ppm.

La salinité de l'eau de mer est comprise entre 30 et 40 g/L, 35 g/L en moyenne, mais elle peut être modifiée par l'apport d'eau douce des grands fleuves près des estuaires (eaux moins salées à l'Équateur qu'en mer Baltique). Elle peut être modifiée également par le climat car les régions humides sont moins salées que les régions chaudes soumises à une évaporation plus importante (mer Méditerranée, mer Rouge) (Voir annexe N°2) [2].

**Tableau I-1:** Teneur en salinité de l'eau de mer

<b>Eau de mer</b>	<b>Salinité (g/L)</b>
Océan Atlantique	35
Mer Méditerranée	38
Mer Rouge	≥ 40
Golfe Persique	≥ 46

### **I.1.3.2 Alcalinité**

L'alcalinité de l'eau de mer, également appelée réserve alcaline, se mesure par la quantité d'acide fort qu'il faut ajouter à l'échantillon d'eau considéré pour ramener son pH à une valeur égale ou légèrement inférieure à 7. Comptée en milliéquivalents grammes par litre, elle correspond à la somme des concentrations des anions carbonates, bicarbonates et des acides faibles, ainsi que de l'excès d'ions OH [3].

### **I.1.3.3 Température**

La température des océans est directement liée aux échanges thermiques entre les masses d'eau océaniques et l'environnement. Plusieurs facteurs provoquent son élévation : absorption de radiation solaire, flux de chaleur de l'intérieur de la terre transmise par le fond océanique, condensation de la vapeur d'eau...etc.

A l'échelle terrestre, les températures des eaux de surface ont une tendance à la répartition par zones suivant la latitude, comme la salinité : les températures les plus hautes se trouvent dans les zones tropicales (en moyenne 27°C) et les plus basses dans les régions polaires (minimum -2°C) (3).

#### **I.1.3.4 Conductivité électrique**

La conductivité de l'eau de mer est très élevée en raison de la forte concentration en sels dissous. Du fait de la proportionnalité des concentrations des différents ions, la conductivité permet de déterminer la salinité avec une grande précision [4].

La compressibilité de l'eau de mer (environ 4% pour 1000 bar) et la modification de la mobilité des ions qu'elle apporte, accroît la conductivité de l'eau de mer. Cette augmentation de conductivité dépend de la température de l'eau et la salinité [3].

#### **I.1.3.5 Potentiel d'hydrogène**

L'eau de mer est faiblement alcaline et son pH moyen est de 8,2 avec des variations entre 7 et 8,4.

Les variations de pH ont une analogie avec celle de l'oxygène dissous. Ceci s'explique en considérant l'activité photosynthétique de certains organismes: une forte production d'oxygène s'accompagne d'une diminution de la teneur en CO<sub>2</sub> et par conséquent d'une augmentation du pH, l'oxydation de la matière organique diminue la teneur en oxygène de l'eau en produisant du CO<sub>2</sub> et par conséquent abaisse le pH [3].

#### **I.1.3.6 Matières en suspension**

Les matières peuvent être d'origine minérale ou organique. Ailleurs, selon la nature des côtes et le fond marin, les matières en suspension peuvent être des sels minéraux précipités, des squelettes planctoniques, des fragments minéraux et aussi des organismes vivants.

Les teneurs les plus élevées sont rencontrées au voisinage des estuaires et près des plages. Cette teneur varie également avec la profondeur d'eau. Près de la surface, on trouve en grande quantité des micro-organismes marins. Il est toujours possible de trouver un niveau entre la surface et le fond où la teneur en matières en suspension est minimale. Donc, la teneur en matières en suspension de l'eau de mer varie en endroit à l'autre [3].

## I.2 Dessalement de l'eau de mer

### I.2.1 Définition de dessalement

Le dessalement est le processus d'élimination des solides dissous de l'eau de mer et de l'eau saumâtre pour produire de l'eau potable. La quantité de sel dans l'eau est généralement décrite par la concentration du total des solides dissous (TDS) dans l'eau. Le TDS se réfère à la somme de tous les minéraux, métaux, cations et anions dissous dans l'eau ce qui définit la salinité de l'eau [5].

### I.2.2 Principes de dessalement de l'eau de mer

Quel que soit le procédé de séparation du sel et de l'eau envisagé, toutes les installations de dessalement comportent 4 postes principaux :

- Une prise d'eau de mer avec une pompe et une filtration grossière;
- Un prétraitement avec une filtration plus fine, l'addition de composés biocides et de produit anti-tarte;
- Le procédé de dessalement lui-même;
- Le poste de traitement avec une éventuelle reminéralisations de l'eau produite [6].

### I.2.3 Différents procédés de dessalement

Les différents procédés de dessalement peuvent être classés en trois grandes familles:

- ☞ Les procédés faisant intervenir un changement de phase (évaporation et congélation);
- ☞ Les procédés utilisant des membranes (électrodialyse et osmose inverse);
- ☞ Les procédés chimiques (échange d'ions et extraction par solvant).

Parmi ces procédés, 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 sur le marché mondial du dessalement et représentent à eux seuls plus de 80 % de la capacité totale de dessalement installée dans le monde.

D'autres procédés de dessalement de l'eau utilisant une énergie renouvelable telle que: l'énergie solaire, éolienne et géothermale, qui ont fait récemment l'objet de travaux, vu leurs intérêts économique et environnemental [7].

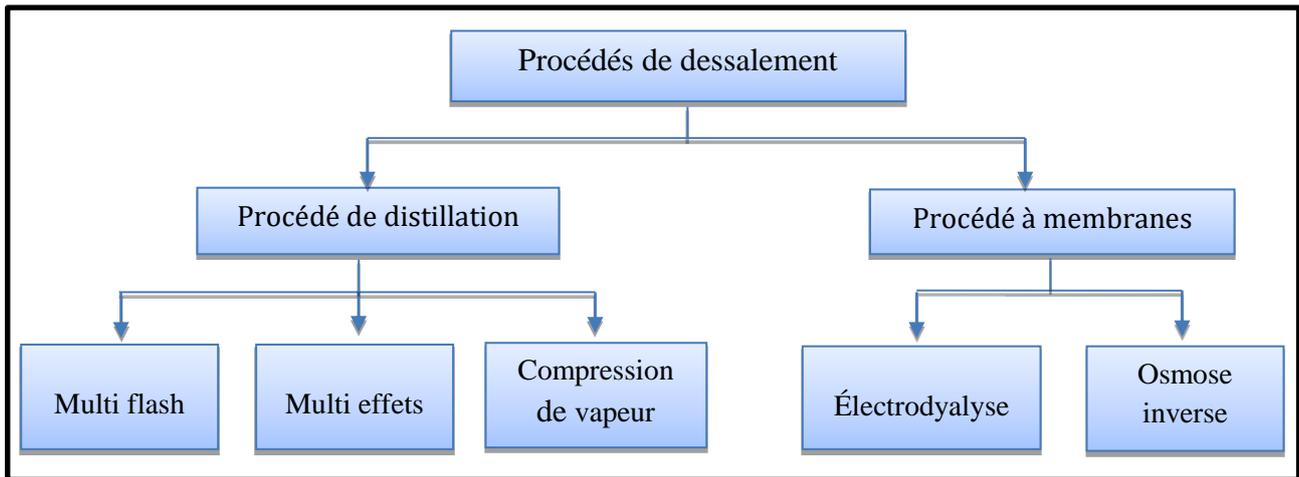


Figure I-1 : Différents procédés de dessalement

### I.2.3.1 Procédé de distillation

La distillation est la technique de dessalement de l'eau de mer la plus ancienne. Elle s'appuie sur les propriétés d'évaporation-condensation de l'eau: le chauffage de la solution à purifier permet la vaporisation de l'eau et sa récupération par condensation. Elle conduit à la production d'une eau pure et d'une solution concentrée.

Ce procédé thermique est un grand consommateur d'énergie. En effet, la vaporisation d'un volume d'eau salée exige une quantité de chaleur importante pour augmenter la température jusqu'à ébullition puis pour vaporiser l'eau.

L'apport de chaleur nécessaire dépend en fait des conditions de température et de pression: à une pression inférieure à la pression atmosphérique, la quantité de chaleur à fournir est moindre car la température d'ébullition de l'eau est plus basse.

L'ajustement des conditions de pression et de température, les principes de la distillation en série et de la récupération d'énergie calorifique ont été utilisés pour optimiser le procédé de distillation simple, qui pâtit en outre de rendements faibles [8].

L'optimisation de la consommation énergétique et du rendement, nécessaire pour assurer un intérêt économique à la distillation, a conduit aux techniques actuelles. Les plus utilisées sont :

- La distillation multi-flash (MSF);
- La distillation à multiples effets (MED);
- La compression mécanique de vapeur (MVC).

Tableau I-2: Avantages et inconvénients de procédé de distillation

	Avantages	Inconvénients
<b>Distillation</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Indépendance à la variation de la qualité d'eau brute;</li> <li>▪ Utilisation pour des grandes capacités de production d'eau;</li> <li>▪ Exploitation relativement aisée;</li> <li>▪ Une eau produite présentant un taux des solides dissous faible.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Un taux de conversion bas (inférieur à 35%);</li> <li>▪ Une consommation spécifique d'énergie relativement élevée;</li> <li>▪ Une non flexibilité par rapport à la variation de la demande en eau;</li> <li>▪ Un coût d'investissement élevé.</li> </ul>

### I.2.3.2 Procédé d'osmose inverse

L'osmose inverse est un procédé membranaire, consistant à forcer l'eau sous pression à travers une membrane : comme seules les molécules d'eau traversent la membrane (les sels en dilution sont retenus) on obtient de l'eau douce [1].

#### a) Principe de fonctionnement

L'osmose est basée sur le principe fondamental de l'équilibre. Lorsque deux liquides contenant différentes concentrations de solides dissous sont mis en contact, ceux-ci se mélangent jusqu'à uniformisation des concentrations. Lorsque ces deux liquides sont séparés par une membrane semi-perméable (laquelle laisse passer les liquides tandis que les solides dissous restent dans leur compartiment), le liquide contenant la plus faible concentration de solides dissous va traverser la membrane pour aller dans le liquide contenant la plus forte concentration de solides dissous. Après un temps donné, le niveau de l'eau sera plus élevé d'un côté de la membrane. La différence de hauteur est appelée pression osmotique.

