



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique



جامعة وهران 2 محمد بن أحمد

Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed

معهد الصيانة والأمن الصناعي

Institut de Maintenance et de Sécurité Industrielle

**Département de Sécurité Industrielle et Environnement**

**MÉMOIRE**

Pour l'obtention du diplôme de Master

**Filière : Sécurité Industrielle**

**Spécialité : Sécurité Industrielle et Environnement**

**Thème**

**Impact de la station de dessalement de l'eau de mer  
« KAHRAMA » sur l'environnement**

Présenté et soutenu publiquement par :

***M<sup>lle</sup>. LOUNIS Fatima Zohra***

***M<sup>lle</sup>. AYAD Ahlem***

Devant le jury composé de :

Nom et Prénom	Grade	Etablissement	Qualité
AISSANI Nassima	M.CB.	IMSI	Président
TAHRAOUI Mohamed	M.AA.	IMSI	Examinateur
HEBBAR Chafika	M.CA.	IMSI	Encadreur

**Juin 2016**

# Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

À la mémoire de mon père avec lequel je n'aurais pas le plaisir de partagé cet évènement, la volonté de Dieu en a décidé autrement, qu'il accueille son âme dans son vaste paradis mais qui est et qui demeurera dans mon cœur et à jamais. J'espère que je serai à la hauteur des valeurs que tu as semé en nous ;

Je le dédie aussi et surtout à celle qui est et qui sera un symbole de courage et qui m'a non seulement accompagné durant toutes les étapes de ma vie, mais aussi guidé et encouragé et n'a lésiner sur aucun moyen. Celle à qui je dois tout, même ma vie, mon adorable mère.

À mes grands frères ;

À toute la famille LOUNIS et MIA MEFTAH ;

À my best Lola qui ne m'a jamais laissé seule ;

À tous chers amis et tous mes collègues de l'institut IMSI;

À tous les enseignants qui ont consacré du temps, de l'énergie et de la patience pour nous; À tous ceux qui ont une relation de proche ou de loin avec la réalisation de ce mémoire.

LOUNIS Fatima Zohra

# Dédicace

*Au Nom de Dieu tout puissant, qui nous a éclairé les chemins du savoir et de la sagesse, je dédie ce modeste travail, avec toute mon affection :*

*Aux deux êtres les plus chers de ma vie, mes parents que Dieu les garde pour moi*

*A mes chères sœurs Amina, Bouchra et Faiza*

*A ma sœur d'âme, mon binôme Tayma*

*A ma meilleur amie Asma*

*A ma chère cousine Hayet*

*A mes oncles, mes tantes, mes cousins, mes cousines et leurs enfants*

*A toutes la famille AYAD et MIMOÛNI*

*A tous mes chers amis et tous mes collègues de l'institut IMSI*

*A toute personne qui m'a aidé à franchir un horizon dans ma vie...*

**AYAD Ahlem**

# Remerciements

Dieu merci pour nous avoir donné la santé, la volonté et le courage sans lesquels ce travail n'aurait pas été réalisé ;

Nous remercions notre tutrice, Mme HEBBAR .CHafika pour ses conseils précieux durant l'élaboration de ce projet, et surtout pour la confiance qu'elle nous a témoignée et qu'elle nous a accordée

Nos profonds remerciements pour les membres de jury qui ont accepté d'évaluer ce travail

Nous tenons aussi à remercier l'ensemble de nos professeurs qui nous ont inculqué leur savoir et leur expérience.

*Nous désirons manifester notre gratitude à toute notre famille et surtout nos parents qui sont toujours intéressée à nos études et nous ont beaucoup aidé qu'ils en croient*

Tous nos remerciements et notre estime à toute personne ayant contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce modeste projet

Nous terminerons en remerciant toute l'équipe de l'institut pour cette formation de qualité

Bien qu'elles soient considérables les ressources en eau ne sont pas infinies et même l'Algérie, qui fut longtemps un pays riche en eau, a dû prendre conscience du problème de l'eau.

Une des solutions pour pallier le manque d'eau potable sont les stations de dessalement. Celles-ci permettent de produire de l'eau potable à partir de l'eau de mer ou d'eaux saumâtres grâce à des techniques particulières.

Notre étude est basée sur la technique MSF de dessalement de l'eau de la mer méditerranée de la station KAHRAMA dans la wilaya d'ORAN.

L'objectif de cette étude est d'effectuer des analyses physico-chimique de l'eau de mer, de l'eau de saumure pour essayer d'expliquer l'influence de ces différents paramètres sur l'environnement et aussi jusqu'à quel degrés ils peuvent influencer sur les problèmes environnementaux.

Un échantillonnage de sept (07) prélèvements d'eau brute et d'eau saumure réalisés à la sortie de la station de dessalement de l'eau de mer KAHRAMA, a été investigué le mois d'avril de l'année en cours 2016. Ces prélèvements ont fait l'objet d'un dosage des paramètres chimiques, physico-chimiques qui constituent les critères déterminants de la sécurité des eaux. Les différentes analyses ont été effectuées au niveau du laboratoire de la Station de Dessalement « KAHRAMA» Les résultats obtenus montrent des teneurs satisfaisantes en ces éléments.

**Mots clefs :** analyse physicochimique, environnement, impact, Dessalement, eau de mer, MSF, Station KAHRAMA.

Though, they are considerable water resources are not infinite and even Algeria, long a water-rich country, had to be aware of the water problem.

One way to overcome the lack of drinking water desalination plants. These can produce drinking water from seawater or brackish water through special techniques.

Our study is based on the technique of stage flash distillation desalination of water from the Mediterranean Sea to the Kahrama station in the wilaya of Oran.

The objective of this study is to perform physical-chemical analyzes of seawater, water from brine to try to explain the influence of these parameters on the environment and also how degrees they can influence on environmental issues ..

A sampling of seven (07) samples of raw water and brine water made out of the sea water desalination plant Kahrama, was investigated in April of the current year 2016. These samples were assayed chemical, physico-chemical parameters that constitute the determining criteria of water safety. The analyzes were performed at the laboratory of the station Desalination "Kahrama" The results show satisfactory levels of these elements.

**Keywords:** physicochemical analysis, environmental impact, desalination, seawater, MSF Kahrama Station

على الرغم من أنّ موارد المياه الكبيرة ليست ضخمة إلى أبعد الحدود، وكذلك بالنسبة للجزائر، التي كانت تعتبر منذ فترة طويلة بلاد غنية بالمياه، وكانت لتكون على بينة من مشكلة المياه.

تعتبر محطات تحلية المياه إحدى طرق التغلب على نقص مياه الشرب بحيث تسمح هذه الأخيرة بإنتاج المياه الصالح للشرب انطلاقاً من مياه البحر أو المياه المالحة الشرب بفضل تقنيات خاصة.

ترتكز دراستنا على تقنية مرحلة التقطير فلاش لتحلية ماء البحر الأبيض المتوسط لمحطة " الكهرماء " بولاية وهران.

إنّ الهدف من هذه الدراسة هو إجراء تحليلات فيزيائية وكيميائية لمياه البحر والمياه من محلول ملحي لمحاولة تفسير تأثير مختلف هذه المعايير على البيئة وكذا معرفة إلى أي الدرجات يمكن أن تؤثر على المشاكل البيئية.

وقد أجري التحقيق بأخذ سبع (07) عينات من المياه الخام ومياه المحلول الملحي المستخرجة من محطة تحلية مياه بحر الكهرماء التي كانت موضوع البحث خلال شهر أبريل من السنة الجارية 2016. حيث كانت هذه العينات موضوع فحص المعايير الكيميائية والفيزيوكيميائية المحددة لسلامة المياه

لقد تمّت مختلف التحليلات على مستوى مخبر محطة تحلية المياه بـ " الكهرماء " وتبيّن النتائج المحصّل عليها محتويات مرض هذه العناصر.

**كلمات البحث:** التحاليل الفيزيوكيميائية، والأثر البيئي، وتحلية مياه البحر، محطة الكهرماء، مرحلة التقطير فلاش.

**PSU** : Pratical Salinity Unit

**MSF** : multi-Stage-Flash distillation (distillation à détente étagées)

**MED** : Multi-Effect- Distillation (distillation à effet multiple)

**OI** : Osmose Inverse

**ED** : Electrodialyse

**VCD** : Distillation par Compression de Vapeur

**T** : températures (C°)

**OMS** : Organisation mondiale de la santé

**HRSG** : Générateur de vapeur par récupération de chaleur

**DRIZ** : Direction Régionale de l'Industrie d'Arzew

**SEOR** : Société de l'Eau et de l'Assainissement d'Oran

**Ppm** : partie par mille

**Li** : Lithium

**Si** : Silicium

**V** : Vanadium

**Mn** : Manganèse

**As**: Arsenic

**Rb**: Rubidium

**Mo**: Molybdène

**SW** : Eau brute

**ER** : Eau de Rejet

**BB** : Eau de saumure

**OI** : Osmose inverse

**FAO** : Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture



	<b>Page</b>
<b>Fig. 1</b> - La disponibilité en eau douce par état en 2007 en m <sup>3</sup> /habitant/an	11
<b>Fig. 2</b> - Capacités de dessalement dans le monde	11
<b>Fig. 3</b> - Capacités de dessalement de l'Algérie entre 2006 et 2011	14
<b>Fig. 4</b> - Emplacement géographique des stations de dessalement en Algérie	15
<b>Fig. 5</b> - Schéma général d'une installation de dessalement	17
<b>Fig. 6</b> - Procédés industrialisés de dessalement	20
<b>Fig. 7</b> - Distillation à simple effet	21
<b>Fig. 8</b> - Système d'évaporateurs multiples effets	22
<b>Fig. 9</b> - Un processus typique de MSF	23
<b>Fig. 10</b> - Distillation à compression de vapeur	24
<b>Fig. 11</b> - Principe de l'osmose et de l'osmose inverse	26
<b>Fig. 12</b> - Principe de l'électrodialyse.	27
<b>Fig. 13</b> – Le complexe KAHRAMA	46
<b>Fig. 14</b> – Evolution du pH en fonction du temps	63
<b>Fig. 15</b> – Evolution de la température en fonction du temps	64
<b>Fig. 16</b> – Evolution des chlorures en fonction du temps.	65
<b>Fig. 17</b> – Evolution des sulfates en fonction du temps.	66
<b>Fig. 18</b> – Evolution de la conductivité en fonction du temps.	67
<b>Fig. 19</b> – Evolution du cation magnésium en fonction du temps.	68
<b>Fig. 20</b> – Evolution du cation calcium en fonction du temps.	68
<b>Fig. 21</b> – Evolution de la salinité en fonction du temps.	69
<b>Fig. 22</b> – Evolution des ions métalliques (fer, cuivre) en fonction du temps.	70

	Page
<b>Tab. 1</b> - Concentrations des éléments principaux pour une eau de mer de salinité de 35 ‰	6
<b>Tab. 2</b> - Concentrations des différents éléments mineurs ( $\mu\text{g/l}$ ) rencontrés Sous forme dissoute, colloïdale ou en suspension	7
<b>Tab. 3</b> - Salinité de différentes mers fermées ou peu ouvertes	8
<b>Tab. 4</b> - Les 21 stations monoblocs de dessalement	13
<b>Tab. 5</b> - Programme de dessalement en Algérie (Ministère Algérien des ressources en eau, 2008).	14
<b>Tab. 6</b> - Différentes installations en Algérie	15
<b>Tab. 7</b> - Les technologies communes de dessalement	18
<b>Tab. 8</b> - Composition de l'eau de mer d'alimentation et des concentrats pour l'usine d'OI de Dhekelia à Chypre	28
<b>Tab. 9</b> – Comparaison (d'un point de vue coût et énergie) entre deux Procédés Distillation thermique et Osmose inverse.	30
<b>Tab. 10</b> - Evaluation de l'énergie destinée à des usines de dessalement	34
<b>Tab. 11</b> indicateurs de durabilité pour une usine MSF à produite simple	34
<b>Tab. 12</b> - Indicateurs de durabilité pour une usine OI avec une source local d'énergie électrique	35
<b>Tab. 13</b> - Résumé des phases de pré-traitement au cours de la production d'eau potable par dessalement	36
<b>Tab. 13</b> - Résumé des phases de post-(b) traitement au cours de la production d'eau potable par dessalement	37
<b>Tab. 14</b> - Valeurs de contrôle Environnemental	48

# Sommaire

---

Dédicaces

Remerciements

Résumé

Abstract

ملخص

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction..... 1

## Chapitre 1 : Généralités sur l'eau et dessalement

1.1	Généralités sur l'eau de mer .....	6
1.1.1	Définition de l'eau .....	6
1.1.2	Importance de l'eau .....	6
1.1.3	Composition de l'eau de mer.....	6
1.1.3.1	Les éléments principaux .....	6
1.1.3.2	Autres éléments minéraux .....	6
1.1.3.3	Matières organiques.....	7
1.1.3.4	Gaz dissous de l'eau de mer.....	7
1.1.3.5	Salinité de l'eau de mer.....	8
1.1.3.6	pH de l'eau de mer.....	8
1.1.3.7	Densité de l'eau de mer .....	9
1.2	Généralités sur le dessalement de l'eau de mer.....	9
1.2.1	Histoire du dessalement.....	9
1.2.2	Dessalement dans le monde.....	10
1.2.3	Dessalement en Algérie .....	12
1.2.4	Etapes de dessalement de l'eau de mer.....	17
1.2.4.1	Les procédés de distillation.....	20
1.2.4.2	Les procédés membranaires.....	25
1.2.4.3	Autres procédés.....	28
1.2.4.4	Comparatif des deux techniques (OI et MSF).....	29

## Chapitre 2 : les impacts environnementaux d'une usine de dessalement

2.1	Origine des émissions et rejets.....	33
2.1.1	Émissions atmosphériques .....	33

## Sommaire

---

2.1.2	Rejets chimiques.....	35
2.1.2.1	Produits de la corrosion .....	35
2.1.2.2	Agents antitartre.....	35
2.1.2.3	Agents antisalissure .....	38
2.1.2.4	Agents anti-mousse .....	38
2.1.3	Saumure concentrée .....	38
2.2	Impact sur l'environnement marin en raison de renvoyer la saumure concentrée à la mer .....	39
2.2.1	Impact sur l'environnement marin en raison de différents produits chimiques .....	39
2.2.1.1	Effets dus aux produits de la corrosion.....	39
2.2.1.2	Effets dus aux additifs antitartres .....	40
2.2.1.3	Effets des additifs antisalissures.....	40
2.2.1.4	Effets des additifs antimousses.....	40
2.2.2	Effets dus au prélèvement d'eau de mer.....	41
2.2.3	Impact de bruit .....	41
2.2.4	Impact sur la couche aquifère.....	41
2.2.5	Impacts marins écotoxicologiques des unités de dessalement des eaux de mer .....	41
2.2.6	Impact de la caléfaction.....	42
2.2.6.1	Impact de la caléfaction sur la qualité de l'eau.....	42
2.2.6.2	Impact de la caléfaction sur les organismes d'estuaire.....	42
2.2.7	Impacts de la salinité.....	43
2.2.7.1	Impacts de la salinité sur la qualité de l'eau du milieu récepteur .....	43
2.2.7.2	Impacts de la salinité Sur les organismes marins .....	43
2.2.8	Impact socio-économique y compris les impacts sur les citoyens.....	44

### Chapitre 3 : Matériels et Méthodes

3.1	Zone d'étude : Station de dessalement de l'eau de mer du Complexe KAHRAMA.....	45
3.1.1	Situation biogéographique.....	45
3.1.2	Historique de la société .....	46
3.1.3	Principales installations du complexe de dessalement.....	47
3.1.4	Description du système .....	48
3.1.5	Description du procédé de dessalement d'eau de mer, traitement d'eau	

## Sommaire

---

dessalée, stockage et livraison .....	49
<b>3.1.5.1</b> Système de prise d'eau de mer.....	49
<b>3.1.5.2</b> Système de dessalement .....	50
<b>3.1.5.3</b> Système de traitement d'eau dessalée.....	52
<b>3.1.5.4</b> Zone de stockage et distribution d'eau produite.....	52
<b>3.1.6</b> Description du procédé de production d'électricité, de la vapeur d'eau et la sous-station électrique .....	53
<b>3.1.6.1</b> Système de gaz combustibles.....	53
<b>3.1.6.2</b> Système de turbine à gaz et générateurs .....	53
<b>3.1.6.3</b> Système de chaudière (HRSG) .....	53
<b>3.1.6.4</b> Sous-station électrique .....	53
<b>3.2</b> Analyse physicochimique des eaux : brute et saumure.....	54
<b>3.2.1</b> Prélèvement d'échantillons .....	54
<b>3.2.2</b> Qualité physique de l'eau.....	54
<b>3.2.2.1</b> pH .....	54
<b>3.2.2.2</b> Conductivité électrique.....	55
<b>3.2.2.3</b> Température.....	56
<b>3.2.3</b> Qualité chimique de l'eau .....	56
<b>3.2.3.1</b> Les substances chimiques dites indispensables.....	56
<b>3.2.3.2</b> Les substances chimiques dites indésirables.....	58
<b>3.2.3.3</b> Contamination métallique.....	59
<b>3.2.3.4</b> Dosage de la dureté totale – TH.....	60
<b>3.2.3.5</b> Mesure de l'alcalinité .....	60

### **Chapitre 4 : Résultats & Discussion**

<b>4.1</b> Le pH et la température .....	62
<b>4.2</b> Les chlorures .....	64
<b>4.3</b> Les Sulfates .....	65
<b>4.4</b> La Conductivité .....	66
<b>4.5</b> Les cations : Calcium et magnésium .....	67
<b>4.6</b> La salinité.....	69
<b>4.7</b> Les ions : le fer et le cuivre.....	69
Conclusion.....	72

### **Référence bibliographiques.**

### **Annexes.**

## Introduction

---

En 2000, Tully affirme que l'eau promettait d'être au 21<sup>ème</sup> siècle ce que le pétrole fut au 20<sup>ème</sup> siècle : le précieux bien déterminant la richesse d'une nation. A la fin du siècle dernier, le nombre de personnes qui n'avait pas accès à l'eau potable est estimé à 1,1 milliards [79]. Les besoins en eau potable augmentent régulièrement avec l'accroissement démographique et l'industrialisation de nombreux pays. Le principal problème de l'accès à l'eau potable est dû à une mauvaise répartition dans le monde mais aussi à une pollution continue des ressources en eau par l'industrie, l'agriculture et les rejets urbains. L'accès à l'eau contribue à l'amélioration de la santé et de la qualité de vie et une pénurie peut influencer à long terme les perspectives de développement durable [70].

