

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur  
et de la Recherche Scientifique

Université Akli Mohand Oulhadj - Bouira -  
Institut de Technologie



وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
جامعة أكلي محمد أولحاج  
- البويرة -  
معهد التكنولوجيا

## Département de Technologie chimique industrielle

### Rapport de soutenance

En vue de l'obtention du diplôme

De Licence professionnalisant en :

**Génie Chimique**

**Thème**

**Suivi du procédé de dessalement et qualité physico-chimique  
de l'eau de mer dessalée par la station de -TENES-**

**Réalisée par :**

TABET Maissa

**Encadré par :**

Mr BOUTICHE Ahmed

**Tuteur de l'entreprise :**

Mme BOUZAKRI Abir

*Année Universitaire : 2019/2020*

# Remerciement

*Avant tout, je remercie Dieu de m'avoir donné la vie, la santé et qui a illuminé mon chemin et qui me a armés de courage pour achever mes études.*

*Je remercie particulièrement mon promoteur Mr. BOUICH de m'avoir orienté par ses conseils judicieux dans le but de mener à bien ce travail.*

*Mes sincères remerciements vont également ou membres du jury qui ont bien voulu d'accepté de participer à l'évolution de mon travail.*

*Je tiens à remercier aussi tout le personnel de l'unité DESALADORA de TENEES pour leur accueil en particulier Mme Bouzakri Abir responsable de laboratoire de la station.*

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

## DÉDICACES

*La vie est liée à l'interdépendance humaine issu des valeurs morales c'est pourquoi je tiens c'est avec grande plaisir que je dédie ce modeste travail accompagné d'un profond amour*

*A celle qui m'a arrosé de tendresse et d'espoirs, à la source d'amour qui est souffert sans me laisser souffrir, qui n'a jamais dit non à mes exigences et qui n'a épargné aucun effort pour me rendre heureuse, mon adorable mère.*

*A l'homme, mon précieux offre du dieu, qui doit ma vie, ma réussite et tout mon respect, mon père AHMED*

*A mon très cher frère et mes belles sœurs que dieu de protéger et leurs offre la chance et le bonheur*

*A mes meilleures amies Rachia, Fella, Nawel et Abir, et ma cousine Chaima et ma nièce Hadil, puisse Dieu vous donne santé, bonheur courage et surtout réussite.*

# *Sommaire*

## Liste des figures

## Liste des tableaux

## Liste des abréviations

## Résumé

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

## CHAPITRE I L'EAU ET SES PROPRIETES

I.1 L'eau.....	3.
I.1.1 Définition.....	3.
I.1.2 Importance de l'eau.....	3.
I.1.2.1 L'eau dans l'organisme humain.....	3.
I.1.2.2 Eau et alimentation.....	3.
I.1.2.3 L'eau déminéralisée et risques (muqueuses intestinales).....	4.
I.2 Caractéristiques des eaux marines saumâtres.....	4.
I.2.1 Les eaux marines.....	4.
I.2.2 Les eaux saumâtres.....	5.
I.2.3 La répartition de l'eau sur la terre.....	5.
I.2.4 Propriétés de l'eau.....	5.
I.2.5 Catégories d'eaux douces.....	6.
I.2.5.1 L'eau potable.....	6.
I.2.5.2 L'eau de source.....	6.
I.2.5.3 L'eau minérale naturelle.....	6.
I.3 Les paramètres de potabilité de l'eau.....	6.
I.3.1 Paramètre organoleptiques.....	7.
I.3.1.1 La couleur.....	7.
I.3.1.2 Goûts et odeurs.....	7.
I.3.1.3 La turbidité.....	7.
I.3.2 Paramètres physicochimiques.....	7.
I.3.2.1 La température.....	7.
I.3.2.2 pH.....	8.
I.3.2.3 Matières en suspension.....	8.

## Sommaire

---

I.3.2.4	La conductivité électrique .....	8.
I.3.2.5	La dureté totale .....	8.
I.3.2.6	Solubilité des gaz dans l'eau .....	9.
I.3.2.7	L'alcalinité .....	9.
I.3.2.8	Cations et anions.....	9.
I.3.2.9	Les nitrates et les nitrites.....	10.
I.3.2.10	Pollution des eaux par les métaux lourds .....	10.
I.3.3	Paramètres microbiologiques.....	11.
<b>CHAPITRE II GENERALITES SUR LE DESSALEMENT</b>		
II.1	Généralité sue le dessalement .....	12.
II.1.1	Situation du dessalement dans le monde .....	12.
II.1.2	Algérie .....	12.
II.1.3	Liste des stations de dessalement en Algérie.....	13.
II.1.4	Définition du dessalement de l'eau de mer.....	15.
II.1.5	Etapas de dessalement de l'eau de mer .....	15.
II.2	Présentation de la station de dessalement de l'eau de mer à TENES .....	22.
II.2.1	Situation géographique .....	23.
<b>CHAPITRE III PROCESSUS DE DESSALEMENT DE L'EAU DE MER</b>		
III.1	Description du processus de dessalement de l'eau de mer .....	24.
III.1.1	La captation de l'eau de mer.....	24.
III.1.2	Le prétraitement .....	25.
III.1.2.1	<i>Prétraitement chimique</i> .....	25.
a.	Désinfection.....	25.
b.	Dosage de métabisulfite de sodium .....	25.
c.	Dosage d'inhibiteur anti-scalant.....	26.
III.1.2.2	Prétraitement physique .....	26.
a.	Filtre à sable .....	26.
b.	Filtre à cartouche .....	26.
III.1.2.3	Equipement osmose inverse .....	27.
a.	Le pompage haute pression .....	27.
b.	Récupération de l'énergie du concentrât.....	27.
c.	Système de membranes d'osmose inverse .....	27.
d.	Modules d'osmose inverse.....	28.

## Sommaire

---

III.1.3 Post de traitement .....	28.
<b>CHAPITRE IV      METHODES D'ANALYSES ET RESULTATS</b>	
IV.1 Méthode analytiques.....	29.
IV.1.1 Analyses physiques .....	29.
IV.1.2 Analyses chimiques.....	30.
IV.2 Résultats et interprétations.....	36.
IV.2.1 Résultats.....	36.
IV.2.2 Interprétations .....	36.
Conclusion .....	38.
Référence bibliographiques	
Annexes	

# *Liste des figures*

## Liste des tableaux

---

### Les figures

Figure II.1 : Schéma général d'une installation de dessalement .....	16.
Figure II.2 : Vue général sur la station de TENES.....	23.
Figure II.3 : Situation géographique de la station .....	23.
Figure III.1 : Captation de l'eau de mer .....	24.
Figure III.2 : les deux beaudrey (des filtres rotatifs).....	25.
Figure III.3 : filtres à cartouches .....	26.
Figure III.4 : Système de récupération d'énergie .....	27.
Figure III.5 : le rack d'osmose inverse.....	27.
Figure III.6 : les silos de stockage de CaCO <sub>3</sub> .....	28.
Figure IV.1 : appareil multi-paramètre.....	29.
Figure IV.2 : Spectrophotomètre.....	31.
Figure IV.3 : Appareille d'analyse de chlore .....	34.

# *Liste des tableaux*

**Les tableaux**

Tableau I.1: Principaux effets associés aux métaux lourds .....	<b>11.</b>
Tableau IV.1 : Mesure de la durté totale .....	<b>30.</b>
Tableau IV.2 : Mesure de sulfate et TSS .....	<b>31.</b>
Tableau IV.3 : Test de chlorure.....	<b>32.</b>
Tableau IV.4 : Test de l'alcalinité.....	<b>33.</b>
Tableau IV.5 : Dosage de calcium et de magnésium .....	<b>33.</b>
Tableau IV.6: Test de bore.....	<b>35.</b>
Tableau IV.7: Résultats des analyses .....	<b>36.</b>

### Abréviations

**Cl** : Concentration de chlorure

**cm** : Centimètre

**EDTA** : Ethyle Diamine Tétra Acitique

**g/L** : Gramme par Litre

**HP** : haut pression

**Km<sup>3</sup>** : Kilomètre cube

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

**m<sup>2</sup>** : Mètre au carré

**mg** : Milligramme

**mg/l** : Milligramme par Litre

**OI** : osmose inverse

**OMS** : Organisation Mondiale de la Santé

**pH**: Potentiel d'Hydrogène

**Ppm** : Partie par million

**S** : Salinité

**TA** : Titre Alcalimétrique

**TAC** : Titre alcalimétrique complet

**TDS** : Solides Totaux Dissous

**TH** : Titre Hydrotimétrique (la dureté totale)

**TSS** : Total des matières solides en suspension

**NTU** : Unité Néphrélométrique de Turbidité

**UCV** : Unité de couleur vraie

**μS/cm** : micro Siemens par Centimètre

### ملخص

الماء جزء بسيط امر ضروري لاستمرارية اي نوع من انواع الحياة وتطوير الانسانية تبقى الزيادة في احتياجات المياه وتوافر المياه ذات نوعية جيدة تحديا موضعيا بالنسبة للعالم كله وخاصة بالنسبة للجزائر.

تحلية مياه البحر على مستوى بلدية هي واحدة من أكبر المشاريع التي قامت بها الحكومة الجزائرية في التزود بالمياه الصالحة للشرب بسعة 20000م<sup>3</sup> في اليوم. هذا البحث يهدف الى متابعة تطور النوعية الفيزيائية والكيميائية للمياه التي تنتجها تحلية مياه البحر بواسطة تقنية الضغط التناضح العكسي.

من النتائج التي تم الحصول عليها في محطة تنس يمكن ملاحظة ان المعايير الاساسية تلبى معايير منظمة الصحة العالمية و يتم تضمينها في مجموعة المعايير الدولية.

الكلمات المفتاحية : تحلية مياه البحر النوعية, الفيزيوكيميائية, التناضح العكسي.

### Résumé

L'eau, molécule simple, est indispensable pour la continuité de toute sorte de vie ainsi qu'au développement des populations. L'augmentation des besoins en eau et la disponibilité de l'eau de bonne qualité demeure un challenge d'actualité, généralement pour le monde entier et particulièrement pour l'Algérie.

La station de dessalement de l'eau de mer à TENES -CHLEF, constitue l'un des plus grands projets réalisés par le gouvernement algérien en matière d'approvisionnement en eau potable, avec une capacité de 200.000 m<sup>3</sup>/ jour. Ce travail a pour objectif de faire un suivi de l'évolution de la qualité physico-chimique de l'eau obtenue par le dessalement de l'eau de mer par la technique d'osmose inverse.

D'après les résultats obtenus au niveau de la station de TENES, on constate que les paramètres essentiels répondent aux normes de l'OMS, et sont inclus dans l'intervalle des normes internationales.

**Mots clés :** Dessalement de l'eau de mer, qualité physico-chimique, osmose inverse

### Abstract

Water, simple molecule, is essential for the continuity of any kind of life as well the development of populations. The increase in water needs and the availability of good quality water remains a topical challenge, usually for the whole world and particularly for Algeria.

The desalination of seawater TENES- CHLEF, is one of the largest projects undertaken by the Algerian government in drinking water, with a capacity of 20,000 m<sup>3</sup> / day. This work aims to follow the evolution of the physico-chemical quality of the water produced by desalination of seawater by reverse osmosis technique.