En appliquant une pression supérieure à la pression osmotique, l'effet inverse se produit. Les liquides sont refoulés au travers de la membrane, laissant les solides dissous derrière.

Pour purifier l'eau à l'aide de membrane d'osmose inverse, l'effet d'osmose naturel doit être inversé. Afin de forcer l'eau de la solution saumâtre (concentration en sels élevée) à aller dans la solution douce (concentration en sels basse), l'eau doit être pressurisée à une pression d'opération supérieure à la pression osmotique. Par conséquent, la saumure devient plus concentrée [9].

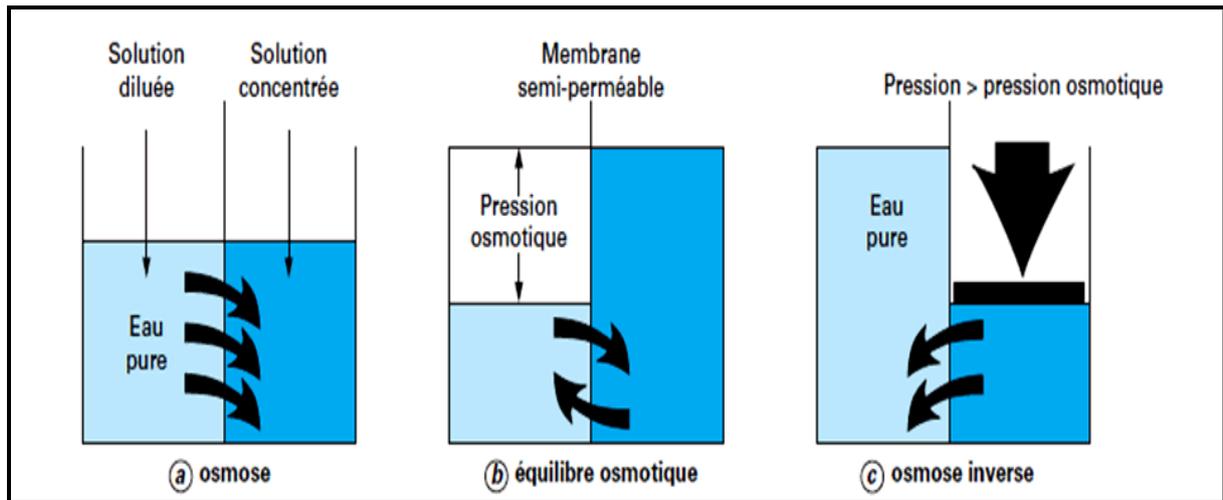


Figure I-2: Principe des phénomènes d'osmose et d'osmose inverse [10].

### b) Pression osmotique et pression de fonctionnement

La pression osmotique est en effet nécessaire pour déterminer la pression de fonctionnement d'une unité d'osmose inverse: du choix de la pression de fonctionnement vont dépendre, d'une part, la consommation d'énergie du procédé et, d'autre part, la surface de membranes et par conséquent l'investissement [11].

### c) Paramètres de fonctionnement d'une osmose inverse

Les principaux paramètres de fonctionnement d'une unité d'osmose inverse sont :

- ☞ La pression osmotique;
- ☞ Débit de l'eau osmosée et d'eau concentrée;
- ☞ Le taux de conversion et le taux de rejet;
- ☞ Le passage en sel et la salinité du perméat.

### d) Éléments constitutifs d'une unité d'osmose inverse

Une installation d'osmose inverse se compose d'au moins 5 parties :

- ☞ Un poste de prétraitement : l'eau est traitée au préalable à l'aide de filtre, comme le sable, pour éviter que trop de particules s'accumulent au niveau des membranes très fragiles et que le passage ne s'effectue plus ;
- ☞ Une pompe haute pression : permet d'injecter l'eau de mer dans le module d'osmose inverse dans lequel se trouvent les membranes ;
- ☞ Un module d'osmose inverse : contenant la membrane (film fin en polyamide enroulée) ;

Dans les usines, le dessalement par osmose inverse est réalisé grâce à des tubes constitués de membranes enroulées. L'eau à dessaler circule entre ses membranes et grâce à la pression exercée par la pompe à haute pression, seules les molécules d'eau traversent ces membranes pour se retrouver au centre du tube. L'eau pure est ensuite récupérée.

- ☞ Un système de récupération d'énergie ;
- ☞ Un post-traitement : après dessalement, l'eau doit être reminéralisée notamment en calcium et bicarbonate, ainsi qu'une légère chloration [12].

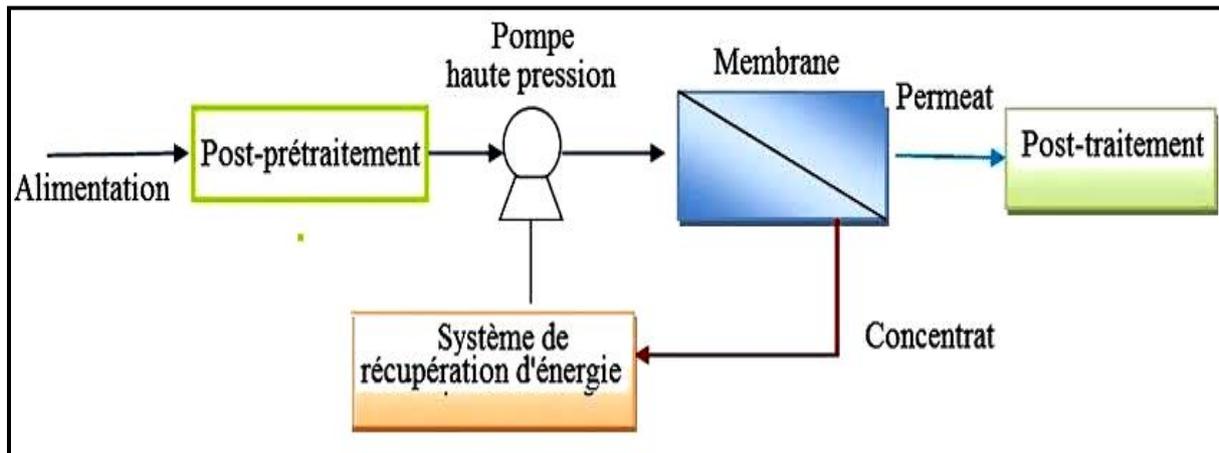


Figure I-3: Unité d'osmose inverse [10].

#### e) Modules d'osmose inverse

Pour être mises en œuvre, les membranes doivent être montées dans des supports appelés modules. Actuellement, quatre types de modules sont commercialisés: modules tubulaires, modules fibres creuses, modules plans et modules spirales. Plusieurs critères sont à prendre en compte pour le choix d'un type de module tels que:

- Les conditions de transfert optimal ;
- La surface spécifique d'échange élevée ;
- L'investissement minimal et le coût de fabrication ;
- La simplicité de mise en œuvre et la durée de vie des membranes ;
- L'entretien aisé (nettoyage, démontage, remplacement des membranes) [13].

#### f) Limitation de l'osmose inverse

Souvent, les procédés membranaires notamment l'osmose inverse rencontre des problèmes de fonctionnement parfois sévères. Les principaux problèmes sont : le colmatage, l'entartrage et la corrosion [14].

### 1) Colmatage

Le colmatage est défini comme l'accumulation de la matière à la surface de la membrane. Les eaux naturelles contiennent la plupart du temps des matières organiques en suspension qui vont avoir tendance à se déposer sur les surfaces d'échanges et à les colmater. Cela provoque une augmentation de la résistance de transfert et une diminution de la capacité de production de l'installation [14].

### 2) Entartrage

L'entartrage des membranes correspond à la formation d'un dépôt de sels minéraux. C'est un phénomène qui se produit sur les surfaces d'échange, il est causé par:

- Le dépassement de la limite de solubilité des composants inorganiques, c'est-à-dire qu'il y a une sursaturation ;
- L'augmentation rapide de la vitesse de déposition ;
- Les sels sursaturés vont précipiter sur la surface de la membrane et construire une couche fine qui bloque le transfert de matière à travers la membrane [14].

### 3) Corrosion

C'est la conséquence de l'agressivité marquée de l'eau de mer aux températures élevée, elle s'explique par la teneur élevée en ions de chlorures qui facilitent le développement d'effet galvaniques favorisé par la présence d'oxygène dissous, des bactéries, d'organismes marins divers et de sulfure d'hydrogène [14].

**Tableau I-3 :** Avantages et inconvénients de procédé d'osmose inverse

	Avantages	Inconvénients
<b>Osмосe inverse</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Une faible consommation énergétique grâce à la mise en place de systèmes de récupération d'énergie;</li> <li>▪ Un taux de conversion élevé (supérieur à 55%) ;</li> <li>▪ Un coût d'investissement relativement bas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Sensibilité à la variation de la qualité d'eau brute et surtout aux pollutions;</li> <li>▪ Exploitation relativement difficile surtout au niveau du prétraitement;</li> <li>▪ La dégradation des membranes: on tient compte en moyenne d'une durée de vie des membranes de l'ordre de 3 ans.</li> </ul>

### I.2.4 Avantages et inconvénients du dessalement de l'eau de mer

Le dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres a connu ces dernières années une avancée remarquable grâce au développement de différents procédés.

Les principaux avantages du procédé de dessalement sont :

- Disponibilité de l'eau de mer, ressource inépuisable;
- Une population et une industrie grandes consommatrices d'eau se trouvant à proximité de la mer;
- Disponibilité de la ressource énergétique ou combinaison de sa production ;
- L'irrigation à base d'eau dessalée est bénéfique pour l'environnement car elle permet une salinisation réduite du sol.