L'Algérie se situe, à l'instar des 17 pays Africains touchés par le stress hydrique, dans la catégorie des pays les plus pauvres en matière de potentialités hydriques, soit en dessous du seuil théorique de rareté fixé par la Banque Mondiale à 1000 m<sup>3</sup>/habitant/an. Si en 1962, la disponibilité en eau théorique par habitant et par an était de 1500 m<sup>3</sup>, elle n'était plus que de 720 m<sup>3</sup> en 1990, 680 m<sup>3</sup> en 1995, 630 m<sup>3</sup> en 1998, 500 m<sup>3</sup>, elle ne sera que de 430 m<sup>3</sup> en 2020. La disponibilité en eau potable en Algérie en m<sup>3</sup>/habitant/an dépassera légèrement le seuil des 400 m<sup>3</sup>/ha (OMS, 2004).

La problématique de l'eau est indissociable du développement durable dans la mesure où l'eau doit permettre de répondre aux besoins des générations actuelles sans hypothéquer la capacité des générations futures à satisfaire les leurs. Il faudrait disposer entre 15 et 20 milliards de m<sup>3</sup> par an, en réservant 70% à l'agriculture, pour parvenir à une sécurité alimentaire satisfaisante.

La pression exercée sur ces ressources ne cessera de s'amplifier sous les effets conjugués de la croissance démographique et des politiques appliquées vis-à-vis des activités consommatrices d'eau. Cette situation liée à la faiblesse de la ressource, aggravée par la sécheresse, impliquera ipso facto entre les différents utilisateurs, des conflits sérieux qui nécessiteront inmanquablement des arbitrages malaisés pour les pouvoirs publics, et ce d'autant que les besoins en l'alimentation en eau potable (AEP) seront multipliés par 2,5 environ en vingt cinq ans et qu'ils représenteront pratiquement 40 % des ressources mobilisables vers l'an 2025 [80]. Le 21<sup>ème</sup> siècle s'annonce sous le signe d'une aggravation des pénuries d'eau, particulièrement dans les régions occidentales du pays en dépit du recours à d'autres formes de mobilisation de l'eau [80].

## Introduction

---

Le territoire algérien s'étend sur 2,4 millions de km<sup>2</sup>. Du Nord au Sud, on trouve trois ensembles très contrastés, différents par leur relief et leur morphologie. Tout d'abord, la chaîne du Tell et le littoral, puis la chaîne de l'Atlas qui longe les Hautes Plaines plus au Sud, enfin, le désert saharien qui s'étend au-delà du massif de l'Atlas. C'est cette disposition du relief qui, avec les conditions climatiques, détermine le potentiel agricole et les ressources en eau du pays. La majeure partie du pays (87%) est un désert où les précipitations sont quasi nulles, mais qui recèle d'importantes ressources fossiles d'eaux souterraines. La partie Nord du pays est caractérisée par son climat méditerranéen, dispose de ressources en eau renouvelables, tant pour les eaux de surfaces que pour les nappes phréatiques. Les 90% des eaux de surface sont situées dans la région du Tell qui couvre environ 7% du territoire. Le pays est également caractérisé par une forte disparité entre l'Est et l'Ouest. La région Ouest est bien dotée en plaines mais est peu arrosée. La partie Est du pays est une zone montagneuse où coulent les principaux fleuves [81].

Le climat de l'Algérie connu pour sa grande diversité spatiale et sa grande variabilité interannuelle distingue :

- une variabilité spatiale et temporelle marquée. S'il pleut uniquement 350 mm en moyenne dans la région Ouest, cette moyenne peut dépasser les 1000 mm à l'Est et atteindre, certaines années, les 2000 mm sur les reliefs élevés.
- une pluviométrie qui décroît rapidement vers le Sud. A la lisière du Sahara, la moyenne devient inférieure à 100 mm.
- une concentration des précipitations en un nombre réduit de mois durant l'année (de décembre à avril représentant les 5 mois les plus productifs).

L'eau est une substance essentielle à la survie et au développement de l'humanité. Mais que va devenir cette fragile ressource ? Pour mieux préserver l'avenir en matière de dégagement et de mobilisation des ressources en eau, il est plus judicieux de repenser la planification des ressources en eau conventionnelles dans le cadre d'une vision globale qui intègre également l'utilisation des ressources en eau non conventionnelles notamment le dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres.

## Introduction

---

La nécessité de dessaler l'eau de mer se fait de plus en plus pressante dans de nombreuses parties du monde. Au cours des années 1950 – 1990, la consommation mondiale d'eau a triplé, tandis que la population de la planète augmentait de 2,3 milliards d'habitants. En Méditerranée, les besoins en eau présents et futurs accusent une croissance effective [82].

La technique de dessalement peut traiter les eaux de différentes origines : l'eau de mer (dont la concentration en sels varie entre 35.000 à 49.000 ppm), l'eau saumâtre et l'eau souterraine (où la concentration varie de 1.000 à 10.000 ppm), l'eau de drainage, l'eau usée, l'eau polluée par les métaux lourds, et l'eau polluée par les radioactifs. L'eau dessalée peut être destinée vers de nombreux domaines comme: la consommation humaine, l'industrie, l'irrigation, production de l'eau embouteillée, production de l'eau distillée, secteur de tourisme [75].

Le dessalement est depuis longtemps une source d'eau importante dans certaines parties de la Méditerranée. Les usines de dessalement se trouvent dans les régions ayant un climat chaud, une pluviométrie relativement faible et imprévisible et où les ressources en eau ne peuvent répondre aux demandes de pointe de la période touristique [11].

Le dessalement de l'eau de mer est, dans les pays méditerranéens, une industrie en essor constant. Cette forme de ressource en eau, pratiquement illimitée, consomme de l'énergie et a des impacts sur l'environnement. Ces impacts proviennent principalement du concentré (saumure) produit au cours du dessalement, mais aussi des rejets de produits chimiques utilisés dans les procédés de dessalement.

Bien que le nombre de publications scientifiques consacrées à la question soit restreint, le rejet de concentré dans la mer appelle une vigilance particulière et une évaluation scientifique des impacts possibles sur le milieu marin. Il ne fait aucun doute que les pays méditerranéens qui utilisent le dessalement pour couvrir leurs besoins en eau douce devraient appliquer des lignes directrices ou des procédés appropriés pour l'élimination de la saumure, conformément aux dispositions des protocoles telluriques et par immersion.

Nous nous proposons à travers ce mémoire d'étudier l'impact du dessalement de l'eau de mer sur l'environnement. Ces impacts proviennent principalement du rejet (saumure) produit au cours du dessalement mais aussi des rejets de produits chimiques utilisés dans le



## Introduction

---

nettoyage de l'évaporateur et de réchauffeur de saumure. En effet, ces rejets provoquent des dommages potentiels pour le milieu récepteur (milieu marin). Bien que les travaux de recherche consacrés à la question soient restreints, le rejet de concentré dans la mer appelle une vigilance particulière et une évaluation scientifique des impacts sur la faune et la flore.

L'objectif de ce travail consiste à effectuer des analyses physico-chimiques de l'eau de mer, de l'eau de saumure menée au niveau de la Station de dessalement **KAHRAMA** (Arzew) pour essayer d'expliquer l'influence de ces différents paramètres sur l'environnement et aussi jusqu'à quel degré ils peuvent influencer sur les problèmes environnementaux.

Un échantillonnage de sept (07) prélèvements d'eau brute et d'eau saumure réalisés à la sortie de la station de dessalement de l'eau de mer KAHRAMA, a été investigué sur le mois mars de l'année en cours 2016. Ces prélèvements ont fait l'objet d'un dosage des paramètres chimiques, physico-chimiques qui constituent les critères déterminants de la sécurité des eaux. Les différentes analyses ont été effectuées au niveau du laboratoire de la Station de Dessalement de KAHRAMA. Les résultats obtenus montrent des teneurs inquiétantes en ces éléments.

Après une introduction générale à notre travail, ce mémoire s'organise en quatre chapitres :

Le premier chapitre apportera des généralités sur l'eau et le dessalement.

Le second chapitre est destiné à caractériser les impacts environnementaux d'une station de dessalement.

Le troisième chapitre est relatif à la méthodologie de travail abordée dans cette étude, en dressant un bilan de connaissances sur la zone d'étude qui est la station de dessalement KAHRAMA (Arzew).

Le quatrième chapitre est consacré à l'étude et à la discussion des résultats obtenus de l'étude abordée en mois d'avril de l'année en cours 2016.

Enfin on termine notre étude par une conclusion et quelques recommandations utiles.

### **Objectifs visés de l'étude**

- Donner un aperçu sur la composition de l'eau de mer et sur le dessalement ;
- Fonctionnement du processus d'une installation de dessalement ;

## Introduction

---

-L'évaluation des résultats d'analyses physico-chimiques des échantillons pour voir les impacts de dessalement de la station sur l'environnement.

-Démontrer l'efficacité de la station de dessalement des eaux (KAHRAMA) par le procédé MSF à partir de la discussion des résultats d'analyses physico-chimiques des eaux brute et saumure et si l'installation présente un impact environnemental à court ou à long terme.

# Chapitre 1: Généralités sur l'eau et le dessalement

## 1.1 Généralités sur l'eau

### 1.1.1 Définition de l'eau

L'eau est un corps incolore, inodore et sans saveur à l'état pur, et est liquide à température ordinaire. Elle est formée de deux volumes hydrogénés et un volume d'oxygène,[8].

### 1.1.2 Importance de l'eau

L'eau est indispensable à tous les êtres vivants, il est possible de jeuner un mois sans danger considérable, mais on ne peut être privé d'eau plus de 48 heures sans risque. L'eau nous permet d'éliminer nos déchets par les urines, de lutter contre la chaleur par sudation et la ventilation pulmonaire, de transporter des vitamines hydrosolubles qui seront grâce à l'eau mieux absorbée par les muqueuses intestinales. En revanche une perte d'eau de 12% peut provoquer la mort,[2].

### 1.1.3 Composition de l'eau de mer

#### 1.1.3.1 Les éléments principaux

Si la masse totale des sels dissous peut varier, le rapport des concentrations des différents éléments est stable. Les éléments principaux, c'est-à-dire ceux qui contribuent d'une façon notable à la masse de sels dissous dans les océans, représentent 11 éléments différents dont les concentrations sont mentionnées dans le tableau 1 [2].

**Tab. 1 - Concentrations des éléments principaux pour une eau de mer de salinité de 35 ‰ [3].**

Eléments	Concentration (mg /kg)	Eléments	Concentration (mg/kg)
Chlorure ( $\text{Cl}^{2-}$ )	19353	Sodium ( $\text{Na}^+$ )	10160
Sulfate ( $\text{SO}_4^{2-}$ )	2 712	Magnésium ( $\text{Mg}^{2+}$ )	1 249
Bicarbonate ( $\text{HCO}_3^-$ )	142	Calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ )	413
Bromure ( $\text{Br}^-$ )	67	Potassium ( $\text{K}^+$ )	387
Fluorure ( $\text{F}^-$ )	1	Strontium ( $\text{Sr}^{2+}$ )	8
Bore	4		

#### 1.1.3.2 Autres éléments minéraux

L'eau de mer contient de nombreux autres éléments à des concentrations beaucoup plus faibles (**tab. 2**). Ces éléments, malgré leur faible concentration, ont une

## Chapitre 1: Généralités sur l'eau et le dessalement

importance certaine dans des processus biologiques et organiques ; ils peuvent se trouver sous différentes formes (dissous, colloïdaux ou en suspension).

**Tab. 2 - Concentrations des différents éléments mineurs ( $\mu\text{g/l}$ ) rencontrés sous forme dissoute, colloïdale ou en suspension [4].**

Eléments	Concentrations en $\mu\text{g/l}$	Eléments	Concentrations en $\mu\text{g/l}$
<b>Li</b>	<b>170</b>	<b>Cu</b>	<b>3</b>
<b>Al</b>	<b>10</b>	<b>Zn</b>	<b>10</b>
<b>Si</b>	<b>3000</b>	<b>As</b>	<b>3</b>
<b>P</b>	<b>70</b>	<b>Rb</b>	<b>120</b>
<b>Ti</b>	<b>1</b>	<b>Mo</b>	<b>10</b>
<b>V</b>	<b>2</b>	<b>I</b>	<b>60</b>
<b>Mn</b>	<b>2</b>	<b>Ba</b>	<b>30</b>
<b>Fe</b>	<b>10</b>	<b>U</b>	<b>30</b>
<b>Ni</b>	<b>2</b>		

Un litre d'eau de mer contient entre 30 à 40 g de sels alors que les matières en suspension représentent quelques dizaines de mg par litre [4].

### 1.1.3.3 Matières organiques

Les basses concentrations de matières organiques dans l'eau de mer rendent leur analyse chimique très compliquée. Les composés sont difficiles à isoler car dilués dans un milieu contenant beaucoup d'autres éléments à de plus fortes concentrations. Parmi les matières organiques dissoutes, on trouve des chlorophylles et caroténoïdes, de la vitamine B12, des monosaccharides, des amino-acides. Les matières organiques particulières sont principalement constituées d'animaux et végétaux du zooplancton et peuvent représenter 10 à 60% de la matière en suspension [4].

### 1.1.3.4 Gaz dissous de l'eau de mer

Les gaz dissous présents dans l'eau de mer sont l'azote (64%), l'oxygène (34%) et le dioxyde de carbone (1,8 %). Les concentrations diminuent lorsque la température et la profondeur augmentent [5].

## Chapitre 1: Généralités sur l'eau et le dessalement

### 1.1.3.5 Salinité de l'eau de mer

La salinité est le caractère essentiel de l'eau de mer. La présence de sels dans l'eau modifie certaines propriétés (densité). D'autres éléments (viscosité, absorption de la lumière) ne sont pas influencés de manière significative.

La salinité observée dans les différents océans ou mers résulte d'un équilibre entre l'évaporation, la pluie et les apports des fleuves, d'une part, et d'échanges d'eau avec les autres mers ou océans auxquels ils sont reliés d'autre part [6]. Elle est de l'ordre de 35g/l et est considérée comme salinité standard de l'eau de mer. Des variations plus ou moins importantes autour de cette valeur moyenne existent en fonction du bilan précipitation-évaporation [7].

La salinité se mesure en PSU (Practical Salinity Unit), unité reposant sur la conductivité de l'eau de mer, équivalente au pour mille (‰) ou encore au g/kg [1]. La salinité peut être très différente dans le cas des mers fermées ou peu ouvertes sur les masses océaniques comme l'illustre le **tableau 3** [6].

**Tab. 3 - Salinité de différentes mers fermées ou peu ouvertes [6].**

Origine	Salinité (g/l)
Mer baltique	17
Mer noire	22 à 25
Océans atlantique et pacifique	32 à 38
Mer méditerranée	37 à 40
Mer rouge- Golf Arabique	40 à 47
Mer morte	270

### 1.1.3.6 pH de l'eau de mer

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

Dans certaines conditions comme les baies, les estuaires, le pH peut prendre des valeurs particulières notamment dans des bassins isolés où il peut y avoir production d'H<sub>2</sub>S. Le pH peut approcher des valeurs voisines de 7 ou tomber à des valeurs nettement

## Chapitre 1: Généralités sur l'eau et le dessalement

---

plus acides.

Le pH des eaux de mer décroît avec une augmentation de température. Pour une eau de chlorinité de 19,5‰ et de pH= 8, une élévation de température de 1°C, entre 10°C et 20°C, diminue le pH de 0.0109 [9]. De même, une augmentation de pression de 100 bar produit une diminution du pH de l'ordre de 0,02 (pour un pH de 8.3).

### 1.1.3.7 Densité de l'eau de mer

La densité des océans est en moyenne de l'ordre de 1,035 à 1,036 ; elle varie avec la salinité, la température et la pression [10].

## 1.2 Généralités sur le dessalement de l'eau de mer

Les ressources conventionnelles souterraines sont menacées d'épuisement ou de dégradation, alors que la demande d'eau potable ne cesse d'augmenter. Le dessalement d'eau de mer ou d'eau saumâtre fait partie des solutions envisagées pour limiter la surexploitation des nappes, et constituer une source supplémentaire d'eau de bonne qualité. Le dessalement est donc un des enjeux majeur pour le développement économique et social du pays [3].

Le dessalement s'appelle 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 [12].

Le choix de la solution « dessalement » doit faire l'objet d'une comparaison technico-économique avec le transfert de l'eau douce. Le dessalement permet :

- ✓ le renforcement des ressources en eau ;
- ✓ l'amélioration de la qualité de l'eau distribuée ;
- ✓ la sécurisation de la desserte des grands pôles de consommations localisés sur les zones côtières.

### 1.2.1 Histoire du dessalement

L'idée de fabriquer de l'eau pure à partir de l'eau de mer tourmente les populations assoiffées depuis des milliers d'années. La prémisse originale reposait sur l'idée que, par ébullition ou évaporation, l'eau pouvait être séparée du sel. Cette théorie constituait le fondement de la technologie des premières installations de dessalement à

## Chapitre 1: Généralités sur l'eau et le dessalement

---

grande échelle qui apparurent dans les années 50 et 60, principalement au Moyen- Orient. Cependant, les technologies qui emploient la chaleur requièrent de grandes quantités d'énergie [11].

### 1.2.2 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.

Aujourd'hui, les usines de traitement concernent à 90% l'eau de mer et à 10% les eaux saumâtres (nappes souterraines salines). Près de 60 millions de m<sup>3</sup> d'eau douce sont produites chaque jour par 17 000 installations réparties dans 120 pays, à partir des mers. Cela correspond à moins de 1% de l'eau consommée sur la planète mais au rythme actuel (doublement tous les 10 ans) elle pourrait atteindre plus de 120 millions de m<sup>3</sup>/j en 2025, soit 44 km<sup>3</sup>/an (contre 18 km<sup>3</sup>/an en 2008). Cela correspond aux 2/3 des besoins domestiques en eau des 450 millions de foyers qui seront sous le seuil minimum d'accès à l'eau en 2025 [13].

Avec plus de 17 000 unités installées sur la planète, qui représentent aujourd'hui environ 51 millions de m<sup>3</sup>/jour d'eau produite, il est estimé que la production d'eau dessalée se situera à 109 millions de m<sup>3</sup>/jour prévue en 2016. En termes de potentialité de marché, la banque d'affaires Goldman Sachs parle de 5 milliards de dollars de chiffre d'affaires annuel, avec une progression attendue de 10 à 15 % par an [15].