From the results obtained at the TENES station, it can be seen that the essential parameters meet WHO standards, and are included in the range of international standards.

**Keywords:** Water Desalination sea water, physico-chemical quality, reverse osmosis.

# *Introduction générale*

### Introduction générale

Face à une répartition inégale de l'eau potable sur la planète, une demande de plus en plus forte pour le dessalement de l'eau de mer a été recensée ces dernières années. Le développement démographique, la haute concentration de la population mondiale dans une même zone où l'activité humaine s'accroît, et les progrès techniques qui ont menés à une réduction des coûts d'investissement, sont autant de facteurs qui ont contribué à cette hausse de la demande. Cet aspect fait apparaître de nos jours l'actualisation du procédé de dessalement par l'étude de la distillation et de l'osmose inverse, mais également à travers les aspects de l'hygiène, de la sécurité et de l'environnement. Et à titre comparatifs des différents procédés de dessalement de l'eau en utilisant le choix des méthodes appropriés.

Trois facteurs principaux expliquent la demande de plus en plus forte pour le dessalement d'eau de mer constatée ces 15 dernières années :

- Le développement démographique et son amplificateur : une migration des populations rurales vers les villes et principalement vers les villes les plus grandes ;
- Le fait que plus du tiers de la population mondiale et plus de la moitié des mégapoles (ville de plus de 5 millions d'habitants) soient concentrés dans une bande côtière de 150 km de profondeur où s'exerce donc une demande rapidement croissante de tous les secteurs de l'activité humaine : eau domestique, industrielle, touristique, agricole... Alors que les réseaux (fleuves, oueds) qui l'abreuvent y arrivent de plus en plus pollués et ayant déjà subi des prélèvements (surtout pour l'irrigation agricole) de plus en plus importants ;
- Par ailleurs, les progrès techniques des deux technologies utilisées en dessalement d'eau de mer se sont traduits par une réduction des coûts d'investissement (taille croissante des unités construites, amélioration des membranes utilisées en osmose inverse (cf. perméabilité et passage de sel)... ) et surtout des coûts de fonctionnement réduits en particulier pour le procédé d'osmose inverse dont la demande en énergie spécifique (kWh/m<sup>3</sup> d'eau produite) a décru de 40 % en 15 ans... Tout cela concourant à rendre l'offre plus attrayante.

Demande forte, offre plus attrayante expliquent donc la croissance globale du marché de plus de 10 % par an et une mondialisation de celui-ci qui s'étend maintenant sur tout le pourtour

Méditerranéen (Espagne et Algérie en particulier), aux Caraïbes, sud des États-Unis, Australie, et récemment Chine, Inde...

Avant de procéder au processus technologique de dessalement, il est nécessaire de prendre connaissance de l'importance de l'eau et de ses propriétés requises à son utilisation.

Dans cette optique, une étude est menée en vue d'explorer le principe d'exploitation de la station de dessalement de TENES et les caractéristiques physico-chimiques des eaux traitées de la station, et à cause de Covid-19 ce travail se fait théoriquement.

Dans un premier temps, on présente une partie bibliographique composé de deux chapitres, le premier sur la généralité et les propriétés de l'eau, et le deuxième sur le dessalement.

Au chapitre III présente le processus de dessalement de l'eau de mer ou niveau de la station de TENES.

Enfin le dernier chapitre est intitulé sur les méthodes analytique et sur les résultats que on prés au niveau de la station.

*Chapitre I*  
*L'eau et ses propriétés*

**I.1 L'eau****I.1.1 Définition**

L'eau (en latin aqua, qui a donné aquatique et en grec hydros qui a donné hydrique, hydrologie), est un élément incolore, inodore et sans saveur, sous forme liquide en condition standards, composé sous sa forme pure de molécules qui associent deux atomes d'hydrogène et un atome d'oxygène, de formule chimique  $H_2O$ . Elle est cependant le constituant principal de tout être vivant [1].

**I.1.2 Importance de l'eau****I.1.2.1 L'eau dans l'organisme humain**

L'eau est le principal constituant du corps humain. La quantité moyenne d'eau contenue dans un organisme adulte est de 65%.

L'organisme élimine en permanence de l'eau. En fin de digestion la plus grande part de l'eau traverse les parois de l'intestin pour aller rejoindre le sang et la lymphe, qui la transportent dans tout l'organisme, notamment vers les reins, la peau et les poumons ; elle sera ensuite éliminée de diverses manières (urine, sueur, expiration).

L'homme doit donc chaque jour subvenir à ses besoins en eau, en buvant, mais aussi en mangeant car les aliments en contiennent beaucoup. Pour maintenir l'organisme en bonne santé, les pertes en eau doivent toujours être compensées par les apports. La soif est d'ailleurs un mécanisme par lequel l'organisme « avertit » qu'il est en état de déshydratation [2].

**I.1.2.2 Eau et alimentation**

Puisqu'elle ne contient ni protéines, ni glucides et ni lipides, l'eau n'est pas un aliment. Elle ne fournit pas d'énergie brute. Par contre, l'eau est essentielle à la vie. C'est grâce à l'eau que le corps peut utiliser l'énergie présente dans les aliments [3]. Au moment de la digestion, outre l'eau apportée par les boissons et les aliments ingérés, l'organisme fournit lui-même plusieurs litres d'eau à l'estomac et à l'intestin grêle pour faciliter la circulation et la digestion des aliments. En fin de digestion, une faible proportion de toute cette eau descend dans l'intestin qui l'élimine avec les résidus de la digestion. Mais la plus grande part traverse les parois de l'intestin grêle et du colon pour aller rejoindre le sang et la lymphe, qui la transportent dans tout l'organisme, notamment vers les reins, la peau et les poumons [4].

Sur le plan quantitatif, les activités humaines consommatrices d'eau traitée sont réparties selon les domaines:

- l'agriculture: 68 % (pour l'irrigation)
- la consommation humaine: 24 %
- l'industrie: 5 %
- production d'énergie: 3 % [5]

### **I.1.2.3 L'eau déminéralisée et risques (muqueuses intestinales)**

Il a été démontré que la consommation d'eau à faible teneur en minéraux a un effet négatif sur les mécanismes homéostatiques. L'homéostasie est la tendance de l'organisme à maintenir ses différentes constantes à des valeurs ne s'écartant pas de la normale (l'homéostasie assure, par exemple, le maintien de la température, du débit sanguin, de la tension artérielle, du pH, des volumes liquidiens de l'organisme, de la composition du milieu intérieur, etc.). Les expériences sur les animaux ont montré à plusieurs reprises que la prise d'eau déminéralisée mène à des hausses de la diurèse, volume de fluide cellulaire supplémentaire, diminution du volume des cellules rouges et certains autres changements hématocrites. Une étude allemande a prouvé que si l'eau distillée est ingérée, l'intestin doit ajouter des électrolytes à cette eau, les prenant des réserves du corps. L'ingestion d'eau distillée mène à la dilution des électrolytes dissous dans l'eau du corps. Une redistribution inadéquate de l'eau du corps peut compromettre la fonction des organes vitaux. Par le passé, des problèmes de santé aigus furent rapportés chez les escaladeurs de montagne qui avaient préparé leurs boissons avec de la neige n'ayant pas assez d'ions nécessaires. Une plus grave tournure d'une telle condition couplée avec un œdème du cerveau, des convulsions et des acidoses métaboliques fut reportée chez des enfants dont les boissons furent préparées avec de l'eau distillée ou de l'eau en bouteille contenant très peu de minéraux [6].

## **I.2 Caractéristiques des eaux marines saumâtres**

### **I.2.1 Les eaux marines**

L'eau de mer est une solution complexe qui contient tous les éléments indispensables à la vie (calcium, silicium, carbone, azote, phosphore, oligo-éléments), des matières organiques (teneur comprise entre 0.5 et 2mg) et, naturellement à l'état dissous, les gaz présents dans l'atmosphère. L'eau de mer est faiblement alcaline. Son pH étant compris entre 7.5 et 8.4 [7]. La caractéristique la plus importante des eaux de mer 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. Cette salinité peut être différente dans le cas de mers fermées [8].

### **I.2.2 Les eaux saumâtres**

On appelle eau saumâtre, une eau salée non potable de salinité inférieure à celle de l'eau de mer. La plupart des eaux saumâtres contiennent entre 1 et 10 g de sels par litre. Ce sont parfois des eaux de surface mais le plus souvent des eaux souterraines qui se sont chargées en sels, en dissolvant certains sels présents dans les sols qu'elles ont traversés. Leur composition dépend donc de la nature des sols traversés et de la vitesse de circulation dans ces sols. Les principaux sels dissous sont le  $\text{CaCO}_3$ , le  $\text{CaSO}_4$ , le  $\text{MgCO}_3$  et le  $\text{Na Cl}$  [8].

### **I.2.3 La répartition de l'eau sur la terre**

Près de 70 % de la surface de la Terre est recouverte d'eau (97 % d'eau salée et 3 % d'eau douce dans différents réservoirs), essentiellement sous forme d'océans mais l'eau est aussi présente sous forme gazeuse, liquide et solide. Selon [9], le volume approximatif de l'eau de la Terre (tous les réserves d'eau du monde) est de 1 360 000 000  $\text{km}^3$ . Dans ce volume, la répartition est la suivante :

- 1 320 000 000  $\text{km}^3$  (97,2 %) se trouve dans les océans.
- 25 000 000  $\text{km}^3$  (1,8 %) se trouve dans les glaciers et les calottes glaciaires.
- 13 000 000  $\text{km}^3$  (0,9 %) sont des eaux souterraines.
- 250 000  $\text{km}^3$  (0,02 %) sous forme d'eau douce dans les lacs, les mers intérieures, et les fleuves.
- 13 000  $\text{km}^3$  (0,001 %) sous forme de vapeur d'eau atmosphérique à un moment donné

### **I.2.4 Propriétés de l'eau**

L'eau est une molécule remarquable dont les propriétés sont présentées ci-dessous :

- L'eau a une force de cohésion élevée (difficile à évaporer)
- (Température d'ébullition particulièrement élevée pour une molécule de cette masse molaire).
- Cela permet à une importante phase liquide d'exister aux températures, connues sur terre (phase liquide indispensable à la vie telle que nous la connaissons).
- Ses propriétés de solvant « doux » (un très grand nombre de réactions biochimiques possible)

- Le fait que la densité de l'eau soit plus grande à l'état liquide que solide, (conséquence remarquable : la glace flotte sur l'eau liquide)
- La densité de l'eau douce soit maximale à 4 °C fait que la température au fond d'un lac ne peut pas descendre en dessous de 4 °C (sauf cas extrêmes). Cela permet à la vie aquatique de survivre aux périodes glacées, car l'eau reste liquide sous son manteau de glace isolant.)
- La tension superficielle particulièrement élevée permet le phénomène de capillarité (qui permet, entre autres, à la sève des végétaux de monter) et à de nombreux êtres vivants de se déplacer sur la surface de l'eau [9].
- L'eau est aussi la seule substance qui existe en trois états : liquide, solide et vapeur. Toutes les autres substances ne peuvent revêtir que deux états physiques seulement [10].