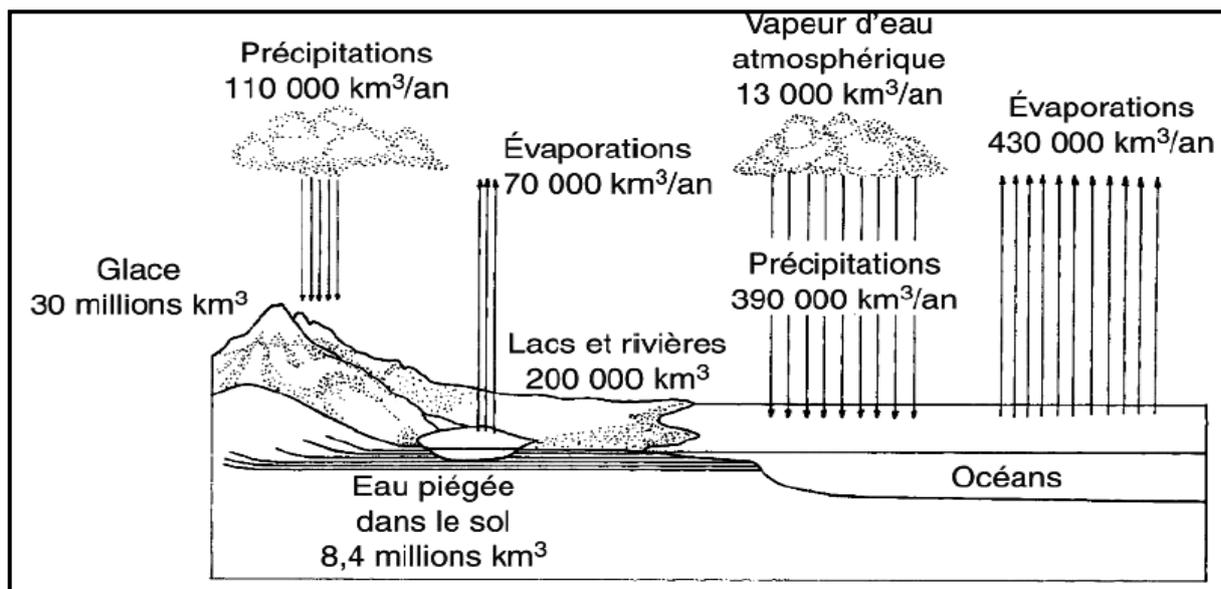
Malgré que le dessalement de l'eau de mer apporte une réponse aux besoins d'eau, quel que soit le procédé utilisé il n'est pas sans inconvénients :

- Coût énergétique encore élevé ;
- Rejet des saumures concentrées au double de la salinité naturelle en mer ou injectées dans le sol ;
- Rejet d'eaux chaudes en mer dans le cas de la distillation ;
- Emploi de produits chimiques pour nettoyer les membranes (chlore) ;
- Traces de cuivre échappés des installations ;
- Aucune législation spécifique concernant la potabilité de l'eau issue de ces traitements [15].

**Chapitre II :**  
**Description générale**  
**de la station de**  
**dessalement de l'eau**  
**de mer**

## II.1 Historique

L'idée d'extraire de l'eau potable à partir de la mer n'est d'ailleurs pas nouvelle. La nature le fait depuis toujours à travers le cycle naturel de l'eau. Sous l'effet du soleil, les océans s'évaporent, la vapeur d'eau forme des nuages qui provoquent des précipitations de pluie ou de neige dès que les masses d'air humide atteignent des régions plus froides. L'eau des précipitations est pure car le sel contenu dans la mer n'étant pas volatil, seule l'eau s'évapore.



**Figure II-1** : Cycle hydrologique : Evaporation- Précipitation- Ruissellement [10].

Dessaler l'eau de mer n'est pas une idée récente. Depuis des temps très anciens, on avait pu constater que si l'on portait à ébullition de l'eau saline on obtenait, par condensation de la vapeur, de l'eau déminéralisée. Les premiers appareils industriels de distillation sont apparus probablement dans la première moitié du XIX<sup>e</sup> siècle à bord des navires à vapeur. Mais c'est durant la seconde moitié du XX<sup>e</sup> siècle et plus particulièrement entre 1975 et 2000 que le dessalement de l'eau de mer et des eaux salines est devenu un moyen industriel fiable de production d'eau douce [10].

Puis, autour de 1959, un procédé appelé osmose inverse a été mis au point à l'Université de Californie dans le prolongement de la méthode plus ancienne de séparation des sels contenus dans les mélasses et des colloïdes, à l'origine du terme osmose. Il s'agit d'un procédé membranaire : l'eau douce est extraite de l'eau salée à travers une membrane semi-poreuse, en appliquant une pression. Les premières membranes commerciales datent de 1970 [16].

## II.2 Présentation de la station de dessalement de l'eau de mer de Ténès

La station de dessalement de l'eau de mer de Ténès est l'une des grandes usines de dessalement en Algérie avec une capacité de production de 200.000 m<sup>3</sup>/jour. En effet, ce projet contribue à répondre au problème de la pénurie des ressources en eau douce de la wilaya de Chlef et qui alimente 32 communes de la wilaya. Cette station est basée sur la technique d'osmose inverse qui a connu un grand développement et présente beaucoup d'avantages.

L'unité a été mise en service en juin 2015 et permettra d'alimenter en eau potable, l'exploitation de l'unité est fait par le sous désignent UTE Desaladora Ténès.

L'eau produite est vendue à la société algérienne des eaux qui représente l'acheteur selon un contrat de vente d'eau passée entre l'investisseur, la société du projet et l'acheteur.

L'investissement a été réalisé par la société Algerian Energy company (AEC - société mixte SONATRACH et SONELGAZ) avec 49% et l'entreprise espagnole «ABENGOA» avec 51% de cet investissement [2].



Figure II-2: Vue générale de la station de dessalement-Ténès

### II.2.1 Situation géographique de la station

Le site de la station de dessalement d'eau de mer de Ténès est localisé dans la zone d'expansion touristique de Mainis à 6 Km de sortie ouest de la ville de Ténès et à 60 Km au nord de la ville de Chlef, il est sillonné par la route nationale RN°11 en provenance de Mostaganem et en direction de Tipaza [17].

Le site considéré pour l'implantation de l'unité de dessalement offre une superficie des 8 hectares, il est limité par :

- Au Nord : par la mer méditerranée ;
- Au Sud : par la route nationale RN°11 ;
- A l'Ouest par une petite unité de dessalement 5000 m<sup>3</sup>/j ;
- A l'Est : par les habitations de Mainis [2].

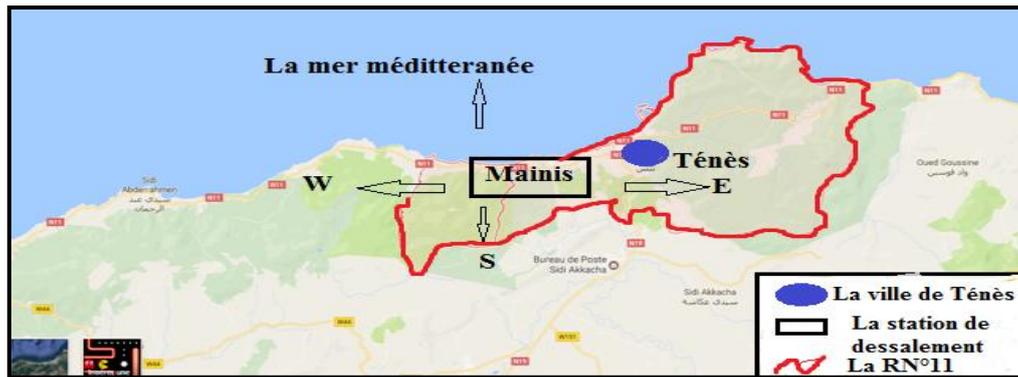


Figure II-3 : Situation géographique de la station

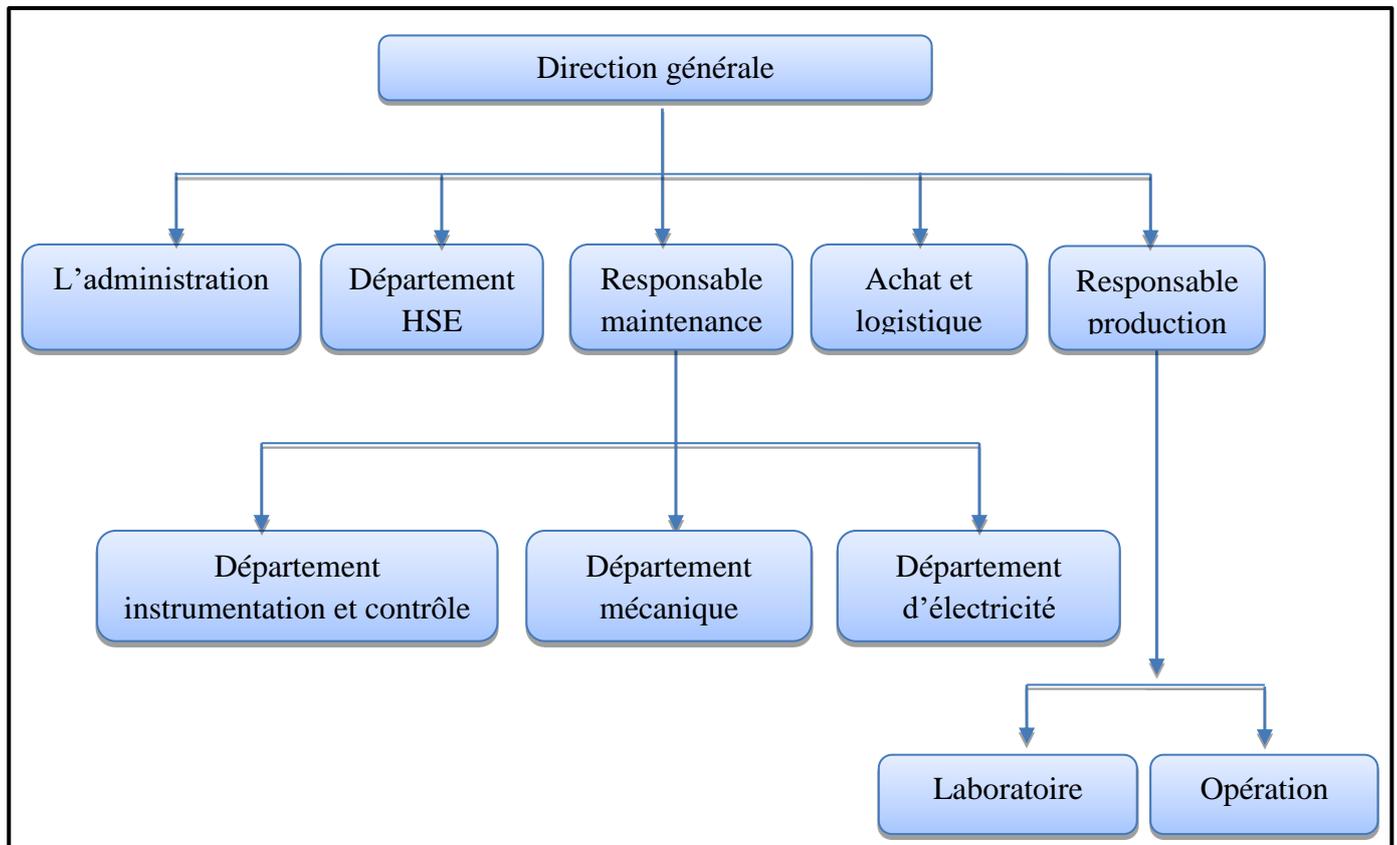


Figure II-4: Organigramme de la station de dessalement-Ténès

### II.3 Processus de dessalement appliqué dans la station de dessalement de Ténès

Le schéma qui suit résume les étapes dans une unité de dessalement de l'eau de mer par le procédé d'osmose inverse :