En 2008, la FAO montre que la disponibilité géographique en eau douce est inégalement répartie dans le monde (fig. 1). 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.

# Chapitre 1: Généralités sur l'eau et le dessalement

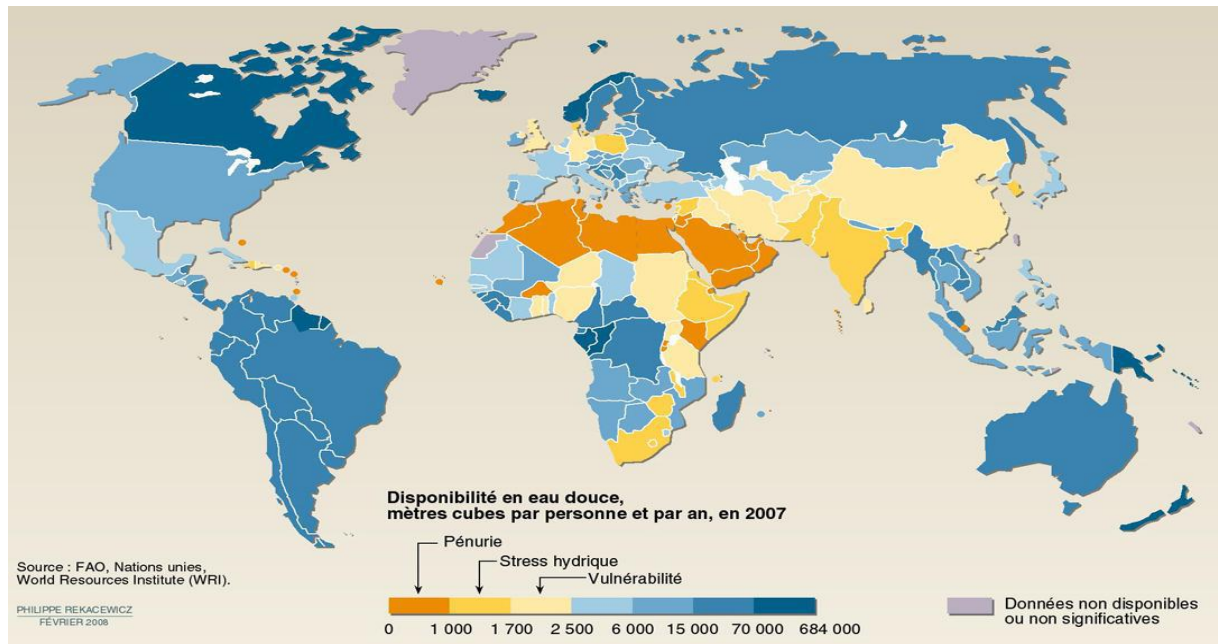


Fig. 1 - La disponibilité en eau douce par état en 2007 en m<sup>3</sup>/habitant/an [14].

Patier & Blanchon (2010) affirment que la capacité mondiale de production en eau potable est de l'ordre de 500 millions de m<sup>3</sup>/j (fig. 2),[30].

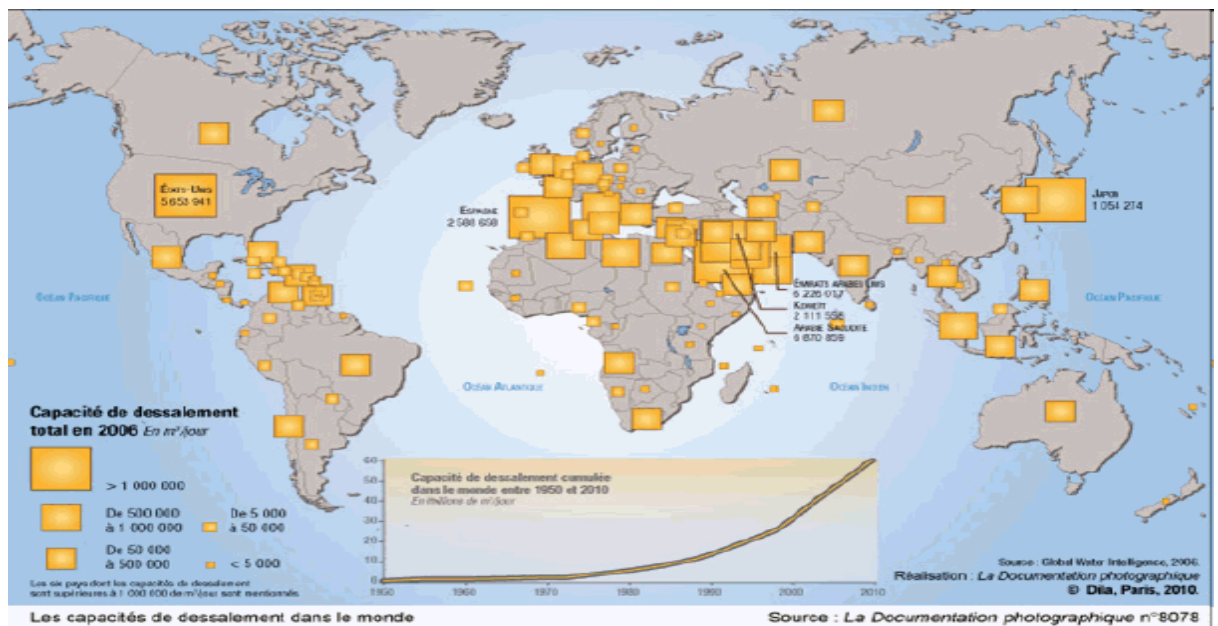


Fig. 2 - Capacités de dessalement dans le monde [30].

En 2008, les principaux pays producteurs d'eau dessalée sont l'Arabie Saoudite (25 %), les États-Unis (15 %), les Émirats Arabes Unis (10 %) et le Koweït (5 %). L'Europe représente 12,9 % dont 3,4 millions en Espagne et 0,8 en Italie et l'Asie 15,1% dont 1,5 million au Japon, 1 en Corée du Sud, 1,1 en Chine, 0,8 en Inde, 0,6 à Taiwan et 0,5 à



## Chapitre 1: Généralités sur l'eau et le dessalement

---

Singapour. Au Qatar le projet de Ras Laffan C prévoit une usine de 286 000 m<sup>3</sup>/j de capacité pour 2011. Aux Emirats Arabes Unis, Suez a installé en 2003 à Fujairah une usine de dessalement de 455 000 m<sup>3</sup>/j [13].

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) [31].

### 1.2.3 Dessalement en Algérie

L'Algérie est un pays qui possède des ressources hydriques limitées pour des raisons climatiques capricieuses, caractérisé par une pluviométrie irrégulière oscillant entre 100 et 600 mm/an et enregistrant un déficit hydrique estimé à 20% [12].

L'accroissement rapide de la demande en eau dans les secteurs de l'irrigation, de l'industrie ainsi que besoins incompressibles de la population ont amené les pouvoirs publics à mobiliser de en plus de ressources superficielles [36].

L'Algérie est un pays semi- aride, voir même aride (200 mm à 400 mm de pluie par an) et les ressources en eau sont faibles, irrégulières, et localisées dans la bande côtière, l'apport total des précipitations serait de l'ordre 100 milliards de mètres cubes d'eau par an dont 12,4 milliards de mètres cubes sont mobilisables en tenant compte des sites favorables techniquement (hydrologie, topographie, géologie). La demande en eau douce, croit chaque année de 2 à 3%, tandis que les ressources naturelles restent invariables. Pour faire face à cette pénurie d'eau surtout dans les grands centres urbains où les ressources conventionnelles ne suffisent plus, les nouvelles techniques de production d'eau potable ont été mises en place pour satisfaire les besoins de la population croissante. Une des techniques prometteuses pour l'Algérie est dessalement de l'eau de mer pour les villes situées en bordure de côtes [40].

Actuellement le volume dessalé mobilisé est: 111,45 millions de m<sup>3</sup> par an dont :

- 105,85 Hm<sup>3</sup>/an sont produits par les grandes stations de dessalement de l'eau de mer;

## Chapitre 1: Généralités sur l'eau et le dessalement

- 5,60 Hm<sup>3</sup>/an sont produits par les stations monoblocs de dessalement de l'eau de mer.

Les stations monoblocs au nombre de 21 de dessalement d'eau de mer pour une capacité globale de 57.500m<sup>3</sup>/Jour ont été réalisées au titre du programme d'urgence (sécheresses répétées dans l'ouest et centre du pays). Ce programme d'urgence a été réalisé par deux entreprises (**tab. 4**). Toute fois, l'Algérie a lancé ces dernières années, un programme ambitieux d'installations de stations de dessalement pour faire face à des problèmes d'alimentation en eau qui s'accroissent par l'explosion démographique, le développement industriel et agricole ainsi que la sécheresse. Un nombre que les autorités comptent atteindre 43 à l'horizon 2019 pour répondre aux besoins domestiques nationaux [46].

Selon les prévisions du Centre de recherche de dessalement au Moyen-Orient (Medrec), l'Algérie est appelée ainsi à se classer derrière l'Arabie saoudite, les Emirats arabes unis et les USA. L'Algérie sera à l'abri grâce aux méga stations qui sont ou seront réalisées d'ici à 2019 dont la plus grande station de dessalement de la Maqtaa d'une capacité de production de 500 000 m<sup>3</sup>/j et plus de 30 stations d'une capacité allant de 2 500 à 5 00 000 m<sup>3</sup>/j, et produire plus de 2,5 millions de m<sup>3</sup> /j à travers ce vaste programme (**tab. 5, fig.3**).

**Tab. 4 - Les 21 stations monoblocs de dessalement [40].**

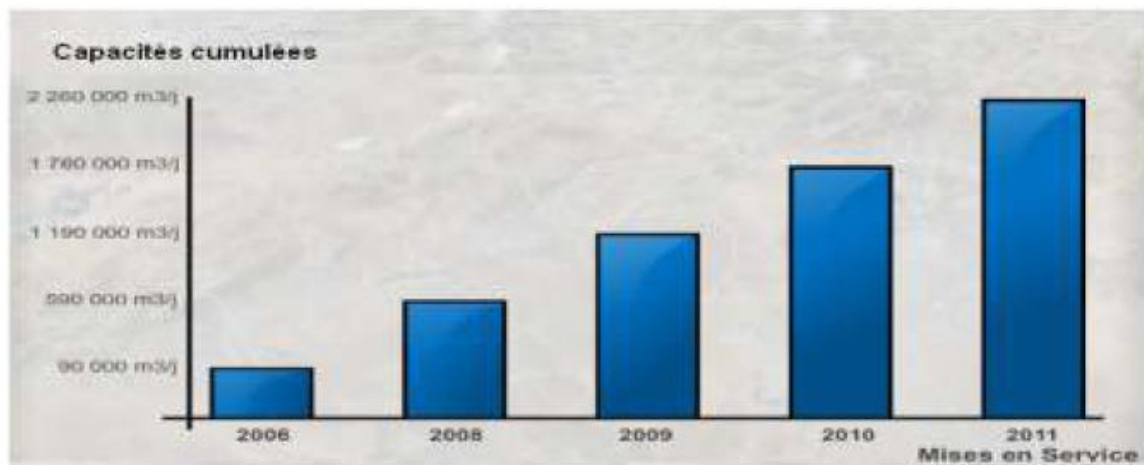
	Situation	Département	Capacité optimale en m <sup>3</sup> /j
<b>LINKE-KCA / Allemagne : 08 Stations d'une capacité de 22 500 m<sup>3</sup>/Jour.</b>	Ain Benian 1	Alger	2 500
	Ain Benian 2	Alger	2 500
	Bou Smail	Tipaza	2 500
	Pam Beach	Alger	2 500
	Zeralda 1	Alger	2 500
	Zeralda 2	Alger	2 500
	Ghazaouet 1	Tlemcen	2 500
	Ghazaouet 2	Tlemcen	2 500
	<b>Total</b>		<b>22500</b>
<b>Hydro Traitement/ Algérie : 13 Stations d'une capacité de 35 000 m<sup>3</sup>/Jour.</b>	Bousfer1	Oran	3000
	Bousfer2	Oran	2500
	Skikda1	Skikda	2000
	Skikda3	Skikda	5000
	Tigzirt	Tizi Ouzou	2500
	Bateau Cassé 1	Alger	2500
	Cap Caxine	Alger	2500
	Corso	Boumerdes	5000
	Les Dunes	Oran	5000
	Bateau Cassé 2	Alger	2500
	Ain Benian 2	Alger	2500

## Chapitre 1: Généralités sur l'eau et le dessalement

	<b>Total</b>		<b>35000</b>
--	--------------	--	--------------

**Tab. 5 - Programme de dessalement en Algérie (Ministère Algérien des ressources en eau, 2008).**

Règion	Nombre d'unités	Capacité (m <sup>3</sup> /j) en 2006	Capacité (m <sup>3</sup> /j) en 2010	Capacité (m <sup>3</sup> /j) 2020-2030
<b>Ouest</b>	<b>6</b>	<b>90 000</b>	<b>1 390 000</b>	<b>1 390 000</b>
<b>Centre</b>	<b>6</b>		<b>720 000</b>	<b>810 000</b>
<b>Est</b>	<b>4</b>		<b>150 000</b>	<b>380 000</b>
<b>Total</b>	<b>16</b>	<b>90 000</b>	<b>2 260 000</b>	<b>2 580 000</b>



**Fig. 3 - Capacités de dessalement de l'Algérie entre 2006 et 2011 [40].**

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 Magtaa 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 (**fig. 4**). 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> chacun [40].

## Chapitre 1: Généralités sur l'eau et le dessalement

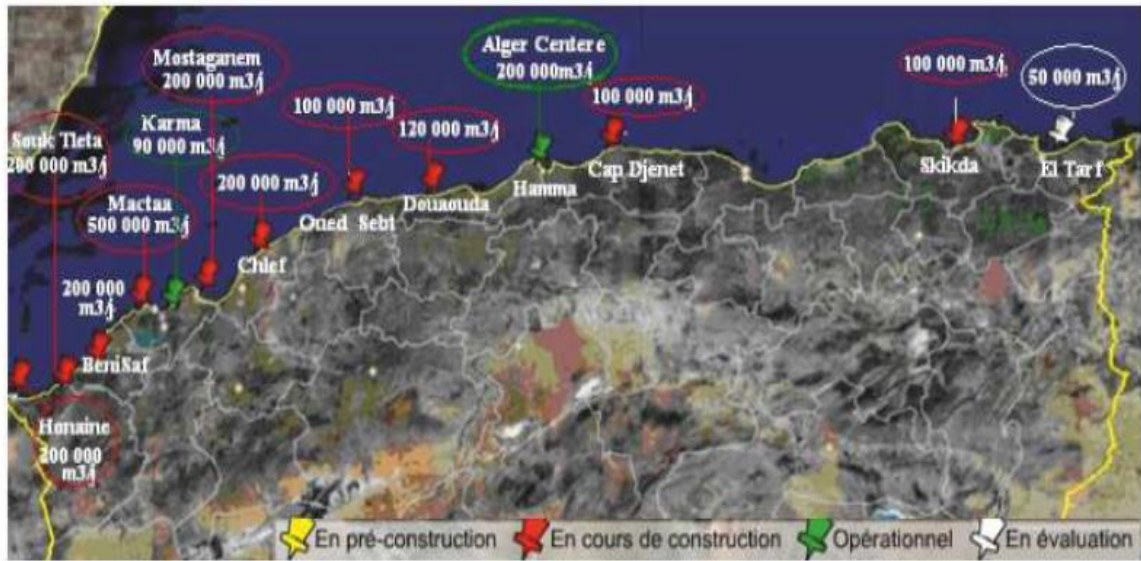


Fig. 4 - Emplacement géographique des stations de dessalement en Algérie [46].

Le **tableau 6** présente les différentes installations qui sont mises en service

**Tab. 6 - Différentes installations en Algérie [15].**

Sites	Nombre d'unités	Débit m <sup>3</sup> /j	Procédé	Mise en service
-------	-----------------	-------------------------	---------	-----------------

## Chapitre 1: Généralités sur l'eau et le dessalement

Skikda	1	1440	Flash	1971
Skikda	2	720	Flash	//
Skikda	-	1440	Echangeurs d'ions	//
Annaba	2	960	//	//
Annaba	2	3600	//	1973
Ghazaouet	1	840	//	1974
Arzew	6	3888	Électrodialyse	1975
Arzew	-	960	Échangeurs d'ions	//
Hassi Messaoud	6	1000	Electrodialyse	//
Hassi Messaoud	2	110	//	1976
Hassi Touil	1	55	//	1977
Arzew	1	350	Thermocompression	1978
Annaba	3	14180	Multi flash	//
Hassi Messaoud	2	350	Electrodialyse	//
Bel Abbes	-	1500	Echangeurs d'ions	//
Haoud Berkaoui	1	55	Electrodialyse	1979
Hassi Messaoud	2	300	//	//
Rhoud El Baguel	1	25	//	//
Arzew	1	960	Multi flash (5 étages)	//
Annaba	2	144	Echangeurs d'ions	//
Annaba	2	576	//	//
Hassi Rmel	3	792	Osmose inverse	//
Annaba	2	6240	Echangeurs d'ions	1980
Ghardaia	-	960	Osmose inverse	//
Arzew	1	960	Multi flash (6 étages)	//
Mostaganem	-	57600	Osmose inverse (6lignes)	//
Rhoud El Baguel	2	300	Electrodialyse	1981
Biskra	-	864	Osmose inverse	//
Annaba	1	1800	Echangeurs d'ions	//
Reghaia	-	160	//	1982
Arzew	1	1200	Compression vapeur	//

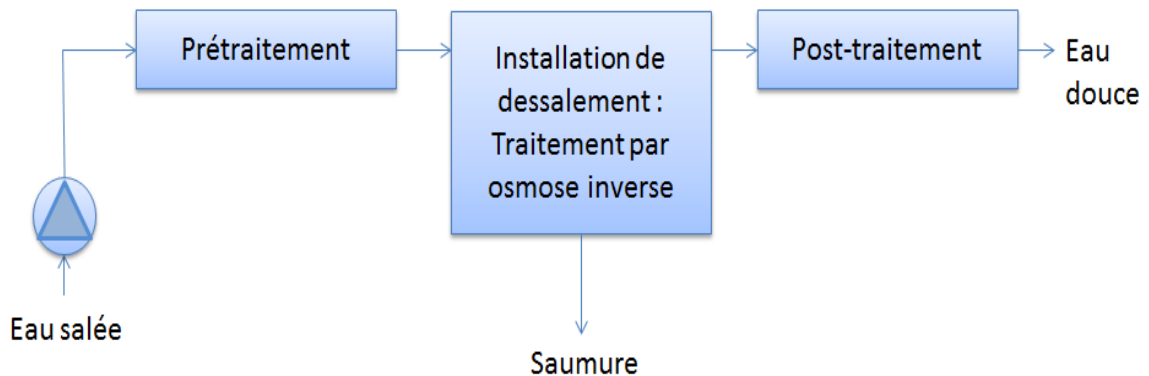
Les principaux avantages du procédé de dessalement sont :

- L'Algérie dispose d'un littoral de 1550 km.
- L'utilisation de l'eau de mer, ressource pratiquement non polluante et inépuisable.
- La population ainsi que l'industrie à grande consommation d'eau se trouvent à proximité de la mer.
- Le dessalement de l'eau de mer a connu une avancée technologique remarquable grâce au développement de différents procédés (l'osmose inverse).
- Importante demande en eau se situent à proximité de la côte ce qui réduit davantage les prix de revient d'eau.