### **I.2.5 Catégories d'eaux douces**

Les différents types d'eaux douces sont définis par [11]. On distingue :

- L'Eau potable
- L'Eau de source
- L'Eau minérale naturelle

#### **I.2.5.1 L'eau potable**

On entend Par eau potable, l'eau naturelle ou traitée qui convient à la consommation, à la cuisson d'aliments, à la préparation de mets et au nettoyage d'objets entrant en contact avec les denrées alimentaires.

#### **I.2.5.2 L'eau de source**

On entend Par eau de source, de l'eau potable conditionnée directement à la source, non traitée ou uniquement traitée au moyen des procédés admis pour l'eau minérale naturelle.

#### **I.2.5.3 L'eau minérale naturelle**

C'est une eau souterraine microbiologiquement irréprochable, provenant d'une ou de plusieurs sources naturelles ou de captages Souterrains artificiels.

### **I.3 Les paramètres de potabilité de l'eau**

L'appréciation de la qualité des eaux de surface se base sur la mesure de paramètres physico-chimiques et chimiques ainsi que sur la présence ou l'absence d'organismes et de

micro-organismes aquatiques [12]. En ce sens, les normes fixent les concentrations maximales admissibles, c'est-à-dire la quantité de telle ou telle substance qu'un individu peut absorber sans danger quotidiennement tout au long de sa vie.

### **I.3.1 Paramètre organoleptiques**

#### **I.3.1.1 La couleur**

Pour l'eau potable, le degré de couleur maximale acceptable est de 15 UCV. Elle peut être due à certaines impuretés minérales (fer) mais également à certaines matières organiques acides humiques, fulviques. Elle doit être éliminée pour rendre l'eau agréable à boire [13].

#### **I.3.1.2 Goûts et odeurs**

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, purement organoleptiques, sont extrêmement subjectives et il n'existe aucun appareil pour les mesurer. Selon les physiologistes, il n'existe que quatre saveurs fondamentales : salée, sucrée, aigre et amère [14].

#### **I.3.1.3 La turbidité**

La turbidité d'une eau est due à la présence des particules en suspension, notamment colloïdales : argiles, limons, grains de silice, matières organiques, la pluviométrie joue un rôle important vis-à-vis de ce paramètre dans les superficielles et souterraines selon leur origine [15].

### **I.3.2 Paramètres physicochimiques**

#### **I.3.2.1 La température**

La température de l'eau, est un facteur qui 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 vivant dans l'eau et particulièrement les microorganismes [16].

**I.3.2.2 pH**

Le pH de l'eau mesure la concentration des protons  $H^+$  contenus dans l'eau. Il résume la stabilité de l'équilibre établi entre les différentes formes de l'acide carbonique et il est lié au système tampon développé par les carbonates et les bicarbonates [17].

**I.3.2.3 Matières en suspension**

Les matières en suspension, représentent l'ensemble des particules minérales et organiques contenues dans les eaux. Elles sont fonction de la nature des terrains traversés, de la saison, de la pluviométrie, de régime d'écoulement des eaux, de la nature des rejets, etc. [18]. Les teneurs élevées en matières en suspension peuvent être considérées comme une forme de pollution [19].

**I.3.2.4 La conductivité électrique**

La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques (Platine) de  $1\text{cm}^2$  de surface et séparée l'une de l'autre de 1cm. L'unité de la conductivité est le Siemens par mètre (S/m). La conductivité donne une idée de la minéralisation d'une eau et est à ce titre un bon marqueur de l'origine d'une eau [20].

**I.3.2.5 La dureté totale**

La dureté d'une eau correspond à la somme des concentrations en cations métalliques, excepté celles des métaux alcalins ( $Na^+$ ,  $K^+$ ) et  $H^+$ . Elle est souvent due aux ions  $Ca^{++}$  et  $Mg^{++}$ . La présence de ces deux cations dans l'eau tend souvent à réduire la toxicité des métaux. La dureté se mesure en mg de  $CaCO_3$  par litre [12].

Dans l'eau, sont déterminés :

- la dureté totale ou titre hydrotimétrique TH qui est la somme des concentrations calcique et magnésienne
- la dureté calcique qui correspond à la teneur globale en sels de calcium
- la dureté magnésienne qui correspond à la teneur globale en sels de magnésium
- la dureté carbonatée correspond à la teneur en hydrogénocarbonate et carbonate de calcium et de magnésium.

**I.3.2.6 Solubilité des gaz dans l'eau**

L'eau contient toujours des gaz dissous dont les concentrations dépendent notamment de la température ainsi que de la composition et de la pression de l'atmosphère gazeux avec

laquelle elle est en contact. La loi de HENRY appliquée à la solubilité des gaz dans l'eau pure, prévoit que, la concentration dissoute d'un composé gazeux dans l'eau est directement proportionnelle à la pression partielle de ce composé dans la phase gazeuse au contact de l'eau [18].

### **I.3.2.7 L'alcalinité**

L'alcalinité d'une eau correspond à la présence de bases et de sels d'acides faibles. Dans les eaux naturelles, l'alcalinité résulte le plus généralement de la présence d'hydrogénocarbonates, carbonates et hydroxydes. D'autres sels d'acides faibles peuvent aussi être dosés et interfèrent dans la mesure : acides humiques, phosphates, citrates, tartrate. Deux titres qui sont le titre alcalimétrique simple (TA) et le titre alcalimétrique complet (TAC). L'unité utilisée est le degré français ( $1^{\circ}f = 10 \text{ mg.L}^{-1}$  de  $\text{CaCO}_3 = 0.2$  milliéquivalent.L<sup>-1</sup>), [18].

### **I.3.2.8 Cations et anions**

Les eaux douces, qu'elles soient d'origine souterraine ou superficielle sont plus ou moins minéralisées par des sels naturels. Il est souvent très important de connaître précisément cette minéralisation en plus des indications données par les paramètres globaux de type « titre » et « potentiel ». Par ailleurs, certains des cations et anions minéraux naturels présents dans les eaux sont considérés comme indésirables ou toxiques selon l'usage auquel l'eau douce est destinée (domestique, agricole, industriel, santé, tourisme, refroidissement...) [18].

#### ➤ Le Calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ )

L'ion calcium est le composé principal de la dureté de l'eau, il se trouve en général à une concentration de 5-500mg/l exprimé en  $\text{CaCO}_3$  (2-200mg en  $\text{Ca}^{2+}$ ) [21].

#### ➤ Le Magnésium ( $\text{Mg}^{2+}$ )

La dureté magnésienne de l'eau représente ordinairement le tiers de la dureté totale, les deux tiers restants correspondent à la dureté calcique, sa valeur est de 10 à 50 mg/l (environ 40-200 mg /l en  $\text{CaCO}_3$ ) [21].

#### ➤ Les Bicarbonates ( $\text{HCO}_3^-$ )

L'ion de bicarbonate est le principal constituant alcalin de la plupart des eaux courantes. On le trouve souvent à une concentration de 5-500mg/L exprimée en  $\text{CaCO}_3$  [21].

➤ Le Chlore ( $\text{Cl}^-$ )

Puisque tous les sels du chlore sont très solubles dans l'eau, le chlore est fréquent dans les réserves d'eau douce à un taux de 10 à 100 mg /l [21].

### **I.3.2.9 Les nitrates et les nitrites**

Ces paramètres sont des indicateurs pertinents de la dégradation des ressources en eau utilisée pour la production d'eau potable. La présence de nitrates dans l'eau d'alimentation peut avoir plusieurs origines :

- une origine liée aux activités humaines (rejets industriels, agricoles et urbains) ;
- une origine naturelle dans la mesure où les nitrates résultent des transformations de l'azote dans les eaux et les sols (cycle de l'azote).

Les nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) et les nitrites ( $\text{NO}_2^-$ ) sont des ions présents de façon naturelle dans l'environnement. Ils sont le résultat d'une nitrification de l'ion ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ), présent dans l'eau et le sol, qui est oxydé en nitrites par les bactéries du genre 'Nitrosomonas', puis en nitrates par les bactéries du genre 'Nitrobacter'. Les nitrates sont très solubles dans l'eau [22]. Les nitrates peuvent être à l'origine de la formation de nitrites et de nitrosamines, responsables de deux phénomènes potentiellement pathologiques: la méthémoglobinémie et le risque de cancer [23].

### **I.3.2.10 Pollution des eaux par les métaux lourds**

La pollution des eaux se fait par des métaux lourds souvent sous forme de traces, qui peuvent provoquer des intoxications chez l'homme par la consommation de l'eau contaminée en dépassant les limites fixées par la réglementation et l'OMS. Ces métaux lourds sont en particulier : Le cadmium, le fer, le plomb, l'arsenic, le nickel, et le bore. Les principaux effets associés aux éléments ci-dessus sont présentés au **tableau I.1** .

**Tableau I.1:** principaux effets associés aux métaux lourds

Elément	Effets
Arsenic (As)	Toxique, possible cancérigène
Cadmium (Cd)	Hypertension, dommages sur le foie, Affections respiratoires, troubles rénaux
Chrome(Cr)	Cancérigène sous forme de Cr(VI), troubles dermatologiques, anémie
Cuivre (Cu)	Peu toxique envers les animaux, toxique envers les plantes et les algues à des niveaux modérés
Mercure (Hg)	Toxicité chronique et aiguë, Troubles du système nerveux (mémoire, fonctions sensorielles de coordination)
Nickel (Ni)	Maladies respiratoires, asthme, malformations congénitales, cancérigène
Plomb (Pb)	Toxique, troubles du système nerveux et cardiovasculaire, fatigue, cancérigène, affection du foie et des reins
Sélénium (Se)	Essentiel à faibles doses, toxique à doses élevée
Zinc (Zn)	Toxique pour les végétaux à de fortes teneurs

### I.3.3 Paramètres microbiologiques

Le risque microbiologique d'origine hydrique (ou risque infectieux) correspond à la présence dans l'eau de microorganismes pathogènes, ou potentiellement pathogènes (opportunistes) et ce en quantité supérieure au seuil d'infection fixé par l'OMS. Parmi ces microorganismes, on distingue les virus, les bactéries et les protozoaires. Le risque microbiologique provient donc du pouvoir pathogène de ces germes qui est conditionné non seulement par les propriétés de l'agent infectieux, mais aussi par la réceptivité de l'hôte. Il convient de préciser que la mise en œuvre de procédés élémentaires de désinfection telle que la chloration de l'eau, permet d'éradiquer totalement les fléaux tels que le cholera, la dysenterie bacillaire ou les fièvres typhoïdes et paratyphoïdes.

*Chapitre II*  
*Généralité sur le dessalement*

## II.1 Généralité sur le dessalement

### II.1.1 Situation du dessalement dans le monde

Le dessalement de l'eau est en très forte croissance dans le monde. L'approvisionnement en eau potable sur le plan quantitatif et qualitatif s'impose de plus en plus, parallèlement aux risques de pollutions (vecteurs de maladies, toxines ou matières en suspension ou agents pathogènes) qui perdurent à chaque étape du parcours de l'eau. La disponibilité géographique en eau douce est inégalement répartie dans le monde.