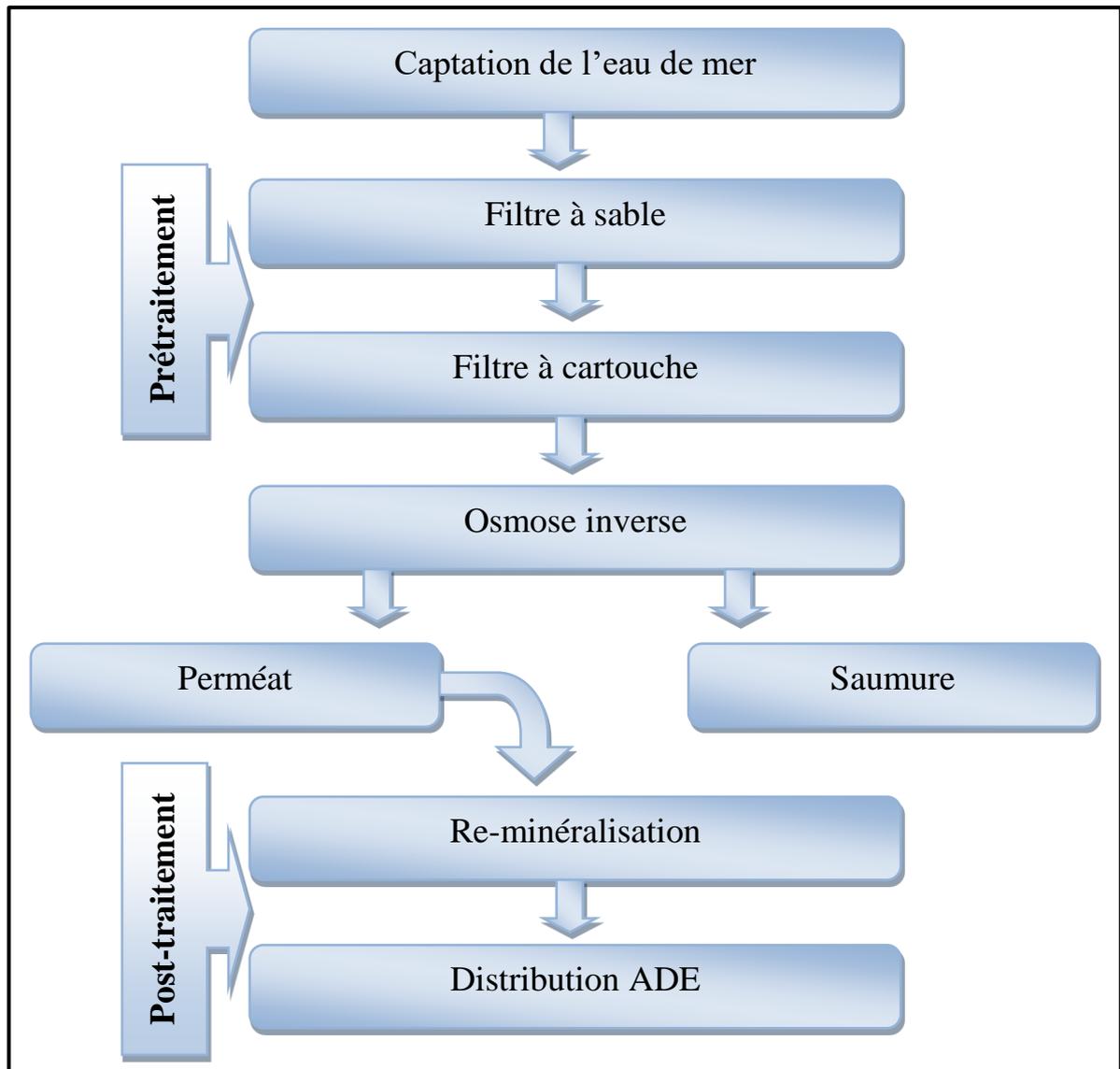


Figure II-5: Processus de dessalement de l'eau de mer

### II.3.1 Captation de l'eau de mer

#### II.3.1.1 Prise directe

Une tour de prise d'eau de mer assure l'alimentation en eau de mer, cette dernière s'écoule par gravité dans un réservoir de réception (bassin souterrain), ensuite elle traverse deux gros dé-grilleurs et des filtres fin rotatifs (Baudry). Ce système de filtration de l'eau de mer empêchera le passage de débris, des algues, des poissons et d'autres éléments de la vie marine. Le captage est effectué en zone profonde d'environ 10 m et éloignée de la côte à 600m.



Figure II-6: Filtres fin rotatifs (Baudry)

#### II.3.1.2 Pompage d'eau de mer

Le pompage se fait par l'ensemble des pompes (4 pompes en service et 1 en secours), chacune d'une capacité de pompage de  $19.517 \text{ m}^3/\text{h}$  avec une pression de 2 bar dont le but de transporter l'eau d'alimentation à l'étape suivante.



Figure II-7: Bâtiment de pompage d'eau de mer

### II.3.2 Prétraitement

Le prétraitement de l'eau de mer est une étape essentielle. Elle consiste le plus souvent à débarrasser de l'eau : des solides en suspension, des matières organiques, des bactéries, des algues. Elle est nécessaire pour éviter :

- L'incrustation ;
- L'encrassement ;
- La dégradation des membranes d'osmose inverse.

L'eau doit donc être conditionnée en la soumettant à une série de traitement qui répond globalement à deux types :

- Physique, destinés à éliminer fondamentalement les éléments solides, les algues et les matières organiques ;
- Chimique, pour éviter des attaques à la membrane ou des précipités de sels sur cette dernière [18].

#### II.3.2.1 Prétraitement chimique

##### a) Chloration

On effectue une chloration de l'eau brute, ceci est injecté en dosant de l'hypochlorite de sodium dans la structure de prise d'eau de mer.

Cette injection a pour but de désinfecter et stériliser l'eau afin de limiter le colmatage biologique.

La base du processus de désinfection est la formation d'acide hypochloreux qui possède une action biocide.

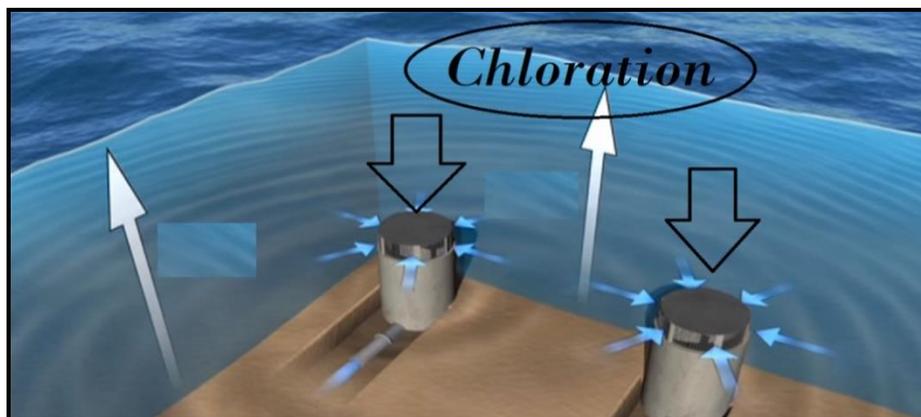


Figure II-8: Injection du chlore au niveau de prise d'eau de mer

### b) Injection de méta-bisulfite de sodium

Compte tenu de la sensibilité des membranes d'osmose inverse en polyamide, il est indispensable d'assurer un dé-chloration de l'eau de mer.

L'utilisation du méta-bisulfite de sodium ( $\text{Na}_2\text{O}_5\text{S}_2$ ) permet d'éliminer le chlore résiduel contenu dans l'eau de mer avant son arrivée aux membranes d'osmose inverse pour éviter leur détérioration par oxydation.

### c) Injection d'antitartre

La méthode la plus utilisée pour éviter les tartres (le carbonate de calcium, le sulfate de calcium...etc.) dans les modules d'osmose inverse est d'injecter dans l'eau brute des inhibiteurs d'entartrage ou antitartres pour la protection des membranes.

## II.3.2.2 Prétraitement physique

### a) Filtre à sable

La filtration se fait par gravité qui consiste à éliminer la plupart des particules en suspension, huile et graisses qui restent dans l'eau de mer et produit une eau filtrée à basse turbidité prête pour l'étape d'osmose inverse.

Ce système contient 36 filtres qui sont distribués d'une surface unitaire de  $92 \text{ m}^2$  avec une vitesse de filtration de  $5.77 \text{ m/h}$  et une longueur de  $11,9 \text{ m}$ , une largeur de  $7,9 \text{ m}$ .

Chaque filtre contient une couche supérieure de  $600 \text{ mm}$  de hauteur d'anthracite de  $0.4$  à  $1.6$  de diamètre pour enlever l'odeur et la couleur, une couche intermédiaire de  $400 \text{ mm}$  de hauteur de sable de  $0.4$  à  $0.8$  de diamètre et une couche inférieure de gravier de  $100 \text{ mm}$  de hauteur et d'une taille effective de  $1.4$  à  $2.5 \text{ mm}$



**Figure II-9:** Filtres à sable au niveau de la station UTE Desaladora-Ténès

### b) Filtre à cartouche

C'est une microfiltration assurée par des filtres à cartouches de nombre 22 filtres comportant 300 cartouches chacun, dont 10 filtres pour l'alimentation des pompes à haute pression et 12 filtres pour le courant d'alimentation aux récupérateurs d'énergie.

Le but de cette filtration est d'éliminer les particules supérieures à  $5\mu\text{m}$  et protéger le système d'osmose inverse.



**Figure II-10:**Filtres à cartouche au niveau de la station UTE Desaladora-Ténès

### II.3.3 Système d'osmose inverse

Le cœur de procédé de dessalement de l'eau de mer est le procédé d'osmose inverse. Cela consiste en une pompe à haute pression et des membranes d'osmose inverse suivie d'un système de récupération d'énergie.