### 1.2.4 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 (**fig. 5**).



**Fig. 5 - Schéma général d'une installation de dessalement [7].**

L'alimentation en eau de mer peut s'effectuer soit par prise directe, soit par puits côtiers qui permettent d'obtenir une eau non turbide, ce qui soulage les prétraitements.

#### ➤ Le prétraitement

- 1) **Chloration** : Bloque la prolifération des organismes vivants et vite l'obstruction des conduites.
- 2) **Filtration** : Protège les pompes et assure le bon fonctionnement des pulvérisateurs.
- 3) **Antitartre** : La distillation favorise la précipitation du carbonate de calcium qui se dépose sur la paroi des échangeurs et réduit le transfert de chaleur.

#### ➤ Installation de dessalement

- 1) **Procédés de distillation** : L'eau de mer chauffée produit de la vapeur d'eau qu'il suffit de condenser pour obtenir de l'eau pure.
- 2) **Procédés membranaires** : L'eau et les sels dissous sont séparés au moyen de membranes sélectives.

➤ **Le post-traitement** permet de potabiliser l'eau en 2 étapes (en sortie de l'unité de dessalement, l'eau n'est pas potable car elle est déminéralisée).

- 1) **Correction de la corrosivité** : le traitement consiste à ajouter du  $\text{Ca(OH)}_2$  ou du  $\text{CaCO}_3$ .
- 2) **Désinfection finale** : bien que certains procédés (osmose inverse) retiennent tous les

## Chapitre 1: Généralités sur l'eau et le dessalement

microorganismes, il est nécessaire d'assurer une désinfection à la sortie de l'usine.

Les technologies communes pour le dessalement d'eau de mer sont basées sur deux processus principaux : séparation par évaporation et par membrane comme le montre le tableau 7 [17,18 , 19].

**Tab. 7 - Les technologies communes de dessalement [10].**

<b>Osmose inverse (OI)</b>	Processus membranaire, le système le plus commun en service. Une membrane semi-perméable sépare deux solutions de concentrations différentes.
<b>Electrodialyse</b>	Processus membranaire. Une série de membranes est placée entre deux électrodes et subit un champ électrique. Il est en générale approprié à l'eau saumâtre et pour traiter les puits pollués.
<b>Distillation à détente étagée (MSF)</b>	Processus d'évaporation, en combinaison avec des centrales électriques. Le système inclut une série de compartiments. L'écoulement d'eau chaude dans un compartiment avec une basse pression résulte l'évaporation d'une partie de l'eau.
<b>Distillation à effet multiple (MED)</b>	Processus d'évaporation, basé sur le cycle de la chaleur latente en produisant un ruisseau d'eau, habituellement utilisé en combinaison avec les centrales électriques.
<b>Distillation par compression de vapeur (VCD)</b>	Processus d'évaporation, basé selon le principe d'une pompe à chaleur. Cycles répétés de condensation et d'évaporation

## Chapitre 1: Généralités sur l'eau et le dessalement

---

En général, tous les processus d'évaporation exigent de grandes quantités d'énergie et conviennent donc seulement aux secteurs qui sont riches en carburant à bon marché. Le processus d'osmose inverse est le procédé le plus efficace de dessalement en terme d'énergie et coûts [20, 21].

Il existe plus 27 procédés différents de dessalement qui peuvent être classés en deux grandes familles : les procédés thermiques qui ont une forte consommation énergétique et les procédés membranaires.

**Les procédés thermiques** sont principalement des procédés de distillation.

Le procédé de distillation consiste simplement à évaporer l'eau de mer sous forme de vapeur d'eau qui est ensuite condensée. La distillation peut être réalisée suivant différentes techniques : la distillation simple ou multiples effets, la distillation par détente successive (appelée multiflash ou flash) et la distillation par compression de vapeur.

**Les procédés membranaires** consistent à séparer les sels de l'eau de mer au moyen de membranes sélectives. Ils n'impliquent pas de changement de phase et peuvent fonctionner à température ambiante. Deux procédés membranaires sont actuellement utilisés en dessalement : l'osmose inverse et l'électrodialyse (**fig. 6**) [7].

Dans les usines de dessalement, trois technologies principales de dessalement sont employées :

- Le processus MSF : 43,5% de production du monde.
- L'osmose inverse : 43,5% de production du monde.
- Le processus MED ; qui a augmenté nettement dans le monde.

Le choix d'un type de procédé est lié à la nature des ressources en eau (la salinité, entre autres) et des ressources énergétiques des pays.

Depuis 2001, la technique la plus répandue au monde pour le dessalement est l'osmose inverse [16].



## Chapitre 1: Généralités sur l'eau et le dessalement

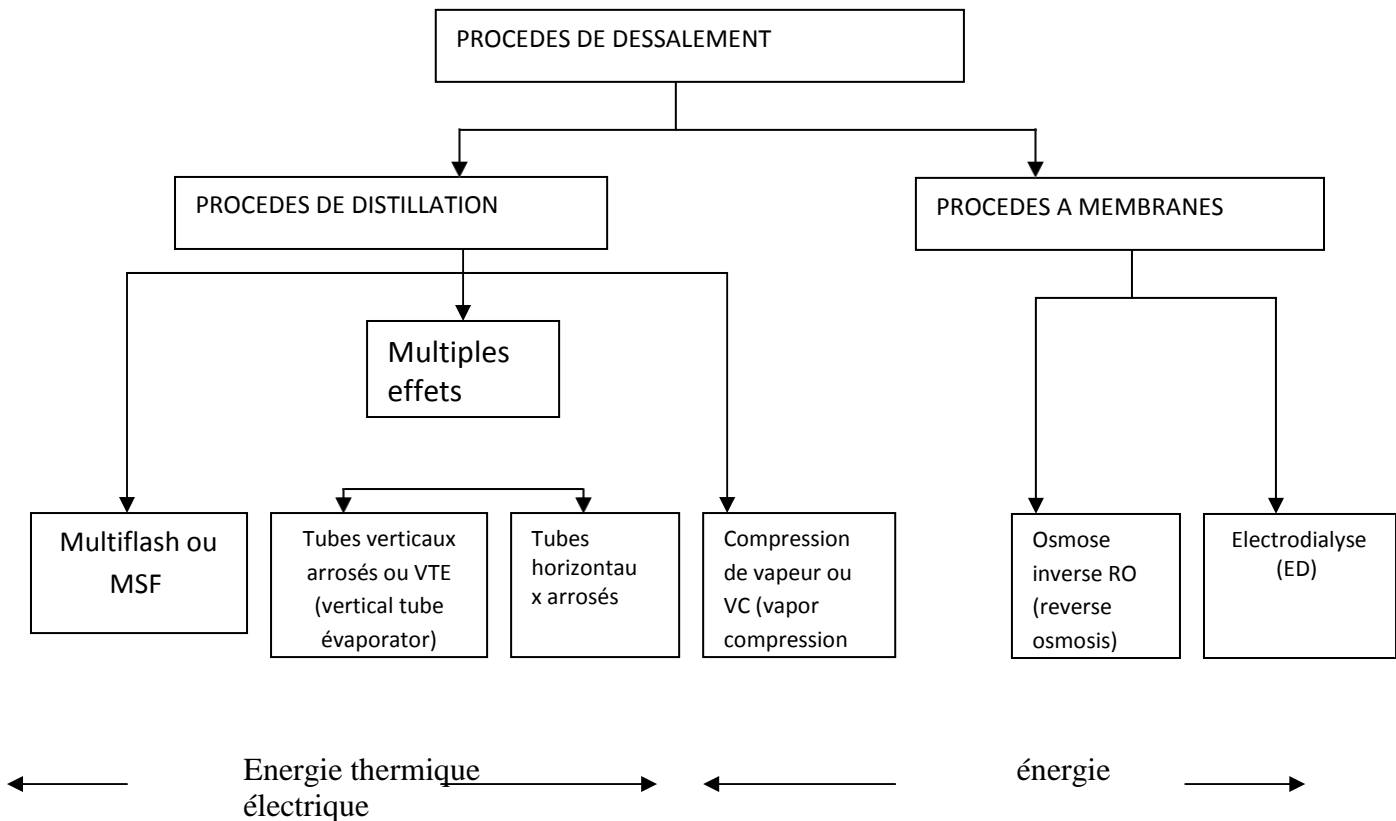


Fig. 6 -Procédés industrialisés de dessalement [7].

### 1.2.4.1 Les procédés de distillation

L'eau de mer chauffée émet une vapeur d'eau pure qu'il suffit de condenser pour obtenir de l'eau douce. Ce principe de dessalement très simple est utilisé depuis longtemps [7].

#### 1. Distillation à simple effet

Dans une enceinte fermée, un serpentin de réchauffage porte à ébullition l'eau de mer (fig. 7). La vapeur produite se condense au contact d'un deuxième serpentin alimenté par l'eau de mer froide. Un éjecteur (ou une pompe) évacue les gaz incondensables. Un groupe électropompe soutire l'eau condensée ; un deuxième l'eau de mer concentrée ou saumure [22].

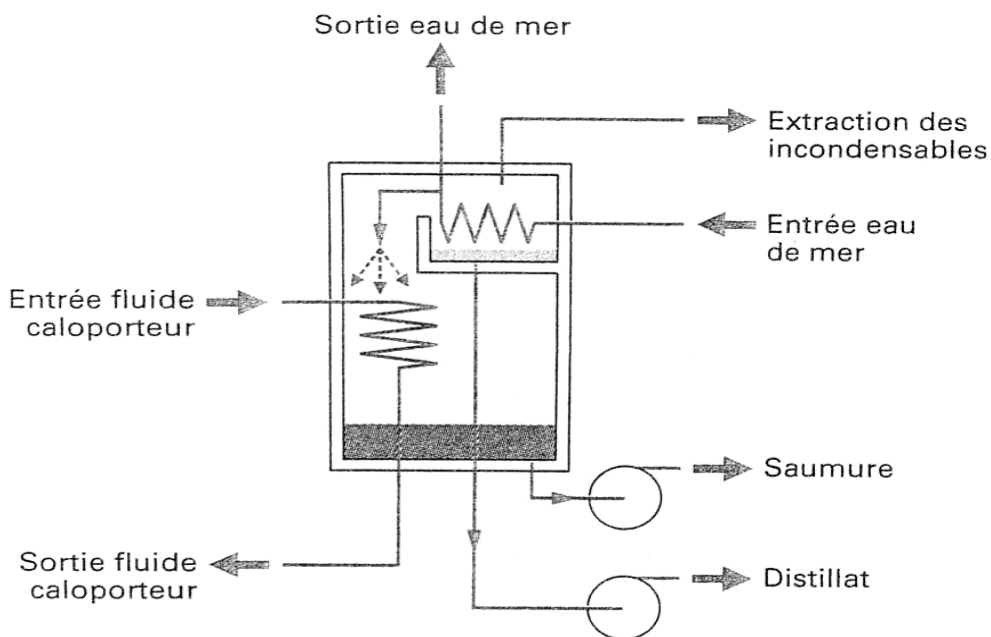


Fig. 7 - Distillation à simple effet (SIDEM),[10].

### 2. Distillation à effet multiple (Multi-Effect distillation MED)

Ce procédé est basé sur le principe d'évaporation, sous pression réduite, d'une partie de l'eau de mer préchauffée à une température variant entre 70 et 80°C [23 , 24].

L'évaporation de l'eau a lieu sur une surface d'échange, où elle est assurée par détente au sein des étages successifs. La chaleur transférée au travers de cette surface est apportée soit par une vapeur produite par une chaudière, soit par une eau chaude provenant d'un récupérateur de chaleur. La vapeur ainsi produite dans le premier effet est condensée pour produire de l'eau douce dans le deuxième effet où règne une pression inférieure, ainsi la chaleur de condensation qu'elle cède permet d'évaporer une partie de l'eau de mer contenue dans le deuxième effet et ainsi de suite (fig. 8). La multiplication du nombre d'effets permet donc de réduire la consommation spécifique (énergie/m<sup>3</sup> d'eau douce produite) [24].

Plusieurs technologies d'évaporateurs multiples effets existent :

**-Les évaporateurs à multiples effets à tubes horizontaux arrosés** sont les appareils les plus utilisés actuellement. Dans ces appareils, le fluide de chauffage s'écoule dans les tubes horizontaux tandis que l'eau de mer à évaporer est arrosée de façon à s'écouler sous forme de film le plus uniforme possible sur l'extérieur des tubes. La vapeur

## Chapitre 1: Généralités sur l'eau et le dessalement

produite dans la calandre est ensuite envoyée dans les tubes de l'effet suivant où elle cédera son énergie de condensation. Ces évaporateurs présentent un très bon coefficient d'échange grâce à l'écoulement en film de l'eau de mer. C'est la raison pour laquelle ils remplacent actuellement les plus anciens évaporateurs à faisceau de tubes noyés dans lesquels les tubes étaient plongés dans l'eau de mer [24].

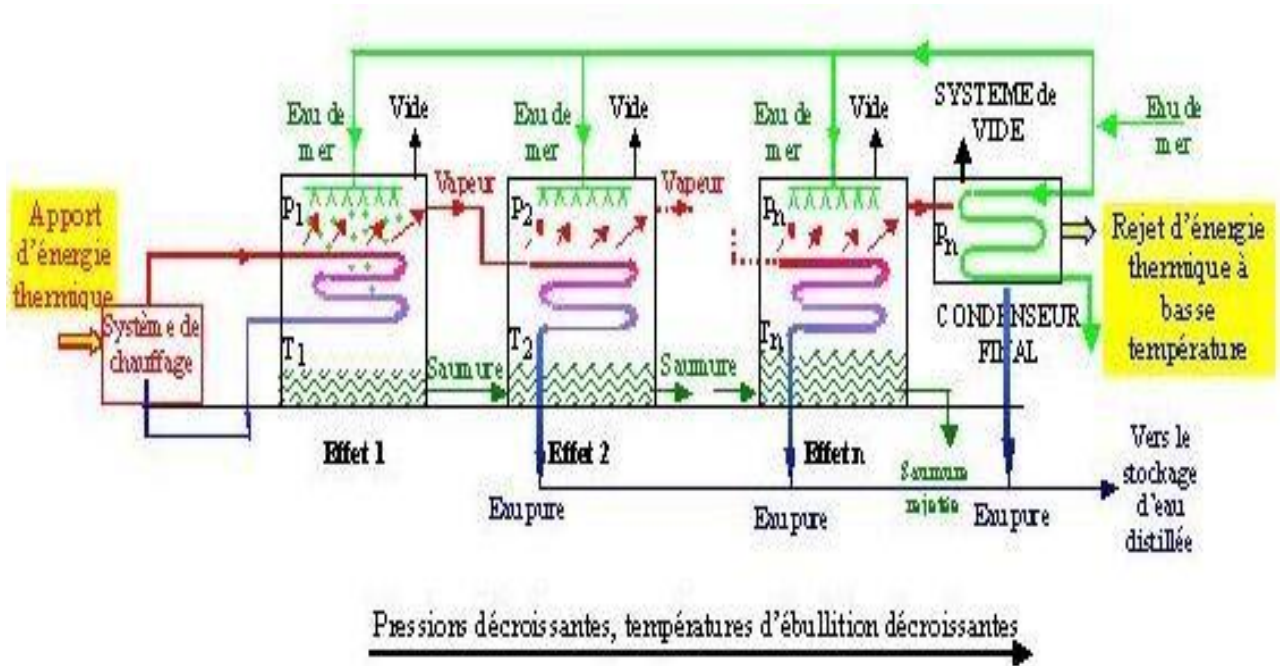


Fig. 8 - Système d'évaporateurs multiples effets (MED),[24].

### -Les évaporateurs multiples effets à plaques

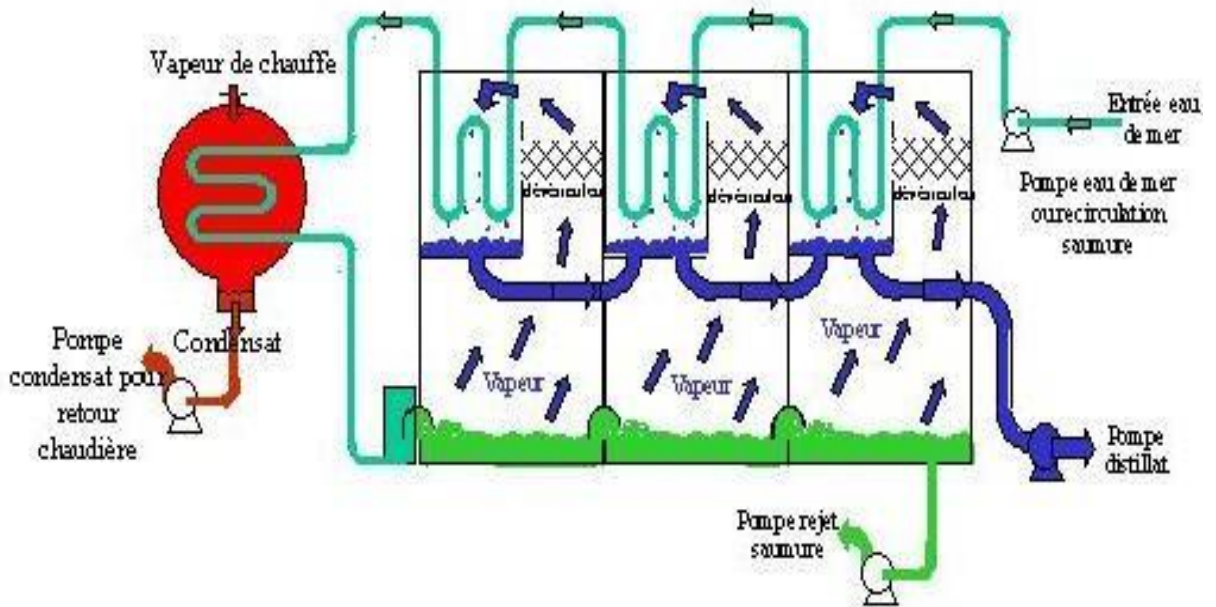
L'eau de mer à évaporer s'écoule sous forme de film mince le long d'une mince plaque métallique chauffée par la vapeur provenant de l'effet précédent qui s'écoule le long de l'autre face de la plaque métallique. De nombreuses plaques entre lesquelles s'écoulent alternativement l'eau de mer et la vapeur de chauffage sont associées en parallèle pour constituer un effet. La vapeur produite est recueillie dans une calandre cylindrique dans laquelle sont placées les plaques. Cette vapeur est ensuite envoyée entre les plaques situées dans une calandre qui constitue le deuxième effet et ainsi de suite.