Face à cette réalité, le dessalement de l'eau de mer est venu s'imposer pour pallier à ce déséquilibre. La capacité installée de dessalement augmente chaque année en moyenne de plus de 10%. Aujourd'hui, plus de 15 000 unités de dessalement dans 120 pays produisent environ 40 millions de m<sup>3</sup>/j, dont les trois quarts issus de l'eau de mer et un quart des eaux saumâtres. Sur ces 40 millions, 75% sont destinés à la consommation humaine, 25% à un usage industriel ou agricole. Rappelons que la capacité mondiale de production en eau potable est de l'ordre de 500 millions de m<sup>3</sup>/j<sup>2</sup>).

La Chine a annoncé 1 million de m<sup>3</sup>/j d'eau de mer traitée en 2010 et jusqu'à 3 millions de m<sup>3</sup>/j en 2020. 60% des besoins en eau douce des pays du Golfe Persique sont satisfaits par le dessalement d'eau de mer. En Méditerranée, la production artificielle d'eau douce par dessalement d'eau de mer ou d'eau saumâtre souterraine a débuté d'abord dans des situations d'isolement insulaire (Malte, Baléares, Dalmatie, Chypre, Cyclades...), littorales (Libye) et désertiques (Algérie), et essaime aujourd'hui très rapidement tout autour de la Méditerranée. L'Algérie et l'Espagne ont clairement opté pour cette option pour résoudre leur problème de pénurie. A ce jour, la Méditerranée représente environ un quart du dessalement mondial. Vers 2030, la région pourrait approcher le chiffre du dessalement mondial actuel (soit environ de 30 à 40 millions de m<sup>3</sup>/j) [24].

### II.1.2 Algérie

L'expérience algérienne en matière de dessalement des eaux est étroitement liée au développement de l'industrie et tout particulièrement de l'industrie pétrolière et sidérurgique. En 1964, trois petits blocs de 8 m<sup>3</sup>/h chacun ont été installés au complexe gaz fondu d'Arzew (ville côtière à l'Ouest du pays), et en 1969, une autre station a vu le jour à Arzew avec une capacité de production de 4560 m<sup>3</sup>/J. Dès lors de nombreuses installations de dessalement et de déminéralisation ont été mises en place en parallèle avec les nouveaux complexes. D'autres installations ont été mises en exploitation pour les besoins en eau de haute pureté

---

nécessaires au processus des complexes de production d'électricité et l'industrie de liquéfaction. Il y a également quelques installations même dans le sud dans les bases pétrolières qui sont destinées principalement à fournir de l'eau de qualité pour la consommation humaine [25].

L'une des stations à grande capacité est celle d'El-Hamma (fonctionnelle en 2007) à Alger produit 200 000 m<sup>3</sup> par jour (plus grande usine de dessalement d'Afrique). Elle permettra de couvrir le tiers des besoins en eau de la capitale Alger. L'autre grand projet de dessalement en réalisation celui d'Oran (ouest du pays), le projet de Mactaa près de Mers El Hadjadj, d'une capacité estimée à 500 000 m<sup>3</sup> par jour est considéré comme l'un des plus grands projets dans le monde. A Tlemcen, deux projets d'une capacité respective de 200.000 m<sup>3</sup> par jour qui sont prévus à la commune de Souk Tlata et à Honein, alors que Beni Saf abritera une station de 200.000 m<sup>3</sup> et Mostaganem deux projets de dessalement de l'eau de mer de 200 000 m<sup>3</sup>.

### **II.1.3 Liste des stations de dessalement en Algérie**

Le littoral de l'Algérie compte 21 stations de dessalement d'eau de mer réparties sur les 14 wilayas côtières et 2 autres en construction, qui relèvent du Ministère des Ressources en Eau (MRE). Elles fournissent 17% de l'eau consommée dans le pays et alimente 6 millions de personnes avec un volume de 2,6 millions m<sup>3</sup>/jour.

✓ **Wilaya de Chlef**

- Station de dessalement de Ténès : 200 000 m<sup>3</sup>/jour d'eau potable.

✓ **Wilaya de Béjaïa**

- Station de dessalement de Béjaïa : 100 000 m<sup>3</sup>/jour d'eau potable.

✓ **Wilaya de Tlemcen**

- Station de dessalement de Souk Tléta : 200 000 m<sup>3</sup>/jour d'eau potable.
- Station de dessalement de Honaïne : 200 000 m<sup>3</sup>/jour d'eau potable.

✓ **Wilaya de Tizi Ouzou**

- Station de dessalement de Tigzirt : 2 500 m<sup>3</sup>/jour d'eau potable.

**✓ Wilaya d'Alger**

- Station de dessalement du Hamma : 200 000 m<sup>3</sup>/jour d'eau potable.
- Station de dessalement de Zeralda (en construction)

**✓ Wilaya de Jijel**

- Station de dessalement de Jijel : 200 000 m<sup>3</sup>/jour d'eau potable.

**✓ Wilaya de Skikda**

- Station de dessalement de Skikda : 100 000 m<sup>3</sup>/jour d'eau potable.

**✓ Wilaya d'Annaba**

- Station de dessalement d'Annaba : 50 000 m<sup>3</sup>/jour d'eau potable.
- Station de dessalement d'Echat (en construction).

**✓ Wilaya de Mostaganem**

- Station de dessalement de Mostaganem : 200 000 m<sup>3</sup>/jour d'eau potable.

**✓ Wilaya d'Oran**

La wilaya d'Oran comprend les stations de dessalement d'eau de mer suivantes:

- Station de dessalement d'Arzew : 90 000 m<sup>3</sup>/jour d'eau potable.
- Station de dessalement de Bousfer : 5 500 m<sup>3</sup>/jour d'eau potable.
- Station de dessalement de Aïn Turck : 5 000 m<sup>3</sup>/jour d'eau potable.
- Station de dessalement de Chatt El Hilal : 200 000 m<sup>3</sup>/jour d'eau potable.
- Station de dessalement de Mactaâ : 500 000 m<sup>3</sup>/jour d'eau potable.

**✓ Wilaya de Boumerdès**

- Station de dessalement de Djinet : 100 000 m<sup>3</sup>/jour d'eau potable.

**✓ Wilaya d'El Tarf**

- Station de dessalement d'El Tarf : 50 000 m<sup>3</sup>/jour d'eau potable.

**✓ Wilaya de Tipaza**

- Station de dessalement de Oued Sebt : 100 000 m<sup>3</sup>/jour d'eau potable.
- Station de dessalement de Douaouda: 120 000 m<sup>3</sup>/jour d'eau potable.

**✓ Wilaya de Aïn Témouchent**

- Station de dessalement de Béni Saf : 200 000 m<sup>3</sup>/jour d'eau potable.

**II.1.4 Définition du dessalement de l'eau de mer**

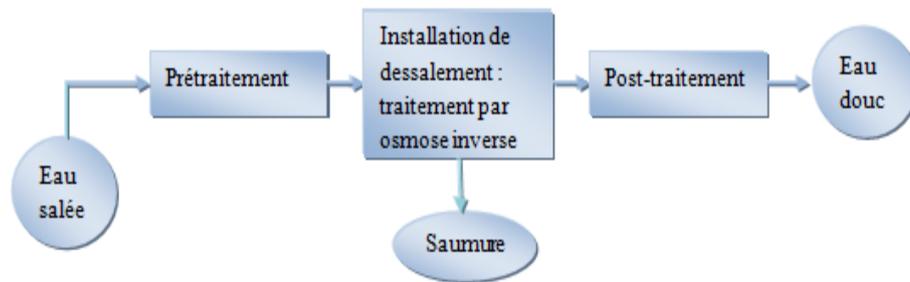
Le dessalement s'appelle aussi désalinisation ou plus rarement dessalage. Il consiste à Séparer l'eau et les sels à partir d'une eau brute, qui peut être de l'eau de mer ou une eau Saumâtre d'origine continentale.

L'eau de mer contient en moyenne 35g/l de sels qui sont essentiellement des chlorures de sodium (76%) et de magnésium(11%), des sulfates de magnésium (5%), de calcium (3,5%) et de potassium (2,4%). Dans l'eau, Les sels sont sous forme d'anions chlorures et sulfates Parallèlement aux catchions sodium, magnésium, calcium et potassium. La salinité de l'eau de mer n'est pas constante. Dans les zones maritimes chaudes et Partiellement fermées elle est plus élevée : en méditerranée elle varie de 36 à 39g/l, dans Le Golfe Persique elle peut monter à un delà de 60g/l. C'est l'inverse dans les mers froides Recevant de forts apports fluviaux : 7g/l dans la Baltique.

**II.1.5 Etapes de dessalement de l'eau de mer**

Le processus de dessalement d'eau de mer se fait en quatre étapes

- ✚ la captation de l'eau de mer
- ✚ le prétraitement
- ✚ Les différents procédés de dessalement
- ✚ le post traitement ou minéralisation



**Figure II.1 :** Schéma général d'une installation de dessalement

### II.1.5.1 Captation de l'eau de mer

Consiste à pomper l'eau de mer vers la station de dessalement, cette eau doit être bonne du point de vue matières en suspension. Sont utilisés dans cette étape deux types de technologies :

Les forages côtiers : soit verticaux soit sous forme de galeries horizontales permettant d'obtenir une eau de très bonne qualité et relativement stables.

La prise d'eau de surface : peut être faite en pleine mer. Dans le cas idéal, le captage doit être effectué en zone profonde, éloigné de la côte, protégé des pollutions et des forts courants [26].

### II.1.5.2 Le prétraitement

Le prétraitement de l'eau de mer avant osmose inverse est absolument nécessaire car les membranes d'osmose inverse sont très sensibles au colmatage et une bonne qualité de l'eau en entrée des modules d'osmose inverse est indispensable pour assurer des performances stables de l'osmose inverse sur le long terme. Les procédés de prétraitement peuvent être divisés en deux catégories : les prétraitements physiques et les prétraitements chimiques.

- Les prétraitements physiques incluent les préfiltres mécaniques, les filtres à cartouche, la filtration à sable et la filtration membranaire.
- Le prétraitement chimique consiste en l'addition d'inhibiteurs d'entartrage, de coagulants, de désinfectants et de polyélectrolytes [27].

**a. Coagulation-floculation**

La coagulation permet de favoriser l'agglomération des colloïdes en diminuant les forces de répulsion électrostatique (liées aux charges superficielles). La floculation consiste à agglomérer ces particules en microflocs puis en floccs plus volumineux décantables. Les substances les plus couramment utilisées sont :

- pour la coagulation : la chaux, l'alun, le sulfate ferrique et le chlorure ferrique,
- pour la floculation : les polymères organiques à longues chaînes de masse molaire élevée [28].

**b. La filtration**

Dans le cas de la filtration sur sable, la séparation s'effectue le long d'un milieu poreux (le sable), plus ou moins tortueux, qui se colmatara en profondeur au fur et à mesure de l'accumulation des particules en suspension lors du passage du fluide. Plusieurs autres types de filtres reposent sur ce principe (filtre à cartouche, filtre à disque,...). Un milieu poreux représente un ensemble de grains ou d'agrégats autour desquels des espaces vides, appelés pores, sont interconnectés ou non. Le matériau doit être perméable à un écoulement de fluide [29].