#### II.3.3.1 Pompage à haute pression

Les pompes à haute pression des membranes d'osmose inverse doivent permettre d'assurer un débit d'eau à une pression donnée, tout en absorbant le minimum d'énergie.

Le pompage d'eau de mer est réalisé grâce à 5 pompes dont 4 pompes sont fonctionnées et une en secours. Chaque pompe alimente 3 racks d'osmose inverse avec une pression moyenne de 65 bar.

#### II.3.3.2 Système de membranes d'osmose inverse

L'eau refoulée vers les membranes d'osmose inverse sous pression à travers des pompes à haute pression, ce qui nécessite une importante consommation d'énergie de tous les équipements de la station.

La solution à traiter se divise au niveau de la membrane en deux parties de concentrations différentes :

- Une partie qui passe à travers la membrane, c'est le filtrat ;
- Une partie qui ne passe pas à travers la membrane appelée retentât ou concentrât [19].

L'installation se compose de 12 racks d'osmose inverse, chacun de ses derniers comporte 196 tubes de pressions, déposés en parallèle. Chaque tube contient 7 membranes servant à éliminer 99.8% des sels dissous.

Les tubes de pression sont disposés pour avoir un taux de conversion de 45% avec une capacité de production d'eau dessalée de 8695 m<sup>3</sup>/h.

La perte de charge à travers les membranes d'osmose inverse est d'environ 1.5 à 2 bar, en fonction du nombre d'éléments par tube de pression, le concentrât sort donc à haute pression. Grâce au système de récupération d'énergie, il est possible de réutiliser cette l'énergie.



**Figure II-11:** Installation d'osmose inverse

### II.3.3.3 Récupération d'énergie

La récupération de l'énergie de la saumure est réalisée au niveau du système d'échangeur de pression (PX) qui permet de récupérer 95% de l'énergie du rejet de saumure. Il a été installé 16 PX au sein de chacune des lignes d'osmose inverse.

L'échangeur de pression utilise le principe du déplacement positif pour permettre à l'eau brute d'être pressurisée directement par contact avec la saumure sortant sous pression du module membrane [20].

La station doit être dotée d'une pompe de recirculation pour augmenter la pression de l'eau provenant du système d'échangeur de pression (PX). Elle a pour but de compenser les pertes de charge produites dans les membranes et la tuyauterie [21].

### II.3.4 Post-traitement

L'eau obtenue par l'osmose inverse, doit passer par le stade de post-traitement afin de la reminéraliser pour satisfaire aux exigences de la potabilité de l'eau.

Les étapes de post-traitement sont basées essentiellement sur les dosages du dioxyde de carbone, la chaux et le chlore.

#### II.3.4.1 Dosage du dioxyde de carbone et la chaux

La re-minéralisation de l'eau se fait en deux étapes : la première est concernée par un dosage de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) fluide et la seconde par un dosage de la chaux Ca(OH)<sub>2</sub>. Ces dosages permettent d'augmenter le pH et l'indice de saturation de langelier à la gamme désirée donnant une eau « non agressive » pour la distribution et la consommation humaine.

Lorsqu'on utilise la chaux pour l'ajustement final du pH d'une eau claire avant le refoulement, il y a intérêt à utiliser un saturateur de chaux qui retient les impuretés et fournit une eau de chaux limpide, alors qu'un lait de chaux confère toujours à l'eau une turbidité dont l'intensité dépend de la qualité du degré de pureté du produit commerciale et de la dose de chaux nécessaire [22].

La saturation de l'eau s'effectue grâce à une agitation qui permet une meilleure homogénéisation de la chaux vive.

Le dioxyde de carbone et la chaux réagissent ensemble selon la réaction suivant :

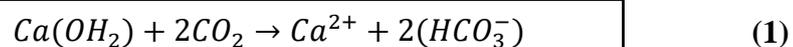


Figure II-12: Système du dosage et saturation de la chaux

**II.3.4.2 Dosage d'hypochlorite de sodium**

Il est nécessaire d'assurer une étape de désinfection qui consiste à détruire les organismes pathogènes présents dans l'eau et la protéger contre de nouvelles contaminations et développements biologiques ultérieures au cours de son passage ou son stockage.

**II.3.5 Stockage et pompage d'eau dessalée**

Après la désinfection et la re-minéralisation, l'eau traitée sera stockée dans un réservoir de stockage afin de la distribuer par l'algérienne des eaux, tandis que la saumure sera diluée et rejetée dans la mer par un émissaire de rejet de 250 m de longueur dans le but d'assurer une meilleur dilution et d'éviter les conséquences indésirables pour l'environnement.

# **Partie**

# **Expérimentale**

# **Chapitre III :**

## **Matériel et Méthodes**

## III.1 Contrôle de qualité

Les analyses physico-chimiques effectuées au niveau de laboratoire d'analyse de la station de dessalement de l'eau de mer de Ténès ont pour but de contrôler la qualité de l'eau de mer ainsi que de l'eau traitée et la saumure. Ce contrôle permettra d'assurer le bon fonctionnement de l'unité ainsi que l'obtention d'une eau de bonne qualité.

La station de dessalement de l'eau de mer est dotée de plusieurs sites de prélèvement :

- A l'entrée de la station (eau de mer) ;
- A la sortie de la station en deux points (eau produite, saumure).

### III.1.1 Eau de mer

#### III.1.1.1 Mesure de pH

Le pH est le potentiel d'hydrogène qui consiste à mesurer la concentration en ion hydrogène ( $H^+$ ) dans l'eau afin de déterminer l'acidité ou l'alcalinité de cette eau. L'appareil utilisé pour mesurer ce paramètre est un appareil multi-paramètre de la marque MAYRON LCAMPANY 6PFC<sup>E</sup> [23].

#### III.1.1.2 Mesure de la conductivité

La conductivité est la mesure de la capacité d'une eau à conduire un courant électrique. L'unité de mesure communément utilisée est le siemens (S/cm), la conductivité est directement proportionnelle à la quantité de solides dissous dans l'eau. Ainsi, plus la concentration en solide dissout sera importante, plus la conductivité sera élevée [23].

#### III.1.1.3 Mesure de la température

La température est une propriété physique de l'eau. Elle dépend largement de la source d'eau brute. La température a été mesurée par un appareil multi-paramètre de la marque MAYRON LCAMPANY 6PFC<sup>E</sup> au niveau de laboratoire de qualité de la station de dessalement de Ténès [23].



**Figure III-1:** Appareil multi-paramètre

#### **III.1.1.4 Mesure du taux de matières solides en suspension par la méthode gravimétrique**

L'analyse gravimétrique décrit un ensemble de méthodes d'analyses chimiques quantitatives effectuées en déterminant par pesée. Cette analyse est pour but de faire une filtration sous vide pour déterminer le totale des matières solides en suspension (TSS) [23].

##### **☞ Appareillage et réactifs**

- Eau de mer ;
- Une pompe à vide ;
- Une fiole à vide de 1000 ml ;
- Filtres à membrane ;
- Entonnoir en verre et Pince en alliage d'aluminium ;
- Etuve.

##### **☞ Mode opératoire**

- Peser trois filtres à membrane avec une balance analytique ;
- Faire la filtration sous vide avec la pompe à vide de 1 litre d'eau de mer ;
- Sécher ensuite les filtres à l'étuve à 105°C pendant 4 heures jusqu'à la masse constante ;
- Après le séchage peser la masse finale des membranes.

### III.1.1.5 Mesure de sulfate et taux de matières solides en suspension par la méthode spectrophotométrie

Cette méthode est applicable dans le cas des eaux usées et l'eau de mer, ce protocole opératoire a pour but de décrire la méthode de mesure de sulfate et le taux des solides en suspension [24].

#### ☞ Appareillage et réactifs

- Spectrophotomètre HACH DR 3900 ;
- Cuvette rectangulaire en verre ;
- Papier pour le nettoyage ;
- Réactif sulfaver powder pillow ;
- Eau distillée.

#### ☞ Mode d'opérateur

- Démarrer le programme 680 pour le sulfate et 630 pour TSS ;
- Préparer l'échantillon : faire une dilution de 50 fois (10 ml d'échantillon dans 500 ml d'eau distillée) ;
- Remplir la cuvette en verre avec 10 ml prélevé de l'échantillon préparé ;
- Ajouter le contenu d'un sachet de sulfaver powder pillow dans la même cuvette remplis avec l'échantillon ;
- Agiter la cuvette afin d'homogénéiser la solution, une turbidité blanche se forme à la présence de sulfate ;
- Démarrer le chronomètre, laisser la réaction s'effectuera pendant 5 minutes. Eviter de bouger ou d'agiter la cuvette pendant ce temps ;
- Préparation du blanc : remplir une cuvette en verre avec de l'eau distillée sans mettre le réactif sulfaver powder pillow, insérer la dans le puits et appuyer sur zéro, une valeur de 0 mg/l  $\text{SO}_4^{2-}$  s'affiche sur l'écran de l'instrument ;
- Après l'expiration des 5 minutes, nettoyer la cuvette avec un papier, insérer dans le puits la dilution (80 fois pour eau de mer ou saumure, 50 fois pour eau potable) et enfin appuyer sur mesure.



Figure III-2: Spectrophotomètre

### III.1.1.6 Test de chlorure

L'objet de ce mode opératoire est de décrire une méthode de mesure de chlorure présent dans l'eau de mer. Cette méthode appelée méthode de Mohr, elle est valable pour tous les eaux dont le pH est compris entre 6 et 8 [23].

#### ☞ Appareillage et réactifs

- Une fiole jaugée de 1 litre et une autre de 100ml, un erlenmeyer et une pipette;
- La solution d' $\text{AgNO}_3$  à 0.10 N (voir l'annexe N°3);
- Indicateur coloré  $\text{K}_2\text{CrO}_4$  à 0.5 mol/l ;
- La solution de  $\text{NaCl}$  à 0.10 N (voir l'annexe N°4);
- Eau déminéralisée pour ajuster le volume.