L'énergie requise est principalement l'énergie thermique à fournir à la chaudière produisant le fluide de chauffage pour le premier effet [25].

### 3. Distillation à détente étagées (Multi-Stage Flash distillation MSF)

## Chapitre 1: Généralités sur l'eau et le dessalement

La distillation est la plus vieille de toutes les technologies de dessalement. Processus de distillation (MSF) à détente étagée (**fig. 9**) a été employé pendant beaucoup d'années et est maintenant le plus grand secteur dans l'industrie de dessalement [26]. Le processus de MSF produit 56% en tout d'eau douce par rapport aux autres technologies de dessalement [27].



**Fig. 9 - Un processus typique de MSF [28].**

MSF n'a pas eu une grande efficacité mais une énorme capacité [29]. La conception typique d'une installation de MSF se compose d'une section de rejet de chaleur, d'une section d'entrée de la chaleur et d'une section de récupération de la chaleur entre eux (**fig. 9**). L'eau de mer brute est examinée et chlorée avant d'entrée aux étapes successives. Elle sera pompée dans des tubes de condenseur d'une étape à l'autre, alors que la saumure chaude coule au fond de ces étapes dans la direction opposée. La saumure passe partiellement (flash) en vapeur lors d'entrée dans la prochaine étape et se condense dans le tube externe du condenseur. Lorsque la température de la saumure diminue de l'étape à l'autre, la détente dans l'étape suivante est réalisée par le chauffage global à basse pression. Dans la section d'entrée de la chaleur, la vapeur du réchauffeur est ajoutée et se condense dans le tube du condenseur.

A la dernière étape, la saumure est divisée en jet recyclé et en jet d'échappement rejeté à la mer. Le jet recyclé est combiné avec la nouvelle alimentation et réintroduit à la section de récupération, de la chaleur. La partie de réutilisation de saumure

augmente l'extraction d'eau douce et réduit simultanément la consommation des produits chimiques en prétraitement de l'usine, [32].

Aujourd'hui, la plupart des usines de MSF fonctionnent avec recyclage de saumure mais **Hamed et al. (1999)** déclarent que sans saumure recyclée, pas de nécessité d'anticalcaire et la saumure rejetée devient moins concentrée [33].

Entre le rejet de chaleur et la section de récupération de la chaleur, l'eau entrante est également divisée en jet de décharge et en jet d'alimentation. La décharge sert seulement au refroidissement. Les produits chimiques résiduels sont présents dans l'échappement de la saumure de la dernière étape. Puisque la saumure rejetée est habituellement mélangée avec deux fois la quantité d'eau de refroidissement [34], la salinité, la température et les concentrations en produits chimiques seront diminuées avant la décharge à la mer.

En raison de l'opération du chauffage d'eau de mer, la conception du processus doit tenir en compte les problèmes qui résultent de cet environnement dur et les différentes étapes de prétraitement sont généralement nécessaires pour augmenter la durée de vie des installations de MSF [35].

#### 4. Distillation par compression de vapeur (VC)

L'eau de mer à dessaler est portée à ébullition dans une enceinte thermique isolée. La vapeur produite est aspirée par le compresseur qui élève sa température de saturation. Cette vapeur traverse ensuite un faisceau tubulaire placé à la base de l'enceinte et se condense en provoquant l'ébullition de l'eau salée (**fig. 10**) [37].

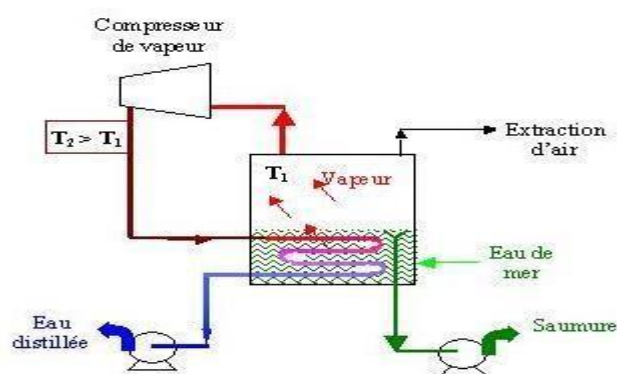


Fig. 10 - Distillation à compression de vapeur [24].

#### 1.2.4.2 Les procédés membranaires

## Chapitre 1: Généralités sur l'eau et le dessalement

---

Les membranes ont la capacité de différencier et séparer sélectivement les sels et l'eau. En utilisant ces capacités mais différemment dans chaque cas, deux procédés de dessalement à membrane ont été développés et sont actuellement disponibles au marché.

L'électrodialyse (ED) est un processus qui emploie le potentiel électrique pour déplacer les sels sélectivement par une membrane. L'eau produite est sortie comme eau douce.

L'osmose inverse (OI) est un processus à pression-conduit, la pression étant employée pour la séparation en permettant à l'eau douce de se déplacer à travers une membrane, et les sels se disposent dans la solution de saumure [38].

### 1. Osmose inverse

L'osmose inverse est un procédé de séparation de l'eau et des sels dissous au moyen de membranes semi-perméables sous l'action de la pression (54 à 80 bars pour le traitement de l'eau de mer). Ce procédé fonctionne à température ambiante et n'implique pas de changement de phases. Les membranes polymères utilisées laissent passer les molécules d'eau et ne laissent pas passer les particules, les sels dissous, les molécules organiques de  $10^{-7}$  mm de taille. La teneur en sels de l'eau osmosée est de l'ordre de 0,5 g/l [24].

#### Principe de l'osmose inverse

On appelle osmose le transfert de solvant (eau) à travers une membrane semi-perméable sous l'action d'un gradient de concentration.

Soit un système à deux compartiments séparés par une membrane semi-perméable et contenant deux solutions de concentrations différentes (**fig. 11**). Le phénomène d'osmose va se traduire par un écoulement 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 s'annulera. Si, pour simplifier, nous supposons que la solution diluée est de l'eau pure. Cette pression d'équilibre est appelée pression osmotique [10].



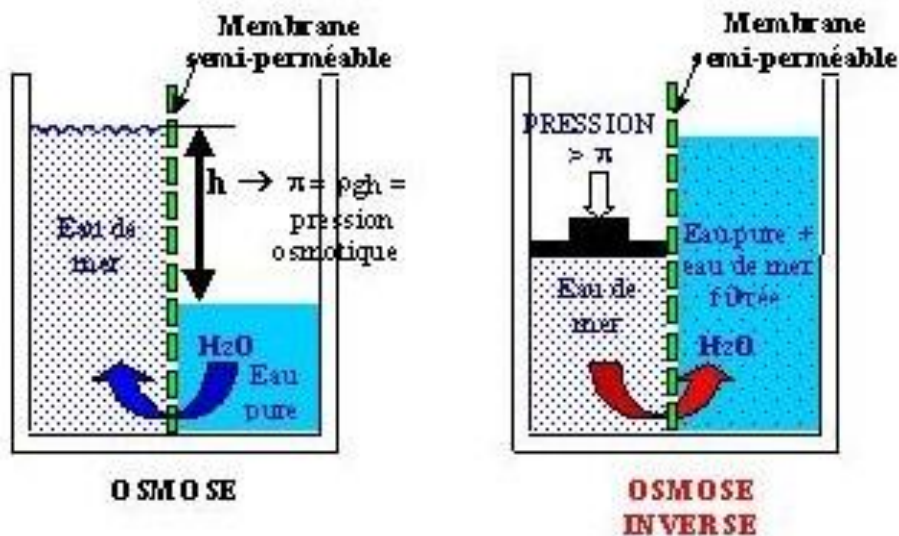


Fig.11-Principe de l'osmose et de l'osmose inverse [10].

Une augmentation de la pression au delà de la pression osmotique va se traduire par un flux d'eau dirigée en sens inverse du flux osmotique (**fig. 12**) c'est-à-dire de la solution concentrée vers la solution diluée : c'est le phénomène d'osmose inverse [24].

La pression osmotique est importante et ne peut pas être négligée devant la pression opératoire. Elle est de quelques bars pour une eau moyennement saumâtre, mais avoisine de 2,5 MPa (25 bars) pour l'eau océanique, et dépasse nettement cette valeur en mer rouge ou dans le golf persique, où sa concentration atteint 41 g/l [39].

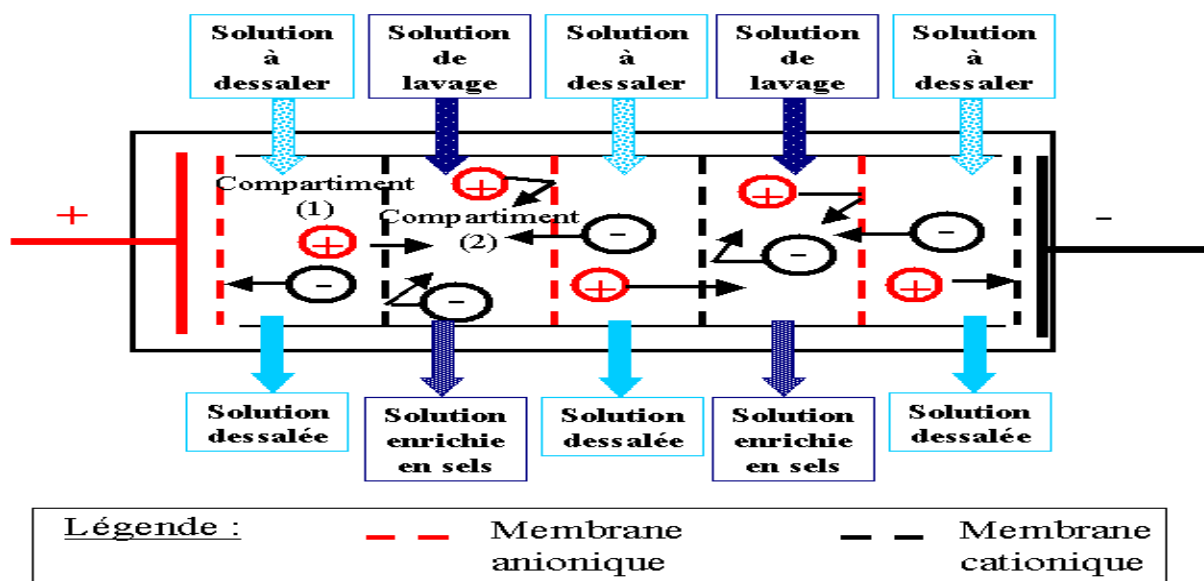
L'osmose inverse permet en principe d'atteindre deux objectifs, selon que le produit valorisable est constitué par le perméat (a) ou par le rétentat (b) :

- a) réduire la concentration totale en solutés ; les principales applications sont la production d'eau potable à partir de gisements saumâtres ou d'eau de mer, et l'amélioration de la qualité de l'eau à usage industriel, notamment dans l'industrie des composants électroniques.
- b) Augmenter la concentration d'une solution ; la déshydratation partielle des jus dans l'industrie alimentaire en constituant une application intéressante, à en juger par l'expansion du procédé par rapport aux méthodes concurrentes (évaporation, congélation), [39].

## 2. Electrolyse

### Principe et application

L'électrodialyse est une technique séparative dans laquelle des espèces ionisées minérales ou organiques dissoutes (sels, acides ou bases) sont transportées à travers des membranes ioniques et sous l'action d'un champ électrique. Lorsqu'une solution ionisée est envoyée dans les compartiments séparant ces membranes, les cations migrent vers la cathode (-) et les anions vers l'anode (+), en traversant respectivement les membranes cationique (C) et anionique (A). Grâce à une disposition alternée des membranes, les ions capables de traverser les membranes cationiques sont arrêtés par les membranes anioniques, et réciproquement (**fig. 12**), il en résulte une augmentation de la concentration dans les compartiments de même parité (concentrat) et une diminution dans les compartiments adjacents (diluat) [39].



**Fig. 12 - Principe de l'électrodialyse,[10].**

L'électrodialyse est généralement appliquée dans le dessalement des eaux saumâtres. En effet, l'électrodialyse peut obtenir de divers effets de dessalement. Cependant, dans le cas du dessalement profond, le problème d'entartrage hérite le jeu [41]. Il est relié à la précipitation des sédiments de  $\text{CaCO}_3$ , de  $\text{CaSO}_4$  et de  $\text{Mg(OH)}_2$  sur la surface des membrane dans les cellules du concentré. Pour éviter le phénomène, on peut changer la polarité de l'électrode (ce processus est connu comme inversion d'électrodialyse : EDR) [42 , 43].



## Chapitre 1: Généralités sur l'eau et le dessalement

### 1.2.4.3 Autres procédés

D'autres méthodes sont la congélation, la distillation à membrane, l'humification solaire et processus solaires et éoliens. Ces processus n'ont pas réalisé le même niveau de succès commercial, mais ils peuvent prouver l'objet de valeur dans des circonstances spéciales.

#### Les problèmes liés aux rejets des concentrats par l'osmose inverse

Un des principaux problèmes liés à l'osmose inverse est le rejet des concentrats. Une usine de dessalement par osmose inverse a en réalité trois types de rejets : les rejets des eaux de lavage de membrane, les rejets des prétraitements et les rejets de concentrats d'OI.

- **Les eaux de lavage chimique** représentent un faible débit par rapport aux autres rejets et sont principalement constituées de matières dissoutes. Elles peuvent être acides ou alcalines. Ces rejets peuvent être minimisés en augmentant l'efficacité du prétraitement.
- **Les rejets d'eau des prétraitements** ont une charge élevée en minéraux, matières organiques et biologiques. Un traitement par floculation a parfois lieu avant leur rejet dans la mer.
- **Les rejets des concentrats d'osmose inverse** ou le volume et la salinité de ces concentrats dépend du taux de conversion de l'osmose inverse. En considérant une eau de mer à 40 g/l, un perméat à 500 mg/l, un débit d'alimentation de 40 000 m<sup>3</sup>/j et un taux de conversion de 45%, le débit rejeté de concentrats sera de 22 000 m<sup>3</sup>/j avec une concentration de 72 g/l. La concentration pourra atteindre 112 g/l pour un taux de conversion de 60%. Le **tableau 8** donne un exemple de composition d'un rejet de concentrats d'osmose inverse par rapport à la composition d'eau de mer en alimentation.

**Tab. 8 - Composition de l'eau de mer d'alimentation et des concentrats pour l'usine d'OI de Dhekelia à Chypre [44]**

Ions	Eau de mer d'alimentation (g/l)	Concentrats (g/l)	Ratio
<b>Calcium</b>	450	891,2	1,98
<b>Magnésium</b>	1 452,3	2 887,7	1,98
<b>Sodium</b>	12 480	24 649,2	1,98
<b>Potassium</b>	450	888	1,97

## Chapitre 1: Généralités sur l'eau et le dessalement

<b>Bicarbonates</b>	100	315,3	1,97
<b>Carbonates</b>	0,2	0,4	2
<b>Sulfates</b>	3 406	6 745,1	1,98
<b>Chlorures</b>	22,099	43 661,5	1,98
<b>Total</b>	<b>40 498,2</b>	<b>80 028,4</b>	<b>1,98</b>

Les rejets de concentrats se font dans la mer. Ils sont fortement chargés en sels. Ils ont donc une densité plus élevée et auront tendance à couler vers le fond de la mer. Etant différents en salinité du milieu ambiant, ils auront un impact important sur la vie marine au niveau du rejet [45]. Un des principaux impacts est le stress osmotique causé aux organismes lorsque la concentration en sels dans l'eau rejetée est plus élevée que la concentration dans l'eau constituant le corps des organismes [45]. Plusieurs études ont été menées pour estimer l'impact des rejets.

**Loizides (2004)** a étudié le rejet de concentrats à 72 g/l à 5 m de profondeur par l'usine de Dhekelia (production de 40 000 m<sup>3</sup>/j). La salinité mesurée était de 59 g/l au point de rejet et encore de 39 g/l à 200 m. Ce même auteur a constaté la disparition de différents organismes comme les échinodermes et gastropodes après trois ans d'activité de l'usine de Dhekelia et l'apparition de crustacés ainsi que la forte augmentation des polychètes. Certains organismes comme les *posidonia oceanica* sont essentiels à la vie marine et sont fortement perturbés par la salinité. Leur mortalité augmente avec la salinité et plus de 50 % meurent en 15 jours avec une salinité de 45g/l. Leur disparition provoque une augmentation de la turbidité de l'eau, une diminution de la qualité de l'eau et une baisse de l'activité biologique [47].

### 1.2.4.4 Comparatif des techniques

Le choix d'un type de procédé est lié à la nature des ressources en eau (la salinité) et des ressources énergétiques des pays. Les pays du Moyen-Orient, par exemple, utilisent majoritairement la distillation thermique ce qui est dû à la présence sur place d'énergies fossiles (pétrole) et la forte salinité des eaux de mer locales (55 g/l dans le Golfe Persique). En effet, malgré de nombreuses améliorations dans les récupérations d'énergie, les procédés de distillation consomment plus d'énergie que leurs concurrents membranaires, notamment l'osmose inverse. Depuis 2001, la technique la plus répandue au monde pour le dessalement est l'osmose inverse (**tab. 9**).

**Tab. 9 – Comparaison (d'un point de vue coût et énergie) entre deux procédés**

## Chapitre 1: Généralités sur l'eau et le dessalement

### Distillation thermique et Osmose inverse[16].

	<b>Distillation thermique</b>	<b>Osmose inverse</b>
Part de marché	45 % (2008)30 % (2010)	55 % (2008)70 % (2010)
Coût en sortie d'usine (\$/m <sup>3</sup> )	0,9 à 2,52	0,49 à 1,12
Energie consommée (kWh/m <sup>3</sup> )	6 à 7	3 à 4

#### **Exemples :**

En Arabie Saoudite, 86 % de l'eau est dessalée par distillation Flash par détentes successives (MSF).