**c. Le Traitement chimique**

Après filtration à sable, des équipements de dosage font partie de prétraitement chimique appliqué à l'eau de mer avant l'entrée dans les membranes (acidification, addition de bisulfite de sodium et dosage d'anti-incrustant [30].

**d. La filtration de sécurité ou microfiltration**

La microfiltration est assurée par l'utilisation d'un filtre à cartouche type bobiné. Entre le collecteur d'entrée et de sortie, il y'a un manomètre différentiel muni de contact électrique pour alarme, qui indiquera quand il sera nécessaire de remplacer les cartouches filtrantes [30].

**II.1.5.3 Les différents procédés de dessalement**

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, 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 [31].

#### II.1.5.3.1 Procédé de la distillation

L'eau de mer chauffée produite de la vapeur d'eau qu'il suffit de condenser pour obtenir de l'eau pure.

##### **a) Distillation à simple effet**

Permet de reproduire le cycle naturel de l'eau. Dans une enceinte fermée, un serpentin de réchauffage porte à ébullition l'eau de mer. La vapeur produite se condense au contact d'un deuxième serpentin alimenté par de l'eau de mer froide. Un groupe électropompe soutire l'eau condensée, un deuxième, l'eau de mer concentrée [32].

##### **b) Distillation à multiples effets**

Son objectif est d'améliorer la consommation spécifique de l'évaporateur, simple effet. On sait que la température d'ébullition de l'eau varie avec la pression. On peut donc utiliser la chaleur de condensation de la vapeur produite dans une première chambre d'évaporation pour faire fonctionner le faisceau de chauffe d'une seconde chambre à pression et température plus faible et ainsi de suite [26].

##### **c) Distillation avec compresseur de vapeur**

Consiste à une revalorisation de la vapeur d'eau du dernier effet par compression grâce à un compresseur mécanique ou via un éjecteur, on parle alors de thermocompression. La compression par éjecteur nécessite par ailleurs une vapeur motrice [33].

##### **d) Distillation par détente successive ou procédé « Flash »**

Consiste à mettre une enceinte sous vide, isolée et ne contenant que de l'eau de mer. On la maintient en équilibre avec sa vapeur à une température « t » et une pression « p ». Lorsque de l'eau chaude est introduit dans l'enceinte, et que p est inférieure à la pression de saturation, on observe une vaporisation instantanée par détente. La chaleur de la vapeur est transférée à l'eau froide circulant dans les tubes de condenseur. Elle est alors condensée sur un faisceau tubulaire situé dans la partie supérieure de l'enceinte. On peut alors récupérer l'eau distillée pure [34].

### II.1.5.3.2 Procédé membranaires

Au lieu d'extraire par évaporation l'eau douce de l'eau de mer, on peut envisager une séparation de l'eau et des sels dissous au moyen de membranes sélectives. Deux procédés utilisant de telles membranes sont actuellement commercialisés. Ce sont l'électrodialyse et l'osmose inverse.

#### **a. L'électrodialyse**

L'électrodialyse fonctionne sur le principe du rejet d'ions grâce à leur charge. Les techniques de l'électrodialyse sont : la dialyse et l'électro-désionisation.

On distingue trois types d'électrodialyse :

- L'électrodialyse dite conventionnelle (ED)
- L'électrodialyse à membrane bipolaire (EDMB)
- L'électrolyse à membranes (EM)

Le point commun de ces techniques est la mise en œuvre de membranes échangeuses d'ions permettant de transférer des ions de façon sélective sous l'effet d'un champ électrique.

#### **▪ L'électrodialyse dite conventionnelle**

Le terme dialyse désigne la diffusion d'une solution à travers une membrane qui lui est perméable. L'électrodialyse désigne le transfert d'ions à travers une membrane qui leur est perméable sous l'effet d'un champ électrique.

#### **▪ L'électrodialyse à membrane bipolaire**

Les membranes bipolaires sont constituées d'une face perméable aux anions et d'une face perméable aux cations. Sous l'effet d'un champ électrique, l'eau présente au cœur de la membrane est dissociée en ions  $H^+$  et  $OH^-$  générés respectivement par les faces cationiques et anioniques.

#### **▪ L'électrolyse à membranes**

L'électrolyse à membranes est la technique électro-membranaire dans laquelle on couple les effets d'une électrodialyse (migration d'ions au travers d'une membrane semi-perméable) à ceux d'une électrolyse (réaction aux électrodes) [35].

**b. L'osmose inverse**

L'osmose est un phénomène qui tend à équilibrer la concentration en soluté de part et d'autre d'une membrane semi-perméable. C'est un phénomène naturel, notamment à travers les membranes cellulaires [35].

Le phénomène d'osmose va se traduire par un flux d'eau dirigé de la solution diluée vers la solution concentrée. Si l'on essaie d'empêcher ce flux d'eau en appliquant une pression sur la solution concentrée, la quantité d'eau transférée par osmose va diminuer. Il arrivera un moment où la pression appliquée sera telle que le flux d'eau va s'annuler. Si pour simplifier, on suppose que la solution diluée est de l'eau pure, cette pression d'équilibre est appelée pression osmotique. Une augmentation de la pression au-delà de la pression osmotique va se traduire par un flux d'eau dirigé en sens inverse du flux osmotique, c'est-à-dire de la solution concentrée vers la solution diluée ; c'est le phénomène d'osmose inverse [26].

**❖ Installation d'osmose inverse**

Les principaux constituants d'une installation d'osmose inverse sont les suivants :

- La membrane proprement dite
- Le module
- La pompe haute pression (HP)
- Le système de récupération d'énergie

**1. Membrane d'osmose inverse**

Une membrane est une interface physique de faible épaisseur, qui contrôle le transfert d'espèces chimiques entre les deux milieux qu'elle sépare. Cette interface peut être homogène au niveau moléculaire, uniforme en composition et structure, ou elle peut être chimiquement et physiquement hétérogène, contenant des pores de dimensions définies ou contenant des couches superposées [36].

Du point de vue classification, il existe une grande diversité des membranes. Elles sont classées par famille selon leur nature chimique, leur structure et leur forme physique.

**2. Module d'osmose inverse**

Pour être mise en œuvre, les membranes doivent être montées dans des supports appelés modules. Une enceinte résistante à la pression est toujours nécessaire. Il existe quatre types de modules.

### ✚ Modules plans

Les modules plans sont les plus anciens et les plus simples : les membranes sont empilées en mille-feuilles séparées par des cadres intermédiaires qui assurent la circulation des fluides [35].

### ✚ Modules tubulaires

Un module tubulaire contient plusieurs tubes qui peuvent être en série ou en parallèle. L'eau à traiter circule à l'intérieur des tubes et le perméat est recueilli à l'extérieur des tubes. Les tubes constituent des canaux d'écoulement tangentiel [35].

### ✚ Modules spiralés

C'est un module particulier de membranes planes qui sont enroulées autour d'un axe creux collecteur de perméat. L'ensemble est introduit dans une enveloppe cylindrique dont les sections donnent accès à l'entrée de l'alimentation et à la sortie du rétentat [37].

### ✚ Modules à fibres creuses

Ils contiennent plusieurs milliers de fibres dont le diamètre est de l'ordre de 1 mm. Les aiseaux ainsi obtenus sont encollés aux extrémités de façon à assurer l'étanchéité entre le compartiment (perméat) et l'alimentation. L'alimentation peut se faire à l'intérieur (interne-externe) ou à l'extérieur (externe-interne) des fibres creuses, selon que la peau active est à l'intérieur ou à l'extérieur de la fibre creuse [37].

## **3. Pompe à haute-pression HP et système de récupération d'énergie**

Les pompe haute-pression d'alimentation des modules d'osmose inverse destinée au dessalement de l'eau de mer ainsi que les dispositifs de récupération de l'énergie hydraulique du concentrât qui y sont associés, représentent des postes très importants dans la conception des usines de dessalement, tant du point de vue de l'investissement, que de celui de l'énergie électrique nécessaire à leur fonctionnement. Les pompes haute-pression des membranes d'osmose doivent permettre d'assurer un débit d'eau à une pression donnée, tout en absorbant le minimum d'énergie [38].

**II.1.5.4 Le post de traitement ou minéralisation**

En général, l'étape de poste traitement comporte deux phases principales : l'ajustement de pH et la chloration.

**II.1.5.4.1 L'ajustement de pH**

L'eau produite par un des procédés de dessalement est agressive. Son pH est inférieur au pH de saturation. La correction du pH se fait par une solution alcaline, automatiquement par une fonction du pH [30].

**II.1.5.4.2 La chloration**

Il est nécessaire d'assurer une étape de désinfection pour éviter toute contamination et développement biologique. Dans ce contexte, il existe de nombreuses méthodes de désinfection de l'eau, mais la plus utilisée est la chloration de l'eau par l'utilisation d'une solution d'hypochlorite de sodium (eau de Javel). La chloration permet de détruire les organismes pathogènes présents dans l'eau et protéger l'eau contre de nouvelles contaminations ultérieures au cours de son transport ou de son stockage [39].

**II.2 Présentation de la station de dessalement de l'eau de mer à TENES**

Elle est créée pour éliminer la déficience en matière d'alimentation en eau potable des cartiers de la commune côtière Mainis qui reçoit de nombreux estivants en été [30].

La première station de dessalement de l'eau de mer par l'osmose inverse a été installée le 17 janvier 2007 par l'entreprise de traitement hydraulique (hydrotraitement) au niveau de la wilaya de Boumerdes (station monobloc) [30].

En Février 2007, la station a fait l'objet d'un transfert à partir de Corso, wilaya de Boumerdes vers Ténès, les travaux de réalisation de projet ont pris fin le 06 juin 2007. Les premiers essais ont débute le 15 juin 2007 avec le groupe électrogène. Le jeudi 19 juillet 2007, la station a été mise en service [30].

La mise en service finale de la station de dessalement Ténès était en juin 2015 dont la capacité de production est de 200.000m<sup>3</sup>/j par la technique d'osmose inverse, assurant l'approvisionnement en eau potable de plusieurs communes.



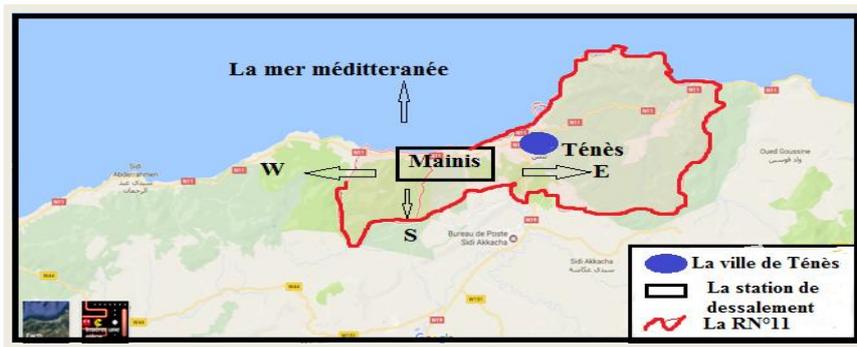
**Figure II.2 :** Vue général sur la station de TENES

L'investissement a été réalisé par l'entreprise « SONATRACH et SONELGAZ » avec 49% et l'entreprise espagnole « ABENGOA » avec 51% de cet investissement.