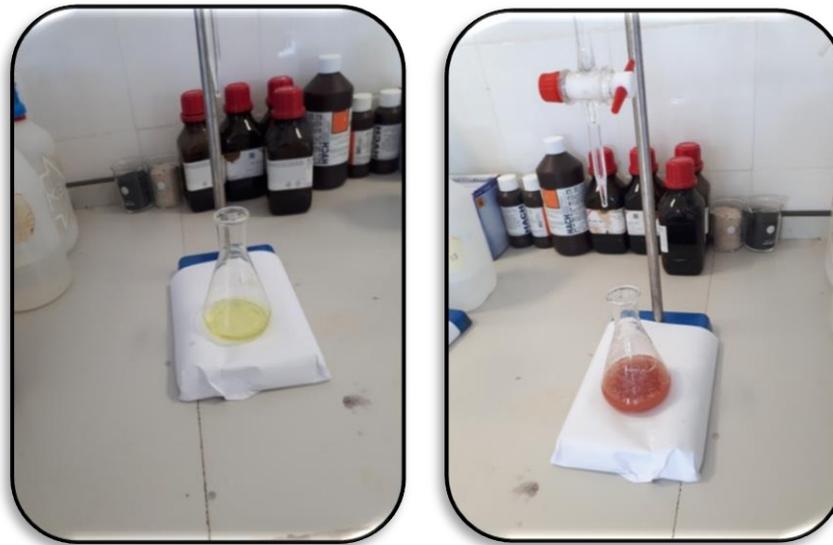
#### ☞ Mode opératoire

- Diluer l'échantillon d'eau de mer 5 fois en pipétant 20 ml d'échantillon dans une fiole jaugée de 100 ml ;
- Prélever 10 ml de l'échantillon dilué dans un erlenmeyer, ajouter quelques gouttes de  $\text{K}_2\text{CrO}_4$  et doser avec  $\text{AgNO}_3$  à 0.10 N jusqu'à la coloration orange du mélange en agitant constamment ;
- Noter le volume « V » de la burette.

#### ☞ Expression des résultats

$$\text{Concentration en Chlorure (mg/l)} = 1775 \times V$$

(2)



**Figure III-3:**Dosage de chlorure

### III.1.2 Eau produite

#### III.1.2.1 Mesure de pH, conductivité et température

Ces paramètres ont été mesurés par un appareil multi-paramètre de la marque MAYRON LCAMPANY 6 PFC<sup>E</sup> au niveau de laboratoire de qualité de la station de dessalement UTE Desaladora Ténès.

#### III.1.2.2 Mesure du taux de Solides Totaux Dissous par la méthode gravimétrique

Les sels dissous totaux représentent une évaluation totale des sels minéraux contenus dans l'eau produite. Cette analyse permet de mesurer la concentration des solides dissous en eau par la méthode gravimétrique.

#### ☞ Appareillage et réactifs

- Capsules d'évaporation de (25 ml, 50 ml et 100 ml)
- Fioles jaugées de (25 ml, 50 ml et 100 ml)
- Une pompe à vide ;
- Une fiole à vide de 1000 ml ;
- Filtres à membrane ;
- Entonnoir en verre et Pince en alliage d'aluminium ;
- Etuve ;
- Eau minéralisée.

### ☞ Mode opératoire

- Peser les capsules d'évaporation avec une balance analytique ;
- Faire la filtration sous vide avec la pompe à vide de 1 litre d'eau produite ;
- A l'aide d'une fiole jaugée propre de (25 ml, 50 ml, 100 ml), verser le filtrat dans les capsules ;
- Evaporer ensuite les échantillons à l'étuve à 180°C pendant 5 à 6 heures jusqu'à l'évaporation totale de la prise d'essai ;
- Peser la masse finale des capsules avec son contenu.

### ☞ Expression des résultats

$$\text{TDS (mg/l)} = (m_f - m_i) \times 1000 / V \quad (3)$$

#### III.1.2.3 Mesure de la turbidité

La turbidité caractérise le trouble de l'eau dû à la présence de fines particules en suspension. Elle est mesurée par un turbidimètre (HANNA, HI 93703).



Figure III-4: Turbidimètre

#### III.1.2.4 Chlore libre

La détermination du taux du chlore libre est généralement la plus importante dans la plupart des applications possibles. Le chlore a été mesuré au niveau de laboratoire de qualité de la station de dessalement UTE Desaladora Ténès par un appareil de la marque (HANNA, HI96711).

### ☞ Appareillage et réactifs

- Colorimètre ;
- Cuvettes propres ;
- Eau minéralisée ;
- Pastille DPD.

### ☞ Mode opératoire

- Etalonner l'appareil par l'eau distillée au 0 mg/l ;
- Remplir la cuvette en verre avec 10 ml prélevé de l'échantillon ;
- Ajouter une pastille de DPD (Diéthyl-p-Phénylène-Diamine) afin de produire une coloration rosâtre ;
- Insérer la cuvette dans le puits de l'appareil et effectuer la lecture immédiatement.



Figure III-5: Colorimètre

#### III.1.2.5 Mesure de la dureté totale

La dureté totale appelée aussi le titre hydrométrique (TH) est l'indicateur de la minéralisation de l'eau. Elle est due uniquement aux ions calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) et magnésium ( $\text{Mg}^{2+}$ ), la dureté totale s'exprime en ppm (mg/l) de  $\text{CaCO}_3$ .

### ☞ Appareillage et réactifs

- Erlenmeyer de 100 ml ;
- Burette, pro-pipette ;
- Echantillon d'eau produite ;
- Solution d'EDTA à 0,01N ;
- Solution Tampon pH=10, Noir d'Eriochrome T (N.E.T) de 1%.

### ☞ Mode opératoire

- Dans un Erlenmeyer de 100 ml, mettre 50 ml d'eau à analyser ;
- Ajouter 4 ml de la solution tampon pH=10 à l'aide de la pipette en plastique propre ;
- Ajouter une goutte d'indicateur coloré Noir d'Eriochrome T (NET) jusqu'à obtenir une couleur rose-violette ;
- Titrer le mélange par la solution d'EDTA à 0,01N avec l'agitation jusqu'au virage au bleu-franche ;
- Noter le volume «V» de la burette.

### ☞ Expression des résultats

$$\text{TH (mg/l) en CaCO}_3 = 20 \times V$$

(4)

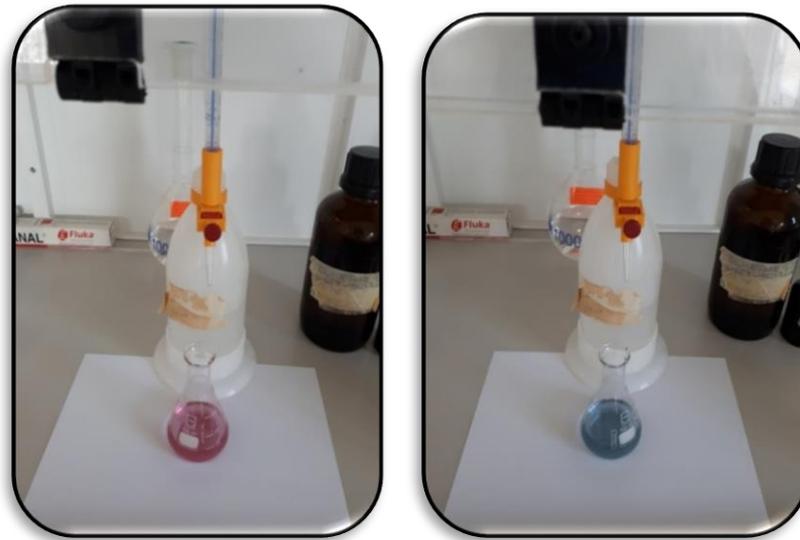


Figure III-6: Dosage de la dureté totale

### III.1.2.6 Dosage de Calcium et de Magnésium

#### ☞ Appareillage et réactifs

- Erlenmeyer de 100 ml ;
- Burette, pro-pipette ;
- Echantillon d'eau produite;
- Solution d'EDTA à 0,01N (voire l'annexe N°5) ;
- Solution de NaOH à 1N, une pincée de Murexide.

#### ☞ Mode opératoire

- Prélever 50 ml d'eau à analyser dans un Erlenmeyer de 100 ml ;
- Ajouter 4 ml de la solution NaOH (1 N) et une pincée de Murexide jusqu'à obtenir une coloration bien rose ;
- Verser l'EDTA goutte à goutte tout en mélangeant énergiquement jusqu'à la coloration violette ;
- Noter le volume « V » de la burette.

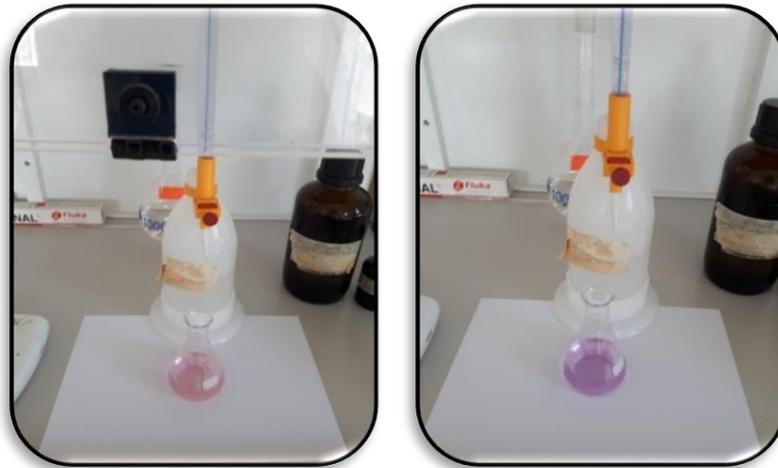
#### ☞ Expression des résultats

$$\text{Concentration en Calcium (mg/l) en CaCO}_3 = 8.016 \times V \quad (5)$$

La concentration en Magnésium (mg/l en CaCO<sub>3</sub>) est la différence entre la concentration totale des ions (calcium +magnésium) en mg/l en CaCO<sub>3</sub> et la concentration en calcium en mg/l en CaCO<sub>3</sub>.

☞ **Expression des résultats**

$$\text{Concentration en Mg}^{2+} \text{ (mg/l) CaCO}_3 = [\text{TH} / 50,044 - [\text{Ca}^{2+}] / 20,04] \times 12,156 \quad (6)$$



**Figure III-7:** Dosage de calcium et de magnésium

### III.1.2.7 Test de l'alcalinité

L'alcalinité permettant de connaître les concentrations en bicarbonates, carbonates et éventuellement en hydroxydes (bases fortes) contenues dans l'eau. Cette analyse a pour but de la détermination titrimétrie de l'alcalinité [23].