Aux Etats-Unis, 84 % de l'eau est dessalée par des technologies membranaires (osmose inverse et électrodialyse).

En Espagne, 69 % de l'eau est dessalée par osmose inverse (OI).

L'Algérie a opté pour la technique de l'osmose inverse pour presque toutes les stations de dessalement

#### **Avantages de la distillation**

La distillation nécessite une maintenance peu importante par rapport au dessalement par osmose inverse et ne requiert aucun additif chimique lors de l'étape de prétraitement. Cette technologie produit une eau de haute qualité avec moins de 10 mg/l de solides dissous [49].

#### **Inconvénients de la distillation**

Le procédé de distillation, particulièrement la distillation MSF, est très coûteuse. Elle demande des connaissances technologiques très importantes et nécessite l'utilisation de produits chimiques, comme les acides. Elle nécessite d'évacuer les gaz incondensables (ne pouvant donc pas se transformer en liquides à une pression et une température données) lors des prétraitements (notamment une chloration et un traitement anti-tartre).

#### **Avantages de l'osmose inverse**

L'avantage principal est bien entendu le faible coût d'investissement et énergétique d'un tel procédé. Depuis 1970, la consommation d'électricité du dessalement par osmose inverse a été divisée par 4. Le coût du dessalement par osmose inverse a chuté ces dernières décennies, notamment grâce aux récents progrès techniques [49].

## Chapitre 1: Généralités sur l'eau et le dessalement

---

### Inconvénients de l'osmose inverse

L'énergie consommée par la pompe de gavage est importante. Les pertes en eau sont très importantes. En effet, le rétentat contient tous les sels n'ayant pas traversé la ou les membranes, représente environ 25% du débit entrant, pour des installations industrielles. Cette eau contient alors trop de sels pour l'agriculture, et est donc perdue. L'eau produite par ce procédé contient trop peu d'ions ; elle nécessite une reminéralisation après le traitement pour être propre à la consommation.

Le point critique de l'osmose inverse est le prétraitement. Une mauvaise qualité de l'eau prétraitée réduit la durée de vie des membranes (environ 3 ans pour une membrane bien entretenue) qui représentent une part importante de l'investissement[50].

### Coût énergétique

En distillation, le coût énergétique est proportionnel à la qualité d'eau traitée, en osmose inverse et par toutes les techniques à membranes en général, le coût du traitement est fonction du sel éliminé. Moins la concentration en sels est élevée, plus l'osmose inverse devient économique par rapport à la distillation [52]. C'est la raison pour laquelle, que l'osmose inverse s'est d'abord appliquée aux eaux saumâtres (moins concentrées). Elle ne s'est appliquée à l'eau de mer qu'à partir du moment où l'on a pu récupérer l'énergie sur le flux du concentrât, réalisent ainsi jusqu'à 35% d'économie d'énergie [52].

### La meilleure technique

L'Algérie a opté pour la technique de l'osmose inverse pour presque toutes les stations de dessalement, sauf une, celle d'Arzew, où la technique Multi-stage Flash a été privilégiée.

Toutes les techniques sont bonnes à leur place. La différence entre l'osmose inverse et le MSF, c'est le prix. L'osmose inverse est une technique qui fonctionne avec de l'électricité seulement pour faire marcher les pompes. Le MSF est en revanche plus cher, car il nécessite l'utilisation de l'énergie, du gaz ou du fioul. C'est pour ça que seuls les pays riches en énergie ont recours au MSF, notamment ceux du Moyen-Orient ou encore la Libye. Mais si elle est plus chère, la technique du MSF est plus sûre et mature. Elle a été inventée durant les années 1950 et on a rarement recensé des problèmes la concernant.

## Chapitre 1: Généralités sur l'eau et le dessalement

---

Les contraintes d'entartrage dans ce cas sont facilement maîtrisées. Le deuxième avantage avec le MSF c'est qu'on produit de l'électricité en même temps. Ainsi, pour la station d'Arzew, on produit 88 888 m<sup>3</sup>/jour d'eau et 341 MW d'électricité [52].

### **Introduction**

Parmi les impacts dus à une usine de dessalement, il y a ceux qui se limitent à la phase de construction et ceux qui sont liés à la phase d'exploitation. Les impacts commencent avec la transformation de l'occupation du sol, puis continuent avec des conséquences visuelles et des nuisances sonores pour s'étendre à des émissions dans l'atmosphère et des rejets dans l'eau ainsi qu'à des dommages potentiels pour le milieu récepteur [60].

Les activités de construction et d'exploitation peuvent se traduire par une série d'impacts sur les zones littorales, affectant notamment la qualité de l'air, la qualité de l'eau, la flore et la faune marines, la perturbation d'écosystèmes importants (dunes de sable, herbiers marins et autres habitats vulnérables par suite de l'emplacement choisi pour le trajet des canalisations), le dragage et l'élimination des déblais qui en résultent, le bruit, les entraves à l'accès du public et aux loisirs [61].

Le dessalement de l'eau de mer en Algérie revêt un caractère stratégique, il remplacera les ressources naturelles dans la majorité des villes du nord Algérien. Quel que soit le procédé utilisé, toutes les stations de dessalement produisent d'importantes quantités de saumure. Les statistiques parlent des centaines de milliers de tonnes de saumure qui sont rejetées quotidiennement dans la mer depuis des stations de dessalement [46].

Tous les procédés du dessalement génèrent la production de sels concentrés 1,2 à 3 fois plus élevée, des produits chimiques utilisés au cours des phases de prétraitement et de post-traitement, des eaux chaudes, des distillats et condensats d'éjecteurs [60]

### **2.1 Origine et type des émissions et rejets :**

#### **2.1.1 Émissions atmosphériques**

En général, ces émissions consistent seulement en azote et oxygène provenant d'usines de distillation qui utilisent des procédés de désaération pour réduire la corrosion, en rejets des éjecteurs (usines MSF) ou des dégazeurs (usines OI).

## Chapitre 2: Impact environnemental d'une usine de dessalement

Pour produire l'électricité, il est nécessaire de brûler des carburants par les usines thermiques, ce qui produit des fumées de pollution (par exemple anhydride carbonique) dispersées dans l'atmosphère. En accord avec le protocole de Kyoto au sujet du changement de climat, la majorité des pays industrialisés doivent réduire les décharges de gaz qui peuvent contribuer au chauffage global, en dessous de 5% pour la période prochaine 2008-2020 [62]. Une méthode permettant d'évaluer l'énergie destinée au dessalement, présentée par Wade et Fletcher (1995) [10], donne les apports thermiques (tab. 10) pour des usines types, par kilogramme d'eau produite.

**Tab. 10- Evaluation de l'énergie destinée à des usines de dessalement [63].**

Procédés de dessalement		
Centrale associée	MSF Cycle combiné	OI Cycle combiné
Consommation de chaleur du procédé de dessalement en kj/kg	282	-
Consommation d'électricité du procédé de dessalement, en kWh/m <sup>3</sup>	3,6	7,5
Énergie de combustible pour la production d'eau, kj/kg	149	75,0

Cette comparaison des besoins respectifs en énergie de ces procédés de dessalement montre que l'OI a une consommation d'équivalente énergie plus réduite que la distillation MSF. Comme les émissions atmosphériques dues à un procédé de dessalement sont directement en rapport avec ses besoins respectifs en énergie, il va de soi que les émissions dues à l'OI sont moindres que celles dues à la MSF. L'étude d'Afganet *al.* (1999) [10] qui porte sur des usines de dessalement des pays du Golfe a permis de calculer des indicateurs de durabilité qui ont confirmé ce qui précède, ainsi qu'il ressort des **tableaux 11 et 12**.

**Tab. 11 indicateurs de durabilité pour une usine MSF à produite simple[64].**

Indicateur de ressources en combustible, kg combustible /m <sup>3</sup>	11
Indicateur environnemental pour CO <sub>2</sub> , kg CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	39

## Chapitre 2: Impact environnemental d'une usine de dessalement

Indicateur environnemental pour SO <sub>2</sub> , kg SO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	0 ,009
Indicateur environnemental pour NO <sub>x</sub> Kg NO <sub>x</sub> /m <sup>3</sup>	0,006

**Tab. 12 - Indicateurs de durabilité pour une usine OI avec une source locale d'énergie électrique [64].**

Indicateur de ressources en combustible, kg combustible /m <sup>3</sup>	1 ,8
Indicateur environnemental pour CO <sub>2</sub> , kg CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	6
Indicateur environnemental pour SO <sub>2</sub> , kg SO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	0,005
Indicateur environnemental pour NO <sub>x</sub> Kg NO <sub>x</sub> /m <sup>3</sup>	0 ,009

### 2.1.2 Rejets chimiques

Toutes les usines de dessalement utilisent des produits chimiques pour le prétraitement de l'eau d'alimentation ainsi que le post-traitement de l'eau produite. La plupart des produits sont utilisés avant tout comme agents biocides, antitartre, antisalissure et anti-mousse, et ils finissent par modifier la composition de la saumure concentrée. La présence de certains métaux, qui sont des produits de la corrosion du circuit, influent aussi sur la composition de la saumure concentrée. Les produits chimiques rejetés dans le milieu marin se répartissent entre les catégories suivantes:

#### 2.1.2.1 Produits de la corrosion

Les usines de dessalement à procédé thermique rejettent du cuivre, du nickel, du fer, du chrome, du zinc et d'autres métaux lourds en fonction des alliages présents dans la filière de production, En termes de concentrations, celles du cuivre et du fer sont les plus élevées [65].

#### 2.1.2.2 Agents antitartre

Les dépôts de tartre se forment sur les surfaces du matériel de dessalement industriel. La présence de tartre entraîne des difficultés d'exploitation et/ou une perte de rendement. Dans le procédé par distillation, le tartre réduit le taux de transfert de la chaleur à travers les parois atteintes et réduit le débit de liquide dans les tuyaux.

Différentes méthodes sont appliquées pour prévenir l'entartrage dans les procédés par distillation : les polyphosphates [67].



## Chapitre 2: Impact environnemental d'une usine de dessalement

**Tab. 13 - Résumé des phases de pré-traitement au cours de la production d'eau potable par dessalement (Mickley *et al.*, 1993) [66]**

		<b>Objet</b>	<b>Produits chimiques ajoutés</b>	<b>Devenir des produits</b>
<b>Phase de prétraitement</b>	Ajustement du pH à 7	Diminue la concentration de carbonate (et la précipitation de carbonate). Protège la membrane contre l'hydrolyse	Acide (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	Modifie le pH de l'eau produite et de la saumure concentrée, le sulfate est retenu dans la saumure concentrée
	Antitartre	Prévient la formation de tartre sur les membranes	Agents chélateurs et dispersants	Les complexes formés sont retenus dans la saumure concentrée
	Coagulation-filtration	Prévient les salissures et l'encrassement des membranes	Coagulants floculant	Les agents floculant formés se séparent par décantation et sont éliminés par filtration
	Désinfection	Prévient l'encrassement biologique et l'élimine les microorganismes qui se nourrissent des matières des membranes	Chlore (ou biocides, UV)	Chlore également réparti dans le perméat et la saumure concentrée
	Déchloration	Protège les membranes sensibles au chlore	Bisulfate de sodium ou charbon actif granulaire	Réagit avec le chlore pour former du sulfate et du chlorure retenu dans la saumure concentrée

## Chapitre 2: Impact environnemental d'une usine de dessalement

**Tab. 13 - Résumé des phases de post-(b) traitement au cours de la production d'eau potable par dessalement (Mickleyet *al.*, 1993) [66]**

Suite

		<b>Objet</b>	<b>Produits chimiques ajoutés</b>	<b>Devenir des produits</b>
Phase de post traitement	Ajustement du pH à 7	Prévient la corrosion du système de distribution, protège la flore et la faune aquatiques en cas de rejet en surface	NaOH, carbonate de sodium anhydre, chaux	Accroît le niveau de sodium dans l'eau produite et dans la saumure concentrée
	Désinfection	Prévient la prolifération bactérienne dans le système de distribution, protège la flore et la faune aquatique si nécessaire	Chlore	Le chlore est retenu dans l'eau produite et dans la saumure concentrée
	Réduction du niveau de Chlore	Élimine le chlore et d'autres oxydants	Bisulfite de sodium	Accroît les niveaux de sulfates et de chlorures dans l'eau produite et dans la saumure concentrée
	Oxygénation	Accroît l'oxygène dissous à un niveau concourant au développement de la flore et de la faune aquatiques	Aération	Accroît l'oxygène dissous dans la saumure concentrée
	Élimination d'autres formes chimiques	Diminue tous les polluants susceptibles d'être présents dans l'eau produite et dans la saumure concentrée	Est fonction des formes chimiques	

Les additifs antitartres le plus largement utilisés semblent être des polymères de l'acide maléique (Finanet al, 1989) [67]. Dans les usines OI, l'acide sulfurique est utilisé avec des adjuvants polymères pour prévenir la formation de tartre.

### **2.1.2.3 Agents antisalissure**

Les salissures («fouling») constituent un processus à phases multiples dans lequel interviennent de nombreux groupes d'organismes. Elles commencent par l'adsorption de substances polymères de l'eau non traitée sur les surfaces solides, ce qui permet la formation d'un film précurseur pour la colonisation par des bactéries. À ce premier biofilm adhérent des microalgues, des protozoaires et des champignons, et enfin des débris, détritus et particules inorganiques [60].

### **2.1.2.4 Agents anti-mousse**

La mousse produite par l'eau de mer aux étages du procédé de distillation multistage a tendance à poser un problème quand les séparateurs sont proches de la surface du courant de saumure.

Les agents anti-mousses sont habituellement des détergents, des acides gras et des esters d'acides gras. Les agents sont tensio-actifs à l'interface eau-vapeur et empêchent la formation de mousse. On ajoute habituellement ces produits à raison de 0,1ppm, mais on observe fréquemment un surdosage. La formation de mousse est une fonction des constituants organiques de l'eau de mer qui sont principalement des produits d'excrétion et de dégradation d'algues planctoniques [60].

### **2.1.3 la saumure concentrée**

Les usines de dessalement rejettent en fait la même charge de constituants de l'eau de mer que celle qu'elles ont reçue, mais dans un volume d'eau moindre.

Avec le procédé MSF, un taux de récupération habituel sur la base de l'eau d'alimentation est de 10% et la salinité de la saumure concentrée est donc 1,1 fois plus élevée que celle de l'eau d'alimentation. Le concentré est généralement dilué par l'eau

## **Chapitre 2: Impact environnemental d'une usine de dessalement**

---

de refroidissement avant d'être rejeté, et par conséquent le facteur de concentration est de 1,05, ce qui réduit les impacts sur l'environnement [60].

Avec le procédé OI, le facteur de conversion varie de 30 à 70%. Dans ce cas, la salinité du concentré est de 2 fois plus élevée que celle de l'eau d'alimentation. Si l'on admet une salinité type de 37 ‰ pour la Méditerranée orientale, cela signifie que la saumure issue des usines OI varie en moyenne d'environ 66 à 70 ‰ [60].

### **2.2 Impact sur l'environnement marin en raison de renvoyer la saumure concentrée à la mer:**

Il est indubitable que c'est la saumure qui exerce le plus fort impact sur le milieu marin. Le volume total de saumure libéré dans ce milieu est déterminant pour les dommages qu'il peut induire. Un rejet de saumure concentrée en grandes quantités appelle un examen plus soigneux des impacts potentiels sur l'environnement que s'il s'agit d'un rejet en petites quantités.

À part le volume proprement dit, les modalités et l'emplacement du rejet sont essentiels pour les impacts qui peuvent en résulter. La longueur de l'émissaire, sa distance au rivage, son niveau au-dessus du fond de la mer, l'existence ou non d'un diffuseur, ainsi que la profondeur de l'eau et les caractéristiques hydrologiques (courants, vagues) peuvent conditionner la dispersion de la saumure et l'efficacité de la dilution au point de rejet et, par voie de conséquence, l'impact potentiel sur l'environnement.

Par exemple, à l'usine de dessalement de Dhekelia (Chypre), qui a une capacité de production de 40 000 m<sup>3</sup>/jour, la saumure, d'une salinité d'environ 72 ‰, est rejetée dans la mer par un émissaire doté à son extrémité d'un multidiffuseur, à une profondeur d'environ 5 m et à une distance de 250 m du rivage; il en résulte un accroissement de la salinité dans un rayon de 200 m à partir du rejet. De fait, la plus forte salinité (≈ 54 ‰) a toujours été point de rejet et il était possible de relever une salinité supérieure à celle de l'eau de mer (≈ 39 ‰) jusqu'à 200 m du rejet...

La zone d'impact présentant une forte salinité varie selon la saison, l'impact le plus marqué se produisant durant les mois d'été, [70].

#### **2.2.1 Impact sur l'environnement marin en raison de différents produits chimiques:**

En plus de la concentration élevée des sels, la saumure déchargée contient de divers produits chimiques utilisés dans l'étape de prétraitement et de post-traitement de l'unité de dessalement, y compris les agents antitartre.

##### **2.2.1.1 Effets dus aux produits de la corrosion**

## **Chapitre 2: Impact environnemental d'une usine de dessalement**

---

Comme on l'a déjà relevé, les usines de dessalement par distillation rejettent des métaux tels que le cuivre, le nickel, le fer, le chrome et le zinc dans le milieu marin.

Ces métaux ne se trouvent pas à l'état d'ions libres mais forment des complexes inorganiques et organiques qui sont adsorbés sur les matières en suspension et déposent en s'accumulant dans les sédiments. Comme, dans ce cas, le problème ne réside pas dans la concentration effective du métal mais dans sa charge totale atteignant l'environnement, on ne peut atténuer les effets en diluant le rejet.

Une étude d'impact sur l'environnement, menée à une usine de dessalement MSF en service à Key West (Floride, USA) au cours des années 1960 et jusqu'au milieu des années 1970, a montré que les concentrations de cuivre, qui étaient souvent 5 à 10 plus élevées que les concentrations ambiantes, s'avéraient toxiques pour les organismes marins [71]. De même, la contamination de sédiments par des métaux lourds a été établie à la proximité d'un site de rejet de saumure concentrée à une usine de dessalement OI d'Arabie saoudite [72].