### II.2.1 Situation géographique

L'unité de dessalement de l'eau de mer à Ténès se situe dans la zone d'expansion touristique de Mainis, à la sortie de ville côtière d'environ 6Km ouest de la ville de Ténès et 60Km de la ville de Chlef, elle s'étend sur une superficie de 6100m<sup>2</sup>, il est limité par :

- ✚ Au Nord : la mer méditerranée
- ✚ Au Sud : la route nationale N°11
- ✚ A l'Ouest : une petite unité de dessalement 5000 m<sup>3</sup>/j (ancienne station).
- ✚ A l'Est : les habitations de Mainis



**Figure II.3 :** Situation géographique de la station

*Chapitre III*  
*Processus de dessalement de*  
*l'eau de mer*

**III.1 Description du processus de dessalement de l'eau de mer**

Le processus du dessalement d'eau de mer comporte quatre étapes principales :

- ❖ La captation de l'eau de mer.
- ❖ Le prétraitement.
- ❖ L'osmose inverse.
- ❖ Le post-traitement.

**III.1.1 La captation de l'eau de mer**

Dans ce cas, la prise d'eau faite en pleine mer à 600m se fait par deux tuyauteries prenant appui sur le fond marin de 10 m, d'un diamètre de 1800 mm chacune, ils permettent de transiter l'eau de mer gravitaire-ment jusqu'au réservoir de collecte. Le débit maximal de capture est de 540000 m<sup>3</sup>/j ce qui implique une capacité excédentaire de 13,26%. Cette tour est dotée d'un système de pré-filtration comprenant des tubes de grilles à gros grains et des tamis autonettoyants, qui permet d'assurer une entrée en eau moins chargée en débris marins et homogène, adéquate pour l'étape suivante [40].

Le captage est effectué en zone profonde d'environ 8m, protégé des pollutions et des forts courants et il n'est pas influencé par les rejets. La pression d'entrée de le de mer est de 2 à 4 bars.



**Figure III.4 :** Captation de l'eau de mer



**Figure III.5 :** les deux beaudrey (des filtres rotatifs)

### III.1.2 Le prétraitement

C'est la deuxième étape du processus de dessalement dont le but est d'éliminer :

- ❖ Les solides en suspension.
- ❖ Les matières organiques.
- ❖ Les micro-organismes.

Elle comporte deux types.

#### III.1.2.1 Prétraitement chimique

##### a. Désinfection

On effectue une chloration de l'eau brute moyennant dosage d'hypochlorite de sodium dans l'émissaire sous-marin et dans la chambre d'aspiration des pompes.

L'hypochlorite de sodium est fabriqué sur place électrolyse. Dans le processus d'électrolyse, l'eau de mer est traversée par une courante électrique grâce à laquelle des bulles d'hydrogène et de chlore vont être formés. Les bulles de chlores réagissent avec l'hydroxyde de sodium, un autre produit de la réaction d'électrolyse, en donnant matière à la formation d'hypochlorite de sodium [40].

##### b. Dosage de métabisulfite de sodium

L'utilisation du métabisulfite de sodium permet d'éliminer le chlore résiduel contenu dans l'eau de mer avant son arrivée aux membranes d'osmose inverse, évitant leur détérioration par oxydation [40].

L'injection de la solution de  $\text{Na}_2\text{O}_5\text{S}_2\text{se}$  se fait par un équipement qui est composé de deux réservoirs d'accumulation-dissolution et d'une pompe doseuse par ligne, plus une réserve [40].

c. Dosage d'inhibiteur anti-scalant

Afin d'éviter la précipitation des sels dans les membranes, on dosera un inhibiteur dont l'action est destinée à empêcher la formation des réseaux cristallines, en maintenant les ions dispersés et en permettant de dépasser limite du produit de solubilité de ces sels [41].

### III.1.2.2 Prétraitement physique

a. Filtre à sable

Ce système élimine la plupart des particules en suspension, huile et graisses qui restent dans l'eau de mer.

Il contient 36 filtres qui sont distribués d'une surface unitaire de 92m<sup>2</sup> avec une longueur de 11,9m et un largeur de 7,9m. Chaque filtre a 3 couches pour mieux éliminer tous les particules, donc la masse bicouche composée d'une couche de gravé, l'anhracite (0.8-1.6mm) et une autre de silice (0.4-0.8mm), La vitesse de filtration sera de 5,19m/h [40].

b. Filtre à cartouche

La microfiltration est assurée par l'utilisation d'un filtre à cartouche pour protéger les pompes à haute pression dans le block d'osmose inverse [40].

Au total, nous avons 22 filtres avec 290 cartouches chacune, dont 10 qui filtrent l'eau d'alimentation aux pompes de haute pression et 12 filtrant le courant d'alimentation aux récupérateurs d'énergie. Les tuyauteries et les collecteurs d'entrée et de sortie des filtres sont en polyester renforcé de verre sont d'un diamètre tel que la vitesse ne dépasse pas les 2,5m/s [41].



**Figure III.6 :** filtres à cartouches

### III.1.2.3 Equipement osmose inverse

#### a. Le pompage haute pression

Avant l'entrée dans les membranes d'OI, l'eau prétraitée arrive au système de pompage de haute pression généralement entre 60 et 70 bars, en fonction des temps rature et de la salinité [40].

#### b. Récupération de l'énergie du concentrât

Le système de récupération d'énergie est au moyen d'une turbine Pelton ; ou la quantité d'énergie récupéré est environ 4 bars c'est-à-dire 5% par rapport à l'énergie consommée par l'unité (1500 KW) [40].



**Figure III.7 :** Système de récupération d'énergie

#### c. Système de membranes d'osmose inverse

Dans cette partie de prétraitement de l'eau, le bloc d'osmose inverse est constitué de 4 unités. Une unité contient 3 Rack donc au totale 12 Racks, chaque Rack contient 196 tubes de pression, et 7 membranes dans chaque tube [40].

L'eau prétraitée est pompée grâce aux pompes HP, rentre dans les racks avec une pression de 65 bar.



**Figure III.8 :** le rack d'osmose inverse

**d. Modules d'osmose inverse**

Le module utilisé dans l'unité d'étude est le module spiralé.

Au sein des modules spiraux, une membrane plane est enroulée sur elle-même autour d'un tube poreux (le collecteur du perméat) qui recueille le filtrat. On obtient ainsi un cylindremulticouche ou le perméat s'écoule selon un chemin spiralé vers le tube poreux tandis que l'alimentation circule axialement dans les canaux [40].

Du coté de l'écoulement de la solution à traité, les couches membranaires sont séparées par une grille en plastique (un support) (espaceur grossier).

**III.1.3 Post de traitement**

Dans la dernière étape de traitement on se fait la reminéralisation de l'eau produite avec la poudre de calcaire ( $\text{CaCO}_3$ ) et le dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ) afin d'atteindre une qualité d'eau dans les normes [40].

L'équation de la réaction est :



Le dioxyde de carbone dissout dans l'eau réagit avec les carbonates de calcium induisant la dissolution de l'ion calcium, la formation de bicarbonate et en conséquence permet la régularisation du pH.



**Figure III.9** : les silos de stockage de  $\text{CaCO}_3$

*Chapitre IV*

*Méthodes d'analyses et*  
*résultats*

## IV.1 Méthode analytiques

### IV.1.1 Analyses physiques

- a. **pH, conductivité, TDS et la température:** ces paramètres ont été mesurés par un appareil multi paramètre de la marque MAYRON, au niveau de laboratoire de la station de Ténès.



Figure IV.10 : appareil multi-paramètre

- b. **La turbidité :** à l'aide d'un turbidimètre de modèle Hanna les mesures sont effectuées.
- c. **Indice de Langelier**

Il est tient compte à la fois de la température, du pH, de l'alcalinité et de la dureté.

L'indice 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. On pourra déterminer si l'eau est balancée ou non chimiquement. Il est calculé par un logiciel qui s'appelle " Equilibre 1".

## IV.1.2 Analyses chimiques

## a. Mesure de la dureté totale TH

Tableau IV.2 : Mesure de la dureté totale

Matériels et réactifs	Mode d'opérateur
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erlenmeyer de 100ml</li> <li>• Fiole jaugée de 50 ml</li> <li>• Burette+ support</li> <li>• Agitateur magnétique + barreau aimanté</li> <li>• Entonnoir</li> <li>• Pipette graduée de 5ml+propipette ;</li> <li>• Solution d'EDTA, 0,01N</li> <li>• Solution Tampon pH=10</li> <li>• Noir d'eriochrome T ,1%</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Avant tout, agiter l'échantillon doucement.</li> <li>2. A l'aide d'une fiole jaugée, introduite 50ml d'échantillon dans un erlenmeyer de 100ml ;</li> <li>3. Ajouter 4 ml de tampon pH 10 à l'aide de la pipette en plastique</li> <li>4. A l'aide de la spatule, ajouter un peu de noir d'erichrome 1% jusqu'à obtenir une couleur rose-violette ;</li> <li>5. Mélanger le tout et commencer à verser l'EDTA goutte à goutte tout en mélangeant énergiquement jusqu'à la coloration bleu-franche ;</li> <li>6. Noter le volume « V » de burette [40].</li> </ol> <p style="text-align: center;"><b>TH en mg/l <math>\text{CaCO}_3 = V \times 20</math></b></p>

## b. Mesure de salinité

La salinité est la présence des sels en eau, elle a été calculée au niveau de laboratoire par la relation suivante :

$$S = 0,03 + 1,805.CI$$

## c. Mesure de sulfate et TSS

L'analyse de sulfate présent dans l'eau de mer ou l'eau usée est détectée à l'aide d'un spectrophotomètre (HACH DR 3900).



Figure IV.11 : Spectrophotomètre

Tableau IV.3 : Mesure de sulfate et TSS

Appareillage et réactifs	Mode opératoire
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Spectrophotomètre HACH DR 3900</li> <li>• Cuvette rectangulaire en verre</li> <li>• Papier pour le nettoyage</li> <li>• Réactif sulfaver powder pillow</li> <li>• Eau distillée</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Démarrer le programme 680 pour le sulfate et 630 pour TSS</li> <li>2. Préparer l'échantillon : faite une dilution de 50fois</li> <li>3. Remplir la cuvette en verre avec 10 ml prélevé de l'échantillon préparé</li> <li>4. Ajouter le contenu d'un sachet de sulfaver powder pillow dans la même cuvette remplis avec l'échantillon</li> <li>5. Agiter la cuvette afin d'homogénéiser la solution, une turbidité blanche se forme à la présence de sulfate</li> <li>6. Démarrer le chronomètre, laisser la réaction s'effectuera pendant 5 minutes. Eviter de bouger ou d'agiter la cuvette pendant ce temps</li> <li>7. 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 <math>\text{SO}_4^{-2}</math> s'affiche sur l'écran de l'instrument ;</li> <li>8. 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 [40].</li> </ol>

**d. Test de chlorure**

C'est une méthode de mesure pour déterminer le taux de chlorure présent dans l'eau de mer, cette méthode s'appelle : la méthode de Mohr est valable pour tous les eaux dont le pH est compris entre 6 et 8.