☞ **Appareillage et réactifs**

- Erlenmeyer de 250 ml ;
- Burette ;
- Echantillon d'eau produite ;
- Solution de HCl à 0,2N;
- Méthyle orange à 0,04%.

☞ **Mode opératoire**

- Dans un erlenmeyer de 250 ml, prélever 100 ml d'eau à analyser;
- Ajouter 2 gouttes de méthyle orange et mélanger jusqu'à l'apparition de la couleur jaune-orange ;
- Titrer avec HCl (0.2N) jusqu'à obtenir le début d'une coloration orange ;
- Noter le volume de la burette «V».

☞ **Expression des résultats**

$$\text{TAC (mg/l) en CaCO}_3 = 10 \times V \quad (7)$$



**Figure III-8:** Dosage de l'alcalinité

### III.1.2.8 Indice de saturation de Langelier

L'indice de saturation de Langelier est une évaluation globale de la qualité de l'eau pour déterminer si l'eau est corrosive ou s'il aura formation de tartre.

D'autre façon l'indice de saturation permettant de déterminer la stabilité du carbonate de calcium dans l'eau, il indique si l'eau va précipiter, dissoudre ou être en équilibre avec le carbonate de calcium [21].

#### ☞ Expression des résultats

$$\text{IL} = \text{pH} - \text{pH}_s \quad (8)$$

pH : La mesure réelle du pH de l'eau;

pH<sub>s</sub>: Le pH de saturation en carbonates de calcium. .

### III.1.3 Saumure

Les différentes analyses de la saumure ont été effectuées au niveau de laboratoire d'analyse de la station de dessalement de l'eau de mer de Ténès sont basées sur les mesures suivantes :

- Température, pH et conductivité ;
- La teneur en sulfate et en chlorure.

# **Chapitre IV :**

## **Résultats et**

## **Discussions**

## IV.1 Résultats d'analyses de contrôle de qualité

### IV.1.1 Eau produite :

Les résultats d'analyses de l'eau produite (eau traitée) sont résumés dans le tableau suivant :

**Tableau IV-1 : Analyses de l'eau produite**

Paramètres	Valeurs		Unités	Valeur limite contractuellement avec ADE
	1 <sup>er</sup> analyse	2 <sup>ème</sup> analyse		
pH (point livraison)	7.79	7.80		7 à 8.5
Température	16.8	17.4	°C	< 25
Conductivité	678.1	715.2	(µS/cm)	-
TDS	326.9	397.9	Ppm	150 à 500
Turbidité	0	0	NTU	<5
Chlore libre	0.3	0.21	Ppm	0.20 à 0.30
Dureté totale	80	84	mg/l CaCO <sub>3</sub>	80 à 150
Calcium	70.14	72.14	mg/l CaCO <sub>3</sub>	-
Magnésium	9.86	11.86	mg/l CaCO <sub>3</sub>	-
Alcalinité totale	85	88	mg/l CaCO <sub>3</sub>	> 60
IL	0.06	0.10		0 à 0.4

### IV.1.2 Eau de mer et saumure

Les résultats d'analyses de l'eau de mer (brute) et saumure (eau rejetée) sont résumés dans le tableau suivant :

**Tableau IV-2 : Analyses de l'eau de mer et la saumure**

Paramètres	Valeurs		Unités
	Eau de mer	Saumure	
Ph	7.97	7.75	
Température	19.3	19.1	°C
Conductivité	52440	86510	(µS/cm)
TSS	5		mg/l
Sulfate	4301	6854	mg/l
Chlorure	19880	37275	mg/l

## IV.2 Discussion des résultats

### IV.2.1 Eau produite

#### a) Potentiel d'hydrogène, température et conductivité

Les valeurs du pH de l'eau produite sont comprises entre 7.79 et 7.80 avec une valeur moyenne de 7,79. Ces valeurs sont conformes à la norme algérienne (voire l'annexe N°6).

La température de l'eau produite varie entre 16.8 et 17.4°C. La norme algérienne indique une valeur maximale de 25°C, donc ces résultats sont conformes.

Les valeurs enregistrées de la conductivité sont comprises entre 678.1 et 715.2  $\mu\text{S}/\text{cm}$  avec une valeur moyenne 696.65  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Ces valeurs sont conformes à la norme algérienne.

#### b) Solides Totaux Dissous

Les résultats obtenus après l'analyse de l'eau traitée ont montrés que le taux des solides totaux dissous varie entre 326.9 et 397.9 ppm, soit une valeur moyenne de 362.4 ppm. Les valeurs de TDS se révèlent conformes à la norme préconisée par la norme algérienne qui est de 150 à 500 ppm.

#### c) Turbidité

La norme algérienne fixe une valeur de 5 NTU de la potabilité de l'eau, les échantillons analysés ont une valeur nulle, ce qui est dans la norme de potabilité.

#### d) Chlore libre

Le chlore est l'un des réactifs le plus utilisé lors de la désinfection, les résultats obtenus donnent une valeur moyenne de 0.25 mg/l, donc cette valeur est dans les normes de potabilité.

#### e) Dureté totale, calcium et magnésium

Les mesures de la dureté totale de l'eau traitée s'échelonne de 80 à 84 mg/l en  $\text{CaCO}_3$  avec une valeur moyenne de 82 mg/l. Ces résultats sont conformes à la norme algérienne pour une valeur limite de 80 à 150mg/l en  $\text{CaCO}_3$ .

Les résultats d'analyse de calcium et de magnésium sont conforme, car la teneur en ( $\text{Ca}^{2+}$ ) et en ( $\text{Mg}^{2+}$ ) liée à la dureté.

**f) Alcalinité totale**

L'alcalinité correspond à la présence d'espèces basiques telles que les ions carbonates et les ions bicarbonates.

Les résultats montrent des valeurs comprises entre 85 et 88 mg/l avec une valeur moyenne de 86.5 mg/l en  $\text{CaCO}_3$ . Ces valeurs sont également conformes aux normes algériennes qui limitent le taux d'alcalinité des eaux de consommation à une valeur supérieure à 60 mg/l en  $\text{CaCO}_3$ .

**g) Indice de Langelier**

Les résultats de calcul de cet indice fluctuent entre 0.06 et 0.10 ce qui signifie que l'eau produite conforme à la potabilité.

**IV.2.2 Eau de mer et Saumure****a) Potentiel d'hydrogène, température et conductivité**

D'après les résultats d'analyse de pH et la température, on remarque une légère différence entre ces résultats de l'eau de mer et celui de la saumure qui est dû au transfert d'ions  $\text{H}^+$  dans les membranes d'osmose inverse et de l'énergie mécanique nécessaire pour ce procédé.

Les valeurs de la conductivité sont élevées pour l'eau de mer et l'eau rejetée. Cela est dû à la forte présence d'ions contenus dans ces eaux.

**b) Taux de matières solides en suspension**

Le résultat d'analyse de la teneur en matières solides en suspension (TSS) contenus dans l'eau de mer est de 5 mg/l. Ce résultat est conforme pour une valeur limite de 10 mg/l.

**c) Teneur en sulfate et en chlorure**

D'après les résultats obtenus, la teneur en sulfate et en chlorure est plus élevée pour la saumure avec une valeur de 6854 mg/l en sulfate et 37275 mg/l en chlorure ainsi que l'eau de mer qui a une valeur de 4301 mg/l en sulfate et 19880 mg/l en chlorure.

# Conclusion

## **Conclusion**

Le dessalement est un enjeu particulièrement important pour l'avenir des régions sujettes aux pénuries d'eau. C'est une méthode d'avenir pour pallier aux problèmes d'eau douce. Elle permet une utilisation et une gestion économe des ressources en eau et la mise en œuvre de moyens appropriés pour faciliter l'accès à l'eau potable.

Ce rapport de stage a pour objectif de répondre à la question d'étude : comment dessaler l'eau de mer pour la rendre potable et quel est le contrôle effectué pour l'assurance de qualité ?

Le suivi de traitement, on a permis de mettre le point sur toutes les étapes de dessalement de l'eau de mer et ainsi d'acquérir une bonne connaissance sur les bonnes pratiques de dessalement et d'enrichir nos connaissances dans le domaine de traitement des eaux.

Ce travail a permis également de mettre le point sur les méthodes de contrôle appliquées sur l'eau brute et l'eau produite ainsi la saumure au niveau du laboratoire de contrôle de qualité de la station de dessalement UTE Desaladora Ténès.

A la lumière des résultats obtenus, les valeurs acquises lors des différents tests physico-chimiques de l'eau produite par l'unité de dessalement de Ténès, on note une eau qui répond à tous les critères de potabilité selon les normes algériennes.

## Références bibliographiques

- [1] **J.SALOMON**.Le dessalement de l'eau de mer est- il une voie d'avenir? S.I. : Revista de geografia e ordenamento do territorio, N°1 (junho).centro de Estudos de geografia e ordenamento do territorio, **2012**. p. 237-262.
- [2] **Nesrine BOUCHAKOUR et Amina SADOK**. « Impact environnemental de la station de dessalement de l'eau de mer de Ténès (wilaya de Chlef) ». Université Abderrahmane Mira-Bejaia.. Mémoire de Master en Mines.Algérie;**2017**. p. 2
- [3] Chambre syndicale de la recherche et de la production du pétrole et du gaz naturel. Comité des techniciens; Circuits eau de mer-traitement et matériaux. : Editions Technip;Paris, **1993**, p. 34-37.
- [4] **Samia AKLI et Slimane BEDRANI**. « Produire de l'eau par le dessalement ou en l'économisant grâce a l'adoption de l'irrigation localisée? ». Les cahiers du Cread, **2011**, (96), p. 52-70.
- [5] **C. Le Guern, P. Lachassagne, Y. Noel, F. Persin et L. De Buyscher**.«Dessalement et recharge artificielle : synthèse techno-économique ». Rapport BRGM/RP-52262-FR.**2003**. p. 10,
- [6] Lenntech. « Purification et traitement de l'eau ». Site internet: Citation **2020**;www.lenntech.fr.
- [7] « Purification et traitement de l'eau » . Site internet: Citation **2020** ; www.lenntech.fr.
- [8] « L'osmose inverse - Tpe : le dessalement de l'eau en Tunisie ». Site internet: Citation **2020**; tpebdmw.e-monsité.com.
- [9] « L'osmose inverse ». Site internet:Citation : **2020**. hmf.enseeiht.fr.
- [10] **Alain MEUREL** «Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres. et autres procédés non conventionnels d'approvisionnement en eau douce». Second édition; Lavoisier; Paris **2006**; p.80-81
- [11] **Imane BENDAHMANE et Mohamed ZEBBAR** « L'évaluation des performances d'osmose inverse membranaire ». Université Abdelhamid Ibn Badis . Mostaganem, Mémoirede Master en Hydraulique. Algérie; **2019**. p. 24-25.
- [12] **Bakhta CHENAOU**. «Dessalement de l'eau de mer à la station de Mainis et son impact sur l'environnement». Université Hassiba Benbouali- Chlef; Séminaire Nationale à Ouargla.Algérie; **2010**. p. 2
- [13] **Alain MEUREL**. Technique d'Ingénieur k 690 V 1. 10 10 1980. Site internet: Citation : **2020**; www.Techniques-ingénieur.fr.