### **2.2.1.2 Effets dus aux additifs antitartres**

Les produits utilisés contre l'entartrage sont les phosphates polymères. Dans une zone marine oligotrophe comme la mer méditerranée, le rejet de ces produits peut avoir des effets drastiques tels que des efflorescences algales, des proliférations d'algues macroscopiques, etc. Ces dernières années, les agents antitartre les plus utilisés ont été les polymères de l'acide maléique pour empêcher l'apparition d'effets eutrophisants.

### **2.2.1.3 Effets des additifs antisalissures**

La chloration est un bon auxiliaire mais un mauvais maître en ce sens qu'elle est très économique et efficace mais qu'elle n'est pas correctement maîtrisée; elle donne naissance à des dérivés tels que des thiolométhane qui sont soumis à réglementation en raison de leurs effets cancérigènes.

Si le chlore est un agent antisalissures à large spectre, il présente aussi des effets étendus sur le milieu marin quand il est rejeté avec la saumure. Il occasionne des effets biologiques par son action stérilisante intrinsèque et des effets chimiques en halogénant les constituants organiques de l'eau de mer [65].

D'autres agents antisalissures comme les sels de cuivre entraînent des rejets de cuivre dans la saumure, et ce métal, même à de très faibles concentrations (moins de 1ppm), peut avoir des incidences sur l'environnement par suite de son accumulation.

### **2.2.1.4 Effets des additifs antimousses**

Les agents antimousses sont des détergents. Les détergents ont des effets nocifs sur les organismes en altérant le système membranaire intracellulaire. Les effets sur l'écosystème marin n'ont pas été étudiés mais pourraient être négligeables.

## **Chapitre 2: Impact environnemental d'une usine de dessalement**

---

### **2.2.2 Effets dus au prélèvement d'eau de mer**

Les usines de dessalement de l'eau de mer ont des dispositifs d'admission situés au large qui leur permettent de prélever de grosses quantités d'eau à proximité de certains habitats marins. Ce processus comporte des impacts potentiels pour la flore et la faune de la zone concernée.

Par exemple, des tambours tamiseurs sont souvent disposés entre le dispositif d'apport et les pompes d'alimentation afin d'empêcher des débris flottants, des organismes marins volumineux et autres matières de pénétrer dans le circuit de prétraitement de l'usine de dessalement.

En général, le maillage de ces tambours tamiseurs est de l'ordre de 5 mm, afin d'empêcher l'apport de la plupart des poissons et autres organismes marins. Cependant, le prélèvement représente deux sources potentielles d'impact, à savoir le heurt du poisson sur les tambours et l'introduction de biotes dans le circuit d'eau d'alimentation.

Il est notoire que le prélèvement et le tamisage de volumes relativement importants d'eau de refroidissement provoque le heurt du poisson et d'autres organismes sur les tambours tamiseurs, avec pour conséquences des dommages physiques comme l'écaillage et des troubles tels qu'une désorientation. Ce phénomène entraîne une augmentation de la mortalité par maladie et une vulnérabilité accrue à la prédation [10].

### **2.2.3 Impact de bruit**

Une usine de dessalement d'eau de mer est une usine bruyante. En général ce bruit est produit par des pompes à haute pression et par les turbogénérateurs utilisées pour la récupération d'énergie [73, 74], le niveau de bruit est plus de 90 dB(A). Donc, l'usine devrait être située loin des secteurs peuplés et être équipée de technologie acoustique appropriée pour réduire le niveau de bruit, [75].

### **2.2.4 Impact sur la couche aquifère :**

Les canalisations d'eau de mer et de saumure étendus au-dessus de la couche aquifère lui présentent un danger, elles peuvent fuir et l'eau salée peut pénétrer facilement. La solution c'est d'utiliser des techniques appropriées de cachetage pour réduire au minimum son impact sur la couche aquifère, [76].

### **2.2.5 Impacts marins écotoxicologiques des unités de dessalement des eaux de mer :**

L'impact potentiel sur les communautés biotiques des estuaires se manifeste par la mort des différents niveaux d'invertébrés et de poissons due aux déperditions de leurs propres moyens de défenses lors de leur entraînement dans les systèmes. Beaucoup de ses organismes meurent soit par asphyxie en raison de mouvements gênants de leurs branchies soit par des dommages mécaniques internes ou externes subit lors de leur passage dans les systèmes traversés soit par les injections d'additives. La mortalité de

## **Chapitre 2: Impact environnemental d'une usine de dessalement**

---

cette faune pourra être immédiate ou latente. De même, la majorité des œufs et de larves d'invertébrés et de poissons sera détruite.

### **2.2.6 impact de la caléfaction:**

La chaleur perdue déchargée des usines thermiques de dessalement (généralement entre 8 et 15°C au-dessus de la température ambiante d'eau de mer) est finalement absorbée dans l'environnement marin. La température des substances réceptives augmente potentiellement lorsqu'on décharge une grande quantité du volume d'eau de refroidissement relativement à sa capacité de dispersion.

#### **2.2.6.1 Impact de la caléfaction sur la qualité de l'eau :**

La température d'effluent a une influence importante sur les propriétés physiques de l'eau de mer et peut détériorer sa qualité. Les principales conséquences sont les suivantes :

La solubilité d'oxygène diminue avec l'augmentation de la température, ce qui place le biote dans des conditions de vie contraignante due à sa forte demande en oxygène. L'effet synergique des charges organiques et cette température élevée de l'eau accélère la respiration de bactéries et peut promouvoir l'anoxie ou l'hypoxie contribuant à l'élimination de la vie aquatique, en particulier durant l'été.

La densité, viscosité, la tension de surface et la solubilité d'azote diminuent également avec l'augmentation de la température :

La différence de densité développe la stratification des masses de l'eau, quoique la circulation et la profondeur affectent aussi bien celle-ci ;

La diminution de la viscosité conduit à des taux accrus de dépôts qui influenceront la sédimentation.

La réduction de solubilité de l'azote peut contribuer, en retour, à sa détérioration lors de la production primaire.

L'élévation de la pression de vapeur à température élevée accélère l'évaporation surtout en mois d'été.

#### **2.2.6.2 Impact de la caléfaction sur les organismes d'estuaire :**

L'altération de taux de solubilité chimiques et des réactions biochimiques au niveau du milieu récepteur entraîne automatiquement des réponses physiologiques et des changements de comportement des organismes :

- 1) Production primaire : la charge thermique réduit la production primaire. Elle affecte le système aqueux dans son ensemble en combinaison avec d'autres modifications au niveau de la respiration des populations, de la composition de

## Chapitre 2: Impact environnemental d'une usine de dessalement

---

l'espèce, de la dynamique des nutriments et de la production secondaire, [86].

2) algues : différentes situations peuvent apparaître :

- la dépression du taux de photosynthèse phytoplanctoniques entraînant la diminution de la production algale.
- Des populations normales d'algues tendent à être remplacées par espèce moins souhaitable ; situation d'eutrophisation.
- Diminuer la production des populations macro-algales.
- Diminuer l'abondance et la diversité du phytoplancton.

3) Poissons : résistant à une bande de température limite, les poissons ne peuvent pas commander leurs équilibres thermiques internes activement. Ils disposent de récepteurs thermo-cutanés sensibles leur permettant d'éviter le faisceau thermique ou d'être attirés.

L'augmentation ou la réduction de la température influence sur leur vitesse de natation et leur comportement qui mène à une modification des diagrammes de leurs distributions.

Généralement, la productivité de poissons dans une zone exposée à la caléfaction devra augmenter ; cependant, la mort des poissons causée par le choc brutal froid ou chaud lors des opérations d'arrêt et de démarrage de l'unité de dessalement compense ce possible effet bénéfique.

Les altérations des réactions biochimiques du milieu peuvent éliminer la reproduction.

### 2.2.7 Impacts de salinité:

La plupart des organismes peuvent s'adapter à des petites variations de la température et de la salinité, et même tolérer temporairement des conditions extrêmes ; ils ne peuvent en revanche résister à des conditions défavorables permanentes. Le rejet continu d'eaux avec une forte salinité et une température élevée, induisant une diminution de la teneur en oxygène, peut être fatal pour certains organismes et induire un changement durable dans la diversité des espèces et l'abondance de la zone impactée, [84] .

#### 2.2.7.1. Sur la qualité de l'eau du milieu récepteur:

La concentration élevée de salinité entraîne une augmentation de la turbidité de l'eau. Ce genre de pollution est probable à empêcher la pénétration de la lumière, et perturbe le processus de photosynthèse. L'effluent de saumure contient des substances dissoutes concentrées provenant de l'eau de mer, son poids spécifique élevé lui fait coulé au fond de mer et empêchera son mélange, de ce fait créant un désert de sel à proximité du canal de décharge, [77] .

#### 2.2.7.2. Sur les organismes marins :



## Chapitre 2: Impact environnemental d'une usine de dessalement

---

- 1) Plancton : une augmentation de la salinité du milieu du plancton peut réduire leur production jusqu'à leur extinction (principalement aux niveaux des larves et de jeunes individus).

La susceptibilité des invertébrés varie, principalement chez les crustacées, mais en générale, ceux avec l'estomac long sont plus sensibles à une élévation de salinité que ceux avec courte.

Les larves crustacées et invertébrées flottant dans la colonne d'eau sont également plus sensibles aux variations de niveaux de salinité que les individus entièrement développés, [86].

Certaines espèces ; principalement les diatomées, sont résistantes aux niveaux élevés de salinité, mais la plupart ne survivront pas longtemps, [85].

- 2) Poisson : la susceptibilité à l'élévation de salinité varie de l'espèce à l'espèce d'un endroit à l'autre, et apparemment, aucun travail ou recherche n'ont été effectués pour examiner systématiquement la résistance des diverses espèces trouvées dans le secteur méditerranéen ou du Golf.

Une étude des effets létaux d'une solution hypertonique sur les organismes marins indique que la salinité létale initiale et la sensibilité de chaque organisme diffèrent d'une espèce à l'autre au travers d'expérimentations en laboratoire (Shunya *et al*). Le tableau ci-dessous nous montre le résultat de ces études d'effet de rejet de saumure sur les organismes marins côtiers [83].

### 2.2.8. Impact socio-économique, y compris les impacts sur les citoyens :

Le dessalement de l'eau de mer peut remédier à la pénurie d'eau et aux problèmes de qualité de l'eau qui autrement pourrait avoir des répercussions directes sur la santé et le bien être humain. Il y a des problèmes de santé qui peuvent être directement liés à l'accès à des quantités insuffisantes d'eau salubre pour la consommation humaine, ou on manque d'eau pour l'assainissement et l'hygiène.

Le dessalement des eaux de mer a donnée des solutions urgentes et sécurisantes, mais ils peuvent aussi avoir des impacts non négligeables sur les citoyens comme suit :

- Changement des modes de consommation, voire l'utilisation abusive de l'eau sous l'impression qu'il est facile de s'en procurer.
- Concentration accrue du développement et de l'activité dans la zone côtière, migration de population des régions rurales/ de l'arrière pays vers les zones côtière/suburbaines ; dépendance à l'égard d'une technologie qui peut à son tour dépendre de l'impression de savoir faire ou d'énergie, ce qui expose la qualité de l'eau à la dégradation (par exemple : déversement de pétrole) et est centralisée généralement dans quelques sites qui exigent le transport de l'eau sur de grande distance,[10].

### Introduction

L'Algérie dispose d'un littoral (d'environ de 1550km) caractérisé par un plateau continental réduit à l'exception dans la région de Ghazaouet (W. Tlemcen) à l'extrême ouest et la région d'El-Kala (W. d'El-Taref) à l'extrême est. Le flux d'origine atlantique venant du détroit de Gibraltar vient rejoindre les côtes algériennes aux environs d'Oran d'où la grande influence du courant atlantique turbulent sur la côte oranaise qui prend la dénomination de courant algérien à cause de son caractère spécifique d'écoulement le long des côtes algériennes.

En surface, l'eau du courant algérien est présente tout le long de la côte algérienne et se caractérise par une température moyenne de 20,5°C. Les températures maximales aux niveaux de 50 et 100 m varient entre 15,5°C et 16,2°C. Dans le sud du bassin algérien, les eaux de surface du courant algérien sont généralement chaudes ; leur température est de l'ordre de 22,2°C dans le littoral ouest algérien, mais tout en se déplaçant vers l'est algérien, la salinité maximale de l'eau superficielle se maintient à 38,5 pour mille [48].

Le climat de la région d'Arzew est de type méditerranéen, il se caractérise par des saisons estivales chaudes et sèches et des saisons hivernales des saisons hivernales froides et pluvieuses [10].

### 3.1 Zone d'étude : Station de dessalement de l'eau de mer du complexe KAHRAMA

#### 3.1.1 Situation biogéographique

Le Complexe KAHRAMA (**fig. 13**) est justement inscrit dans l'ambitieux programme national de « Dessalement d'Eau de Mer », qui est composé de quinze projets. Totalisant une capacité approximative de 2 500 000 m<sup>3</sup>/jour, ces projets placent l'Algérie, à l'horizon 2011–2012, parmi les pays ayant des capacités les plus importantes au monde. Le Complexe KAHRAMA étant le 1er à être réalisé, nous nous sommes permis de le nommer « Complexe Pionnier du Dessalement d'Eau de Mer en Algérie ». Le Complexe KAHRAMA est implanté dans la Zone Industrielle d'Arzew à proximité du port industriel de Béthioua, à 40Km de la ville d'Oran. Il s'étend sur une superficie de 12,5 hectares et est délimité par:

- Le Complexe GL2Z à l'Ouest,
- Le site du Projet GNL3 à l'Est,

## Chapitre 3: Matériels & Méthodes

- La mer méditerranée au Nord,
- La route nationale N°11 au Sud.

-L'eau produite (**86.880 m<sup>3</sup>/j**) est vendue à Sonatrach pour être livrée à:  
**A.D.E:66.880m<sup>3</sup>/j** et **UDE(DRIA):20.000 m<sup>3</sup>/j**

-L'électricité produite (**321MWH**) est vendue à SONELGAZ via le poste de réception 220Kv de Hassi Ameur.

-Effectif total : 19

-Exploitant SOGEX : Effectif total contractuel : 116 et Effectif total actuel : 127

-Elle est composée de trois directions

- La Direction de la production ;
- La Direction de la maintenance ;
- La Direction de l'administration et des finances.

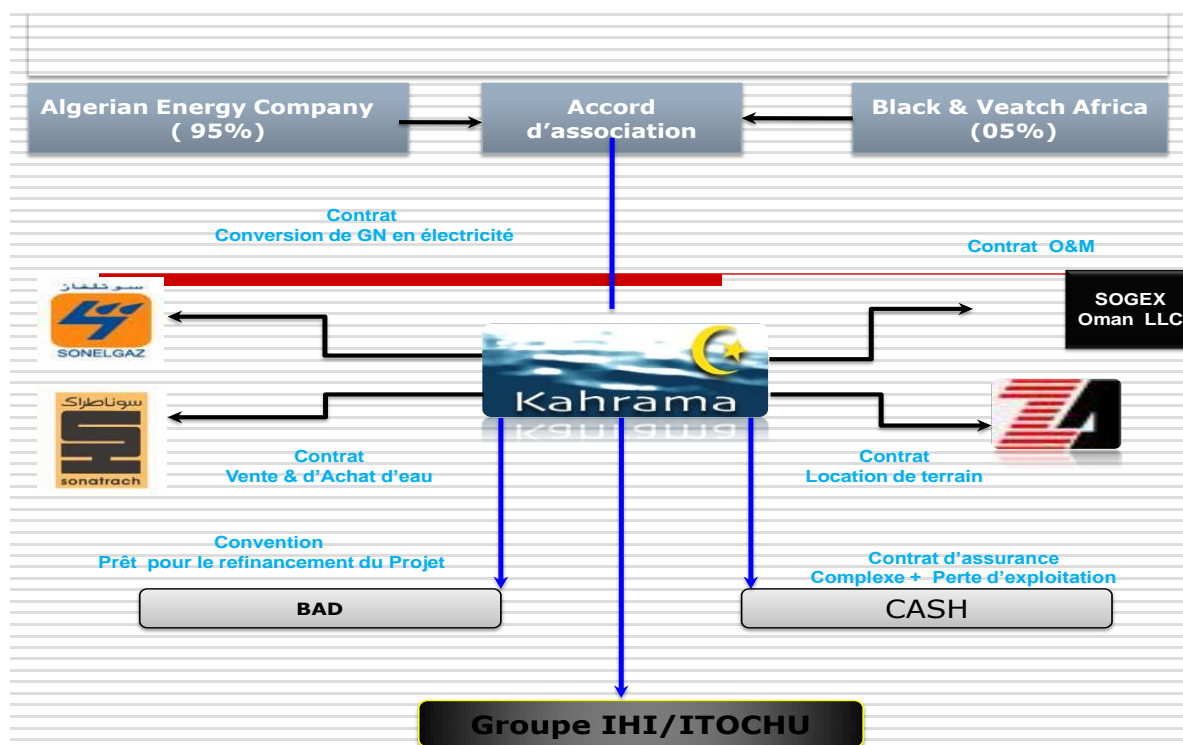


**Fig. 13 – Le complexe KAHRAMA.**

### 3.1.2 Historique de la société

KAHRAMA SPA est une entreprise par action de droit algérien détenue à 95 % par Algerian Energy Company (AEC) et à 05 % par John Burrow Ltd (Afrique de sud).

## Chapitre 3: Matériels & Méthodes



Elle est créée le 22/01/2002 avec un capital social de 4000 000,00 US\$ (équivalent à 316 200 000,00DA)

Ses activités principales sont la production et la commercialisation de ses produits stratégiques et sensibles ; l'eau et l'électricité aux deux clients uniques SONATRACH et SONELGAZ.

Un contrat O&M (Exploitation et Maintenance) a été signé le 27.10.2004 pour une durée de 24 ans, durée pendant laquelle l'exploitant devra exploiter, assurer la maintenance et réparer le complexe et exécuter ses obligations au titre de ce contrat conformément aux normes et exigences qui y sont stipulées.

Le 24.06.2005 un avenant a été signé, à demande de KAHRAMA, pour réduire la durée de 12 à 24 ans.

Le complexe KAHRAMA de production d'eau dessalée et d'électricité a été conçu par la société japonaise IHI.

### 3.1.3 Principales installations du complexe de dessalement

Le complexe produit et fournit de l'eau potable, de l'eau de process et de l'électricité. Il est composé des unités suivantes :

-Unité de prise d'eau de mer

## Chapitre 3: Matériels & Méthodes

- 03 unités de dessalement
- Unité de potabilisation et stockage d'eau potable et d'eau de process,
- 03 groupes turbo générateurs,
- Sous-stations électrique
- les utilités : chaudières, système de gaz naturel, système d'eau de refroidissement, système d'eau de refroidissement, système d'air de servie et air d'instrument.