**Tableau IV.4 : Test de chlorure**

Appareillage et réactifs	Mode opératoire
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Une fiole jaugée de 1 litre et une autre de 100ml</li> <li>• La solution d'AgNO<sub>3</sub> 0.10N</li> <li>• Indicateur coloré K<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub> à 0.5mol/l</li> <li>• La solution NaCl 0.10N</li> <li>• L'eau minéralisée</li> <li>• Un erlenmeyer</li> <li>• Une pipette</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1- Diluer l'échantillon d'eau de mer 5 fois en pipétant 20 ml d'échantillon dans une fiole jaugée de 100ml</li> <li>2- Prélever 10ml de l'échantillon dilué dans un erlenmeyer, ajouter quelques gouttes de K<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub> et doser avec AgNO<sub>3</sub> 0.10N jusqu'à la coloration orange du mélange en agitant constamment. Soit V le volume lu à la burette [40].</li> </ol> $[0.10N.(35,5(g)).1000(mg).V (ml).(5fois)] /10(ml)$ $= (1775.V)(mg/l)$

**e. Teste de l'alcalinité****Tableau IV.5 : Test de l'alcalinité**

Appareillage et réactifs	Mode opératoire
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erlenmeyer de 250 ml</li> <li>• Fiole jaugée de 100 ml</li> <li>• Burette + support</li> <li>• Entonnoir</li> <li>• Pipette graduée de 1ml</li> <li>• HCL 0,02</li> <li>• Méthyle orange 0,4%</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. A l'aide d'une fiole jaugée propre, verser 100 ml d'échantillon dans un erlenmeyer propre de 250 ml</li> <li>2. Ajouter 5 gouttes de méthyle orange dans le même erlenmeyer et mélanger,(on obtient une coloration jaune-orange)</li> <li>3. Verser HCL goutte à goutte tout en mélangeant jusqu'à obtenir le début d'une coloration orange ;</li> <li>4. Noter le volume de burette «V» [40].</li> </ol> $\text{T.A.C en mg/l CaCO}_3 = V.10 (\text{Alcalinité totaux})$

**f. Dosage de calcium et de magnésium :**

C'est un dosage par l'EDTA en présence de soude qui vont réagir avec de l'eau pour permet de définir la quantité de Calcium et de Magnésium présente dans une eau potable.

**Tableau IV.6 :** Dosage de calcium et de magnésium

Appareillage et réactifs	Mode opératoire
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erlenmeyer de 100 ml</li> <li>• Fiole jaugée de 50 ml</li> <li>• Burette + support</li> <li>• Entonnoir</li> <li>• Pipette graduée de 5ml + pro-pipette</li> <li>• Solution EDTA 0,01N</li> <li>• Solution de NaOH 2 N</li> <li>• Murexide.</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. A l'aide d'une fiole jaugée, introduire 50 ml d'échantillon dans un erlenmeyer de 250 ml</li> <li>2. Ajouter 4ml de NaOH 2 N à l'aide de la pipette en plastique</li> <li>3. A l'aide de la spatule, ajouter un peu de murexide jusqu'à obtenir une coloration bien rose</li> <li>4. Mélanger le tout et commencer à verser l'EDTA goutte à goutte tout en mélangeant énergiquement jusqu'à la coloration violette [40].</li> <li>5. Noter le volume « V » de la burette et calculer la concentration en calcium à l'aide de la formule suivante :</li> </ol>

$$\text{Concentration en Calcium en mg/l} = 8,016.V$$

$$\text{Concentration en Calcium en mg/l CaCO}_3 = 20.04.V$$

**Concentration en Magnésium :**

Magnésium (mg/l en CaCO<sub>3</sub>) : c'est la concentration totale des ions (calcium + magnésium) en mg/l en CaCO<sub>3</sub> – Concentration en calcium en mg/l en CaCO<sub>3</sub>.

$$\text{Mg (mg/l en CaCO}_3) = [(\text{Dureté totale} / 50,044) - (\text{Ca}_2 / 20,04)].12,156$$

**g. Le chlore libre :**

L'analyse de chlore ce fait à l'aide d'une appareil spéciale indique le taux de chlore dans l'eau potable, c'est la chlorométrie



**Figure IV.12 :** Appareil d'analyse de chlore

1. Préparation du blanc : remplir une cuvette en verre avec de l'eau distillée, insérer la dans le puits et appuyer sur zéro ;
2. Remplir la cuvette en verre avec 10 ml prélevé de l'échantillon préparé ;
3. Ajouter un sachet indicateur de chlore pour obtenir une coloration rose claire ;
4. Insérer la cuvette dans le puits de l'appareil et appuyer sur READ [40].

#### h. Test de Bore (pour l'eau de mer et le saumure)

**Tableau IV.7:** Test de bore

Appareillage et réactifs	Mode opératoire
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Un bécher, pipette.</li> <li>• Un pH mètre.</li> <li>• Les solutions HI38074A-0, HI38074B-0, HI38074C-0, HI38074D-0, HI38074E-0.</li> <li>• Un sachet de mannitol.</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Dans un bécher verser 50 ml de l'échantillon.</li> <li>2. Ajouter 3 gouttes de HI38074A-0 et mélanger avec le pH mètre jusqu'à l'obtention de la couleur mauve, donc le pH dépasse le 7.</li> <li>3. Ajouter une goutte de HI38074B-0 et mélanger jusqu'à le changement de couleur jaune, donc le pH est de <b>6,97</b>.</li> <li>4. Ajouter le HI38074C-0 pour l'obtention d'un pH est de <b>7,85</b>.</li> <li>5. Ajouter un sachet de mannitol réagent pour obtenir un pH inférieur à <b>7,52</b>.</li> <li>6. Ajouter HI 38074 E-0 à l'aide d'une pipette pour augmenter le pH à <b>7,8</b>, et noter le nombre des gouttes (N = 25 → 5g/l de bore) [40].</li> </ol>

## IV.2 Résultats et interprétations

### IV.2.1 Résultats

Tableau IV.8: Résultats des analyses

Paramètres	Unité	Références OMS	Moyenne	Résultats d'Analyses 28/09/2020		
				13h00	16h00	19h00
pH		7,5 à 8,5	7,79	7,8	7,75	7,89
Température	(C°)	15<TEMP<25	25,21	26,1	26,5	25,1
Conductivité	(µS/cm)		809,83	804,5	800,4	831,1
TDS	ppm	150<MTD<500	396,53	393,0	391,8	405,5
Turbidité	NTU	<5	0,00	0	0	0
Dureté Totale TH	mg/l CaCO <sub>3</sub>	80<DT<150	81,00	80	80	80
Calcium	mg/l		28,36	28,06	28,06	28,06
Calcium	CaCO <sub>3</sub>		70,89	70,14	70,14	70,14
Magnésium	mg/l CaCO <sub>3</sub>		10,11	9,86	9,86	9,86
Alcalinité	mg/l CaCO <sub>3</sub>	>60	86,00	86	85	85
Cl <sub>2</sub>	ppm		0,30			0,27
Bore	mg/l	<1	0,60			
Indice de langelier		0 à 0,4	0,22	0,25	0,20	0,31

### IV.2.2 Interprétations

Il est important de savoir que le contrôle des paramètres des eaux de mer doit répondre aux exigences des normes internationales établis par l'OMS (Organisation Mondiale de la Santé).

Cependant on doit tenir compte des résultats d'analyses obtenus de tous les paramètres avant utilisation afin d'éviter les conséquences nuisibles pouvant provoquées des maladies dangereuses.

D'après les résultats obtenus sur le tableau ci-dessus on constate que les paramètres essentiels répondent aux normes de l'OMS, et sont inclus dans l'intervalle des normes internationales.

# *Conclusion*

### Conclusion

Le recours au dessalement des eaux (et plus particulièrement celles de mer) dans les pays Méditerranéens, et plus particulièrement ceux du sud, deviendra (et le sera davantage), dans un avenir proche, un impératif incontournable, et ce, pour plusieurs raisons.

L'agriculture irriguée, dans le pourtour Méditerranéen, constitue un des secteurs économiques les plus importants, de par sa contribution à l'autosuffisance alimentaire, la création d'emplois dans le milieu rural et le rôle moteur du développement rural de façon générale, mais elle constitue également le grand consommateur d'eau (de l'ordre de 70 à 80% de l'ensemble des usages de l'eau).

Les besoins en eau potable domestique, industriel et touristiques connaissent (et devront connaître encore) un accroissement considérable, pour faire face au développement de l'urbanisation, des secteurs touristique et industriel et de l'amélioration du niveau de vie de la population, plus particulièrement dans le milieu rural.

Le Contexte climatique des pays méditerranéens, et particulièrement de ceux situés au sud de la rive, est caractérisé par une forte variabilité spatiale et temporelle, une fréquence importante des périodes de sécheresse et un déficit annoncé des ressources en eau : le volume d'eau disponible, par habitant, est déjà inférieur à 1000 m<sup>3</sup>/ans et ces pays se trouvent déjà dans une situation de pénurie d'eau, d'après le classement de la Banque Mondiale.

Les Eaux superficielles et souterraines sont de plus en plus difficiles à traiter, à cause de la pollution (sous ses différentes formes). Par conséquent, le coût de leur potabilisation devient de plus en plus cher.

Le dessalement de l'eau a un impact à la fois positif et négatif sur l'environnement.

Le principal effet positif direct est un accroissement des disponibilités en eau.

L'impact positif indirect, sur l'environnement, découle d'une salinisation réduite du sol grâce à une irrigation à base d'eau dessalée par rapport à l'utilisation d'eaux saumâtres.

Les répercussions négatives, sur l'environnement, sont dues à divers éléments:

- ✓ Evacuation de la saumure ou des eaux résiduelles, produites par le dessalement.
- ✓ Additifs chimiques antisalissure ou anticorrosion.

- ✓ Impact visuel, au niveau du paysage ; Bruit.
- ✓ Emission de gaz à effet de serre, dérivant de la consommation d'énergie.

Malgré les nombreux atouts du dessalement, son impact environnemental demeure donc une préoccupation majeure. Ses avantages et inconvénients doivent être évalués en termes de coûts et bénéfices, sociétaux et environnementaux, et comparés aux autres procédés de production d'eau douce.

Pour tout projet de dessalement des eaux (et en particulier des eaux de mer), il est nécessaire de réaliser une étude d'Impact de l'usine de dessalement qui doit se focaliser notamment sur les deux aspects les plus critiques : le rejet des saumures sur l'écosystème marin et l'accroissement de la consommation énergétique, par rapport aux autres alternatives de ressources en eau potable.