- [14] **Hanan EL-JABIRY.** « Evaluation de l'efficacité et optimisation du rendement du système de l'osmose inverse du groupe LESAFFRE-Maroc ». Université Sidi Mohammed Ben Abdellah . Mémoire d'Ingénieur d'Etat.Maroc;**2015.** p. 31
- [15] **Aminot ALAIN, Kérouvel ROGER.**"Hydrologie des écosystèmes marin-paramètres et analyses". : Editions Quae, France ; **2004,** p. 44.
- [16] **Boumediene FELLAH.** « Aspect énergétique, techniques et économiques de dessalement de l'eau de mer par le procédé d'osmose inverse, en utilisant un système d'énergie hybride : Photovoltaïque-Eolien ». Université Abou Bekr Belkaid, Tlemcen., Thèse de doctorat en Science .Algérie; **2019.** p. 23
- [17] **Philippe BANDELIER.**"Usages de l'énergie". Site internet: Citation : **2020.** cyclopedie-energie .org.
- [18] **Renaudin VIVIANE.** « Le dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres ». **2003.**
- [19] **Mohammed Ali BENALLOUDA.** « Etude de l'influence de différents matériaux filtrants sur le prétraitement des eaux de mer : application sur les eaux de la station de dessalement de Honaine ». Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen, , Mémoire de Master en Hydraulique.Algérie; **2013.** p. 34
- [20] **A. Adda, W. M Naceur et M. Abbas.** « Modélisation et optimisation de la consommation d'énergie d'une station de dessalement par procédé d'osmose inverse en Algérie ». Revue des énergies renouvelable. Vol.19 (2);**2016.** p157-164.
- [21] «Projet d'évaluation de la station de dessalement d'eau de mer par osmose inverse de L'île de sein - installation d'un module de récupération d'énergie par échange de pression». Site internet: Citation : **2018.** academia.edu.
- [22] **Abderrazak ATALLAH.**« Procède de dessalement et qualité physico-chimique de l'eau dessalée par la station de dessalement de l'eau de mer de Honaine ». Université Abou Bekr Belkaid; Tlemcen. Mémoire de Master en Biologie.Algérie; **2014.** p. 32
- [23] **Yassine HADJALI.** « Impacte des stations de dessalement de l'eau de mer sur le littoral cas de la station plage El Hilel (Ain Témochent) ». Université Abou Bekr Belkaid, Tlemcen. Mémoire de Master en Ecologie et Environnement.Algérie; **2012.** p. 25,
- [24] «UTE, Desaladora Ténès Opéracion et Maitenimients O &M ». Ténés, : Document de la station de dessalement de l'eau de mer .Chlef; **2020.**
- [25] Manuel de l'entreprise, Journal officiel de la république Algérienne N° 13 dimanche 7 Jomada El Oula 1435.9 mars **2014,** 53<sup>ème</sup> annexe. p. 15-16-17.

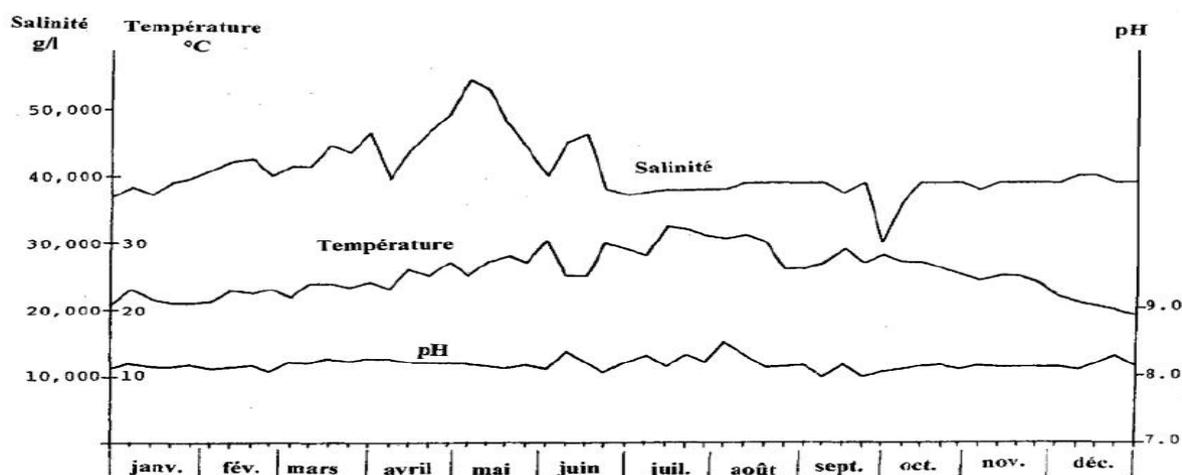
# Annexes

## Annexe N°1 :

**Tableau 1 :** Composition chimique de l'eau de mer

		Eau de mer standard		Méditerranée Toulon		Golf arabique Koweït	
		Ppm	%	ppm	%	ppm	%
Salinité totale		35000		39000		45000	
Cations	Sodium	10760	30.7	11970	30.7	13830	30.7
	Magnésium	1294	30.7	1440	3.7	1660	3.7
	Calcium	412	1.2	450	1.2	530	1.2
	potassium	387	1.1	440	1.1	497	1.1
	<b>Total cations</b>	<b>12853</b>		<b>14300</b>		<b>16517</b>	
Anions	Chlorures	19353	55.3	21570	55.3	24900	55.3
	Sulfates	2712	7.7	2990	7.7	3500	7.7
	Bicarbonates	142	0.4	153	0.4	182	0.4
	Bromures	67	0.2	75	0.2	86	0.2
	<b>Total anion</b>	<b>22247</b>		<b>24788</b>		<b>28668</b>	

## Annexe N°2 :



**Figure 1 :** Variations saisonnières des caractéristiques de l'eau de mer dans le Golfe arabo-persique à Jubail- d'arés Dr Charles K.Wojcik, université de Dahrn)

## Annexe N° 3 : préparation d'un litre d'une solution d'AgNO<sub>3</sub> à 0.1N

### ☞ Mode opératoire

Dissoudre 16.985 g de AgNO<sub>3</sub> dans une fiole jaugée de 1 litre et compléter jusqu'au trait de jauge avec l'eau déminéralisée en agitant le mélange pour l'homogénéiser.

#### **Annexe N°4 : préparation d'un litre d'une solution de NaCl 0.10N**

##### **☞ Mode opératoire**

Dissoudre 5.854 g de NaCl dans une fiole jaugée de 1000 ml et compléter jusqu'au trait de jauge avec l'eau déminéralisée et agiter le mélange pour l'homogénéiser.

#### **Annexe N°5 : préparation d'un litre d'une solution d'EDTA 0.01N**

##### **☞ Mode opératoire**

Dissoudre 3.721 g de EDTA dans une fiole jaugée de 1000 ml et compléter jusqu'au trait de jauge avec l'eau déminéralisée sous agitation.

#### **Annexe N°6 :**

**Tableau 2 : normes Algériennes (NA) et Internationales (ISO) des paramètres analysés [25]**

<b>Paramètre</b>	<b>Méthode</b>	<b>Unité</b>	<b>Valeur limite</b>
Ph	NA 751	Unité PH	$\geq 6,5$ et $\leq 9$
conductivité	NA 749	$\mu\text{S}/\text{Cm}$	2800
Température	NA 750	°C	25
Résidu sec	NA 6945	Mg/L	1500
Turbidité	NA 746	NTU	5
Chlore résiduel	NA 2062	Mg /L	0.5
Bicarbonate	ISO 9963	Mg/L en $\text{CaCO}_3$	500
Carbonate	ISO 9963	Mg/L	Pas de valeur
Calcium	NA 1655	Mg /L	200
Magnésium	NA 752	Mg /L	150
Dureté totale	NA 752	F°	50
Titre alcalimétrique complet (TAC)	ISO 9963	F°	50

## Résumé

Avec la pénurie en eau potable, le dessalement de l'eau de mer devient une des solutions les plus pratiques à travers le monde pour l'alimentation en eau potable, ainsi qu'aux besoins industriels. Dans ce cadre, la station de dessalement d'eau de mer au sein de la ville de Ténès fournit de l'eau potable pour occuper ce manque d'eau.

Dans ce rapport, on s'est intéressé à dessaler l'eau de mer par la technique d'osmose inverse et suivi la qualité de contrôle physico-chimique de l'eau produite selon les critères de potabilité.

**Mots clés :** eau de mer, dessalement, osmose inverse, contrôle qualité.

## ملخص

مع ندرة مياه الشرب، أصبحت تحلية مياه البحر واحدة من أكثر الحلول العملية حول العالم لتوفير مياه الشرب، وكذلك للاحتياجات الصناعية. في هذا السياق، توفر محطة تحلية مياه البحر على مستوى مدينة تنس مياه الشرب لسد هذا النقص في المياه.

في هذا التقرير، ركزنا على تحلية مياه البحر بتقنية التناضح العكسي ومراقبة جودة التحكم الفيزيائي والكيميائي للمياه المنتجة وفقاً لمعايير الصلاحية للشرب.

**الكلمات المفتاحية:** مياه البحر، تحلية المياه، التناضح العكسي، مراقبة الجودة.

## Abstract

With the scarcity of drinking water, sea water desalination is becoming one of the most practical solutions around the world for the supply of drinking water, as well as for industrial needs. In this context, the sea water desalination station in the city of Tenes provides drinking water to fill this water shortage.

In this report, we focused on desalinating sea water using the reverse osmosis technique and monitoring the quality of the physico-chemical control of the water produced according to the criteria of drinkability.

**Keywords:** sea water, desalination, reverse osmosis, quality control.