# *Références bibliographiques*

### Références bibliographiques

- [1] MERCIER J, 2000. Le grande livre de l'eau. Edition : renaissance du livre (la).ISBN :28046-0341-5.183P.
- [2] BALDERACCHI R, 2009. L'eau dans l'organisme. Centre national de la recherche scientifique (CNRS).
- [3] DUMOULIN L, MANATHA M .M. Boire de l'eau pourquoi et combien ? Révision Médicale : Dr Paul Lépine, M.D., D.O. Le 26 septembre 2005, Mise à jour : mai 2009.
- [4] HUOT, 2010. Eau et santé. La revue Biocontact n°200.
- [5] Jean-Marie, 2009. Traitement des rejets de dessalements de l'eau de mer cas de « les Dunes ». Thèse de master. Université Larbi Tebssi, faculté des sciences et de la technologie, Oran.
- [6] OMS. 2004. Nutrient minerals in drinking-water and the potential health consequences of long-term consumption of demineralized and remineralized and altered mineral content drinking-waters.
- [7] RAPINAT M. 1982. L'eau. Presse universitaire de France.1re édition: 1982 ISBN 2130375626.127 p.
- [8] HUOT A. 2010. Eau et santé. La revue Biocontact, n°200
- [9] DITTMAN, 2009. L'eau introduction.
- [10] MAILLARD H et MORILLON S. 2013. . L'eau source de vie. Association française.
- [11] D.F.I. 2005. Département fédéral de l'intérieur, confédération suisse .Ordonnance sur l'eau potable, l'eau de source et l'eau minérale du 23 novembre 2005 (Etat le 1er janvier 2014). N° 817.022.102
- [12] DEVILLERS J., SQUILBIN M., YOURASSOWSKY C. (2005). Qualité physico-chimique et chimique des eaux de surface. Institut bruxellois pour la gestion de l'environnement, observation des données de l'environnement L'IBGE : "l'eau à bruxelles. Fiche 2.
- [13] ALPHA S. M, 2005. Qualité organoleptique de l'eau de consommation produit et distribuer par l'EDMSA dans la ville de Bamako. Doctorat en pharmacie, université de bamako.
- [14] MONIQUE H. 1991. Les eaux naturelles et les eaux de consommation saint Laurent.
- [15] SAVARY P.2010. Guide des analyses de la qualité de l'eau .territorial éditions .p75-115.
- [16] W.H.O, 1987. Le magazine de l'organisation mondiale de la santé. N°2 : éducation pour la santé.

## Références bibliographiques

---

- [17] HIMMI et al, 2003. Relazione planktonparametri fisici chimici in un bacino dimaturazione (laguna mista Beni Slimane – Morocco. Rivista Di Idrobiologia. Universitadegli studi di perugia, Dipartimento di Biologia Animale ed Ecologia laboratorio Di Idrobiologia “G.B. Grassi”, 110–111p
- [18] RODIER 2009. L’analyse de l’eau .9eme édition© Dunod, Paris, 2009. ISBN 978-2-10-054179-9. 1526p.
- [19] HEBERT, S et LEGERE, 2000. Suivi la qualité des rivières et petits cours d’eau. Québec, direction du suivi de l’état de l’environnement, ministère de l’environnement no ENV-2001-0141, rapport n° QE-123, P24.
- [20] HCEFLCD, 2006. Description et analyse des conséquences du phénomène de dépérissement. Etude du dépérissement du cèdre. Projet d’aménagement concerté des forêts et parcours collectifs de la province d’eflane.
- [21] KEMMER F. N. 1984. Manuel de l’eau.Technique & Documentation Lavoisier.ISBN 285206-220-8.
- [22] INSQ, 2013. Guide de soutien destiné au réseau de la santé : l’évaluation des impacts sociaux en environnement.
- [23] BELGHITI et al., 2013. Etude de La qualité physico -chimique et bactériologique des eaux souterraines de la nappe plio-quaternaire dans la région de Mknès .Maroc. Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n°14, Juin 2013, pp. 21-36 © 2013.
- [24] BOYE.H 2008. Eau, énergie dessalement et changement climatique en méditerrané .Plan bleu centre d’activité régional, conseil général du l’environnement et du développement durable.
- [25] KERTOUS B 2008. Université de Rouen - Rouen .pdf le site web  
<http://fseg.univ-tlemcen.dz/rev%2010%20en%20pdf/KERTOUS%20Mourad.pdf>
- [26] MAUREL A. 2006. Dessalement de l’eau de mer et des eaux saumâtres, 2eme édition, TEC &doc.286p.
- [27] TANSAKUL C. 2009. Procédés hybrides à membranes pour le prétraitement d’eau de mer avant dessalement par osmose inverse. Doctorat. Génie des procédés et de l’environnement Université de Toulouse
- [28] BRGM. 2010. Quelles techniques pour quels traitement- analyse couts, bénéfices. Rapport final.BRGM/ RP-58609-FR.
- [29] CASTAING J. B. 2011. Procédés de traitement de l’eau de mer en conchyliculture pour la sauvegarde et le maintien de la qualité des mollusques bivalves.Thèse de doctorat.génie des procédés. Université de Nante.

## Références bibliographiques

---

- [30] CHENAOUI B.2010. Dessalement de l'eau de mer à la station de MAINIS et son impact sur l'environnement. Séminaire Ouargla. Université de Chlef.
- [31] MANDRI Y. 2011.Etude paramétrique du procédé de dessalement de l'eau de mer par congélation sur paroi froid. Thèse de doctorat, génie des procédés université Claud bernard lyon1,n°d'ordre : CT12.
- [32] TATA-DUDRU .F. 2009. Dessalement de l'eau de mer , bilan des dernières avancées technologiques ; bilan économique ; analyse critique en fonction des contextes. Centre de Montpellier.
- [33] SAMAKE O. 2013. Analyse thermodynamique d'un multiple effets à thermo-compression alimenté par les pertes énergétiques d'un moteur diesel. université de Sherbrooke.
- [34] DAUSSY A., GUERIN M., YAONN A. 2012. Le dessalement de l'eau de mer à Malte. Université de technologie Compiègne.
- [35] BERLAN J M & JUERY C. 2002. le procédé membranaire pour le traitement de l'eau. Office international de l'eau (SNIDE).ministère de l'agriculture, de l'alimentation, de la pêche et des affaires rurales. Direction de l'espace rurale et de la foret- France.
- [36] ARZATE A. 2008. Procédé de séparation membranaire et leurs applications dans l'industrie alimentaire. Revue de littérature. Centre de recherche, de développement et de transfert technologique acéricole inc.
- [37] EL KHABBAZE H. 2008.Traitement des solutions modèles du lait par des membranes de nano filtration et d'osmose inverse .chimie. Thèse de doctorat. Université Mohamed v AGDAL faculté des sciences rabat, Maroc.
- [38] CORSIN P., CEDRIC M. 2003. Les pompes hautes pression adaptées aux usines de dessalement d'eau de mer par osmose inverse, le thème du mois : les pompes, La revue :l'eau, l'industrie, les nuisances, n°265.
- [39] TAHRAOUI D.N. 2010. Qualité des eaux de mer après dessalement au niveau de la station de dessalement de la ville de Ténès (Chlef) et l'impact de dessalement sur l'environnement (milieu aquatique). WATMED5, lille-France.
- [40] Bureau d'étude national eau et Environnement. SPA Alger, janvier 2009
- [41] document de la station. « UTE, desalodra Ténès Opéracion Maiteniments O et M ». juin 2016

# *Annexes*

**Annexe I :** Paramètre selon l’OMS et le journal officiel algérien.

Paramètres	Selon l’OMS	Selon le Journal Algérien	Unité
Ph	9	6.5 - 8.5	
Conductivité	1000	2800	µs/cm
Dureté totale	50	100 - 500	°F
Calcium	100	75 - 200	Mg/L
Magnésium	50	150	Mg/L
Sodium	150	200	Mg/L
Potassium	12	20	Mg/L
Sulfates	250	200 - 400	Mg/L
Chlorures	600	200 - 500	Mg/L
Nitrates	50	50	Mg/L
Nitrites	0.1	0.1	Mg/L
Ammonium	0.5	0.5	Mg/L
Phosphates	5	5	Mg/L
Oxydabilité (KMnO4)	5	3	Mg/L
Oxygène dissout	5	5	Mg/L
Aluminium	0.2	0.2	Mg/L
Température	25	25	°C

**Annexe II :** Résultats des analyses physico-chimiques pour l'eau de mer et la moyenne pour celle de l'eau traitée.

---

<b>Paramètres</b>	<b>Unité</b>	<b>Eau de mer</b>	<b>Eau traitée</b>
<b>Température</b>	° C	18.3	18.22
<b>Ph</b>		8	8.29
<b>Conductivité</b>	µs/cm	54400	1029
<b>Turbidité</b>	NTU	3	0.5
<b>Les solides dissous total</b>	mg/l	37500	525
<b>Les matières en suspension</b>	mg/l	4	-
<b>Alcalinité totale</b>	mg/l	124.90	57
<b>Dureté totale</b>	mg/l	7150	123
<b>Indice de Langelier LSI</b>	-	0.59	0.05
<b>Bore</b>	mg/l	5	1.242
<b>Chlore libre</b>	mg/l	-	0.33
<b>Chlorure</b>	mg/l	20300	-
<b>Calcium</b>	mg/l	420	29.329
<b>Sulfate</b>	mg/l	3400	-
<b>Magnésium</b>	mg/l	1330	3.647
<b>Sodium</b>	mg/l	11650	-
<b>Potassium</b>	mg/l	296.482	8.377
<b>Bicarbonate</b>	mg/l	135	70.02

---

### **Annexe III : La sécurité dans l'entreprise**

La sécurité des personnes figure parmi les premières priorités de l'entreprise. Toute action, même urgente, doit être réalisée en sécurité. Chaque salarié doit avoir connaissance des consignes de sécurité-Environnement et les appliquer pour lui-même. Il doit également s'assurer qu'elles sont appliquées par tous les autres salariés intervenant dans son cadre de travail.

#### **Les protections individuelles :**

- Le port des chaussures de sécurité, du casque, et des lunettes équipées de cordon sont obligatoires dans l'usine, dès le franchissement de l'usine, pour tous les intervenants.
- Le port d'une paire de gants est recommandé pour effectuer les petites manutentions.
- Le port du casque et des lunettes n'est pas obligatoire dans les conduites centralisées et les bureaux usine.
- Les visites usines encadrées autorisées par la Direction, font l'objet de consignes particulières (port des chaussures de sécurité).
- Il faut respecter les obligations complémentaires signalées par panneaux de signalisation ou par consigne (protections auditives, visières, gants, harnais, protections respiratoires,...).

#### **Connaître les règles de l'usine :**

Pour assurer la Sécurité des Personnes, les 6 règles suivantes doivent être systématiquement respectées.

- La condamnation est obligatoire pour chaque intervention sur un équipement mu électriquement, un équipement mécanique, un circuit de fluide.
- Toute intervention dans une enceinte confinée (cuves, silos, fosses) doit faire l'objet d'une Autorisation de travail à risques précisant les mesures de prévention : surveillant de sécurité, condamnation des équipements, actions en cas d'urgence,...
- Toute intervention en hauteur de plus de 1.20 mètre doit faire l'objet de mesures de prévention : plateforme de travail, escabeau, échafaudage. Une chute peut être mortelle.
- Seul le personnel autorisé peut conduire les chariots automoteurs et utiliser la élévatrice. Le personnel doit être en possession de son autorisation de conduire délivrée par la Direction.
- Toute intervention par points chauds dans les zones à risque d'incendie ou d'explosion doit faire l'objet d'une autorisation de travail à risque précisant les mesures de prévention.