L'usine de dessalement et centrale électrique d'Arzew est un complexe qui produit et fournit l'eau douce et l'électricité. Elle comprend un système de surveillance, de contrôle et de traitement des sous-produits tels que les eaux usées, la saumure condensée et le gaz d'échappement afin que l'environnement puisse être maintenu aux conditions acceptables (tab. 14).

**Tab. 14 - Valeurs de contrôle Environnemental**

<b>Centrale électrique</b>	
NOx	50 mg/Nm <sup>3</sup> à 15% O <sub>2</sub>
CO	25 mg/Nm <sup>3</sup> à 15% O <sub>2</sub>
<b>Ensemble de l'usine et système commun</b>	
Niveau sonore	55 dB (A) sur la route de la zone industrielle d'Arzew, à la limite sud du site
Eaux usées (pH)	5,5 à 8,5

En général, les composantes de système sont regroupées en 03 catégories :

- Système de la Centrale Electrique qui consiste en production d'électricité,
- Système de Dessalement qui consiste en production d'eau douce, et
- d'autres systèmes : fourniture des utilités, le système de vapeur d'eau, etc. Le procédé de dessalement demande la fourniture de vapeur d'eau produite par les turbines à gaz et les chaudières (HRSG).

### 3.1.4 Description du système

La centrale électrique est composée de 03 unités de groupe turbogénérateur, d'un système de gaz combustible et système de distribution d'électricité qui comporte 03 transformateurs principaux.

Dans le système de gaz combustible, le gaz naturel est conditionné par la propreté, la température et la pression pour qu'il convienne à la turbine à gaz. Puis, avec le gaz naturel bien conditionné, les unités de groupe turbogénérateur peuvent être mises en

service et générer l'électricité. La vapeur d'eau pour le procédé de dessalement est disponible lorsque la turbine à gaz et la chaudière (HRSG) sont en mode de cogénération. Etant donné qu'une chaudière (HRSG) est capable de produire la quantité de vapeur plus importante que celle requise par une unité de dessalement, une quantité de vapeur en surplus pourra être produite, et un système, appelé "déversement de vapeur" qui traite le surplus de vapeur, est prévu.

Le système de dessalement est composé en principe de réchauffeur de saumure, de système de distribution d'eau, de prise d'eau de mer, etc.

L'eau de mer amenée dans le réchauffeur de saumure gagne la chaleur de la vapeur d'eau. Puis, l'eau douce contenue dans l'eau de mer est extraite à travers le procédé d'évaporation à l'intérieur de l'évaporateur. La vapeur d'eau dans le réchauffeur de saumure se transforme en condensat après son passage à l'eau de mer, puis le condensat retourne au système d'alimentation d'eau, et il est fourni encore à la chaudière (HRSG). C'est par cette manière que le cycle de vapeur et d'eau est établi. L'eau douce extraite de l'eau de mer est collectée et séparée en : l'eau de produit et l'eau potable. L'eau douce extraite est conditionnée et dosée avec le gaz CO<sub>2</sub> et d'autres produits chimiques afin qu'elle puisse être potable [53].

### **3.1.5 Description du procédé de dessalement d'eau de mer, traitement d'eau dessalée, stockage et livraison**

#### **3.1.5.1 Système de prise d'eau de mer**

Ce système est conçu pour traiter une quantité d'eau de mer de l'ordre de 41700m<sup>3</sup>/H (injection de l'hypochlorite et filtration) et le pompage de celle-ci aux trois unités de dessalement à travers des grandes pompes d'une capacité de 13619m<sup>3</sup>/H. Ce système de traitement et de pompage comprend les systèmes suivants :

- ✓ **Système de filtrage d'eau de mer** : Filtrer l'eau de mer pour éliminer les grosses particules et les fines par les filtres rotatifs ;
- ✓ **Système de pompage d'eau de mer** : composé de quatre pompes d'alimentation pour fournir l'eau de mer aux trois unités de dessalement et deux pompes pour le système de refroidissement.
- ✓ **Système de pompes d'eau de mer d'incendie** qui a pour objet d'alimenter le réseau d'incendie en cas d'incident ;

- ✓ **Système d'électro chloration d'eau de mer** qui a pour objet la production de l'hypochlorite de sodium empêchant ainsi la croissance biologique et le tartrage dans l'eau de mer.

### 3.1.5.2 Système de dessalement

Ce système est constitué de trois unités identiques de dessalement, des systèmes communs qui comportent le système de nettoyage par acide, les filtres de charbon. Chaque unité de dessalement produit l'eau distillée à une quantité de 29629m<sup>3</sup>/j avec une teneur des sels dissous inférieure ou égale de 5ppm. Chaque unité de dessalement est composé de :

**1.Évaporateur :** est construit comme échangeur de chaleur horizontal à calandre et faisceau tubulaire en une seule passe avec la vapeur se condensant au côté calandre et la saumure se véhiculant à l'intérieur du faisceau tubulaire. Les premiers quatorze étages constituent la section de récupération de chaleur (HRC), tandis que les derniers trois étages constituent la section de rejet de chaleur (HRJ). La boîte d'eau en avant et en arrière de chaque étage de l'évaporateur dirige l'écoulement vers le faisceau tubulaire.

**2.Réchauffeur de saumure :** est prévu pour réchauffer la saumure recyclée. C'est un échangeur de chaleur horizontale à calandre et faisceau tubulaire en une seule passe avec la vapeur se condensant au côté calandre et la saumure se véhiculant à l'intérieur du faisceau tubulaire.

**3. Dégazeur :** enlève l'air dissous de l'eau d'appoint avant que cette dernière n'entre dans l'évaporateur. Il minimise la possibilité de corrosion des composantes de l'évaporateur, surtout la calandre d'évaporateur, en dégazant la teneur en oxygène dans l'eau d'appoint.

**4. Système de vide :** est utilisé pour maintenir le système évaporateur aux conditions de vide en aspirant les gaz non-condensables générés de l'eau d'appoint ou de la saumure. Il aspire également l'air fuit dans le système évaporateur des environs atmosphériques et se compose de 02 éjecteurs de vapeur d'eau, du précondenseur, du condenseur de premier étage et du condenseur de second étage. L'éjecteur de vapeur hogging est utilisé pour évacuer le système évaporateur durant le démarrage [53].

**5. Pompes :** sont installées dans chaque unité de dessalement :

- Deux (2\*50%) pompes de recyclage de saumure (BRPs). La saumure est véhiculée par les pompes de recyclage dans le circuit de recyclage de saumure.

## Chapitre 3: Matériels & Méthodes

---

- Deux (2\*100%) pompes de distillat (DPs) sont installées pour refouler le distillat produit de la boîte de distillat.
- Deux (2\*100%) pompes d'évacuation de saumure (BBDPs) sont installées pour refouler la saumure du dernier étage au ponceau de décharge d'eau de mer.
- Deux (2\*100%) pompes d'adoucissement d'eau de mer (TSPs) sont installées pour chauffer l'eau de mer entrant dans les tubes de la section de rejet de chaleur de l'évaporateur lorsque la température d'eau de mer est basse, notamment en hiver. L'eau de mer adoucissante est véhiculée de la sortie à l'entrée de la section de rejet de chaleur de l'évaporateur.
- Deux (2\*100%) pompes de retour de condensat (CRPs) sont installées pour refouler le condensat du réchauffeur de saumure. Le condensat retourne à l'usine de dessalement, via le collecteur de condensat [53].

**6. Système de nettoyage à billes** (composé d'un filtre à billes, d'un collecteur de billes et d'une pompe de recyclage de billes) est utilisé pour nettoyer les surfaces intérieures des tubes de la section de récupération et le réchauffeur de saumure durant l'exploitation normale. Son principe de base consiste en circulation de billes de mousse (éponge) dont le diamètre est légèrement supérieur que celui intérieur du tube.

**7. Système de dosage de produits chimiques :** est composé :

- d'un système de dosage d'inhibiteur de tartre utilisé pour empêcher la formation de tartre à l'intérieur de tubes de la section de récupération de chaleur et du réchauffeur de saumure en injectant l'inhibiteur de tartre dans la boîte de puisard de recyclage de saumure montée dans le dernier étage de l'évaporateur.
- d'un système de dosage d'anti-mousse prévu pour injecter la solution d'antimousse dans la ligne d'appoint en amont du dégazeur, afin d'empêcher le moussage d'eau d'appoint dans le dégazeur et de saumure de recyclage dans la chambre de l'évaporateur [53].

**8. Système de récupération de gaz CO<sub>2</sub>**, est prévu pour récupérer ce gaz noncondensable (NCG), et envoyer ce dernier dans les filtres de charbon activé pour être désodorisé. Les gaz non-condensables (NCG) générés dans l'unité de dessalement sont utilisés pour être injectés dans le distillat au système de traitement d'eau.

**9. Système d'alimentation de vapeur et de retour de condensat**



La vapeur à pression moyenne, 14 bars, est alimentée dans l'usine de dessalement à partir de la centrale électrique. Le collecteur commun de vapeur à pression moyenne, venant de la centrale, est raccordé à la canalisation principale de 14 bar de chaque unité de dessalement. La plupart de vapeur à pression moyenne est envoyée au réchauffeur de saumure après la dépressurisation et le désurchauffage, tandis que le reste de vapeur à pression moyenne est alimenté au système de vide et au désurchauffeur installé en amont du réchauffeur de saumure.

**10. Système de nettoyage par acide**, utilisé pour nettoyer périodiquement les tubes de l'évaporateur et du réchauffeur de saumure au moyen d'un acide chlorhydrique

### 3.1.5.3 Système de traitement d'eau dessalée

Ce système consiste au traitement d'eau dessalée d'une quantité de 3705m<sup>3</sup>/H pour obtenir de l'eau potable conforme aux spécifications suivantes :

pH : 8-8.5

Alcalinité : 35-65 ppm

Dureté totale : 50-60 ppm

Indice de saturation de langelier : 0-0,4

Pour la rendre potable, l'eau dessalée passe par les étapes suivantes :

- Acidifier l'eau dessalée par l'injection du CO<sub>2</sub> déjà produit,
- Addition de dureté par dissolution de calcaire dans l'eau dessalée acidifié par de CO<sub>2</sub>,
- Enlever de CO<sub>2</sub> (par dégazeur) et neutralisation finale afin d'enlever l'excès de CO<sub>2</sub> après les dégazeurs et obtenir pH et LSI requis.
- Ajouter l'hypochlorite pour obtenir une eau exempte de bactéries.

### 3.1.5.4 Zone de stockage et distribution d'eau produite

L'eau potable produite est envoyée au bac de stockage d'eau potable, d'une capacité de stockage de 25000m<sup>3</sup>, pour sa distribution aux clients et équipements suivants : DRIZ, SEOR et Utilisation interne pour les systèmes d'eau incendie, d'eau de service et d'eau de refroidissement de secours pour compresseur d'air. Une partie de l'eau dessalée produite est envoyée vers le bac de stockage d'eau de process, d'une capacité de stockage de 25000m<sup>3</sup>, pour sa distribution aux clients (DRIZ, GRTE ...) et son utilisation en interne (système de traitement d'eau dessalée, système de refroidissement des équipements, ...)

### 3.1.6 Description du procédé de production d'électricité, de la vapeur d'eau et la sous-station électrique

La production d'électricité est faite à partir des turbines alimentées par le gaz naturel et alternateur, les principaux systèmes sont présentés ci-après :

**3.1.6.1 Système de gaz combustible**, dans lequel, le gaz naturel est conditionné par la propreté, la température et la pression pour qu'il convient à la turbine à gaz. Il se compose d'un filtre à séparateurs, réchauffeur de vapeur gaz, réchauffeur indirect, poste de détente et filtre finale.

**3.1.6.2 Système de turbine à gaz et générateurs** qui a pour objet de générer l'électricité par générateur entraîné par la turbine à gaz. Chaque groupe turbogénérateur est composé :

- d'un compresseur d'air axial de 17 étages ;
- d'une turbine à gaz de trois étages et comportant 14 chambres de combustions ;
- d'un générateur ;
- de deux transformateurs.

#### 3.1.6.3 Système de chaudière (HRSG)

La chaudière appelée 'Générateur de vapeur par récupération de chaleur', est un équipement qui génère la vapeur d'eau avec l'énergie de chaleur du gaz d'échappement de turbine à gaz pour fournir la vapeur d'eau nécessaire aux unités de dessalement (fig13/1, Annexe 3). Le système de chaudière (HRSG) est composé de :

**-Unité de chaudière** : l'évaporation de l'eau à partir des gaz d'échappements obtenus de la turbine à gaz pour générer de la vapeur d'eau.

**-Unité de condenseur de déversement** : où son objet est de stabiliser la pression des systèmes de vapeur par la condensation et le refroidissement de surplus de vapeur dans le cycle eau/vapeur et par le renvoie au système d'alimentation d'eau.

**-Système d'alimentation d'eau** : est composée de deux (02) réservoirs d'eau d'alimentation avec leurs dégazeurs et de trois (03) pompes d'alimentation d'eau de chaudière.

**3.1.6.4 Sous-station électrique** : l'objet de ce système est comme suit :

\*recevoir l'énergie électrique à partir du réseau extérieur pour le démarrage initial de l'usine.

\*Transmettre l'électricité produite par le groupe turbogénérateur au réseau national HASSI AMER 1et 2.

\*Pour distribuer l'électricité aux équipements de l'usine.

### 3.2 Analyse physicochimique des eaux : brute et saumure

#### 3.2.1 Prélèvement d'échantillons

Le prélèvement d'un échantillon d'eau est une opération délicate à laquelle le plus grand soin doit être apporté ; il conditionne les résultats analytiques et l'interprétation qui en sera donnée. L'échantillon doit être homogène, représentatif et obtenu sans modifier les caractéristiques physico-chimiques de l'eau (gaz dissous, matières en suspension). Il convient que le préleveur ait une connaissance précise des conditions du prélèvement et de son importance pour la qualité des résultats analytiques.

Chaque flacon doit être accompagné d'une fiche signalétique permettant de rassembler les renseignements utiles au laboratoire ainsi que les observations relevées au cours des opérations (identité du préleveur, date et heure de prélèvement). Les prélèvements hebdomadaires ont été réalisés durant le mois d'Avril 2016. Ils ont été réalisés entre 9H et 11H du matin.

Au moment du prélèvement, on a rincé les flacons trois fois avec l'eau à analyser puis nous les avons remplis à ras bord.

Les échantillons sont transportés dans une glacière isotherme (4°C), et l'analyse est faite le même jour. Les mesures de la température, conductivité, pH ont été faites sur place.

#### 3.2.2 Qualité physique de l'eau

##### 3.2.2.1 pH

###### -Principe

La mesure du pH s'effectue au moyen d'un couple électrode de verre, électrode de référence plongeant dans le liquide à mesurer ; la pile ainsi formée est caractérisée par une différence de potentielle fonction du pH de la solution.

###### -Matériel

La lecture de cette différence de potentiel se fait au moyen de :

\*millivoltmètres électroniques à haute impédance d'entrée, gradués directement en unités pH,

\*une électrode de verre.

\*une électrode de référence.

\*L'appareil utilisé au labo est le multi paramètre (fig13/2, Annexe 3).



## Chapitre 3: Matériels & Méthodes

---

-Conductivité comprise entre 166 et 333 $\mu$ S/cm	0,769574* conductivité à 20°C (S/cm)
-Conductivité comprise entre 333et 833 $\mu$ S/cm	0,715920* conductivité à 20°C (S/cm)
-Conductivité comprise entre 833et 10000 $\mu$ S/cm	0,758544* conductivité à 20°C (S/cm)
-Conductivité supérieur à 10000 $\mu$ S/cm	0,850432* conductivité à 20°C (S/cm)

### 3.2.2.3 Température

#### -Principe

Il est important de connaître la température de l'eau avec une bonne précision. La mesure température est à effectuer sur le terrain. Il ya lieu de déterminer la température de l'air au même endroit et au même moment.

#### -Matériel

La température est mesurée à travers le conductimètre ou le pH-mètre.

### 3.2.3 Qualités chimique de l'eau

#### 3.2.3.1 Les substances chimiques dites indispensables

\* Calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) et \*Magnésium ( $\text{Mg}^{2+}$ )

#### -Principe

Le principe est identique à celui de la méthode complexométrie décrite pour la dureté totale. L'indicateur choisi ne se combine qu'avec le calcium.

#### -Matériel

Tétramètre

Erlenmeyer de 50ml

Pipette de 20ml

#### -Réactifs

\*MUREXIDE : 1gr de (murexide) + 99 gr (NaCl)

\*Solution d'EDTA N/50 :3.721 gr ....qsp 1000 ml d'eau distillée

\*Solution d'Hydroxyde de Sodium à 2N :80gr (NaOH) ....qsp 1000 ml d'eau distillée

Mode opératoire : Introduire 20 ml d'eau à analyser dans l'erenmeyer, une pincée du Murexide +1ml Solution (NaOH). La solution vire au rose. Verser la solution d'EDTA jusqu'au virage violet.

### -Expression des résultats

Teneur en  $\text{Ca}^{2+}$  (mg/l en  $\text{CaCO}_3$ ) = V (ml) \* 50

Teneur en  $\text{Mg}^{2+}$  (mg/l) = (TH (F°)\*10)-(Ca (mg/l en  $\text{CaCO}_3$ )\*2,5)\*0,243

\***Chlorures ( $\text{Cl}^-$ )** : Limite de détection est : 20----500 mg

### -Principe

Les chlorures sont déterminés par la mesure de l'absorbance du complexe rouge orange généré par la réaction de Thiocyanate de fer substitué par l'ion  $\text{Cl}^-$  lorsque le thiocyanate de mercure et le sulfate de fer et d'ammonium rentrent en réaction .

### -Réactifs

\*Solution de sulfate de fer et d'ammonium : 60 g SFA + 600ml d'eau distillée+380ml d'acide nitrique

\*Thiocyanate de mercure : 1,5 g de Thiocyanate de mercure +500 ml Éthanol

\*solution standard de 1 mg  $\text{Cl}^-$ /ml : Mettre NaCl dans l'étuve pendantt 1heure ; prendre 1,648 g de NaCl +1000 ml d'eau distillée....1....

\* solution standard de 10  $\mu\text{g}$   $\text{Cl}^-$ /ml : prendre 10 de la solution 1 +1000 ml d'eau distillée

### -Mode opératoire

50ml de l'échantillon +10ml de SFA+5ml d'éthanol. Agiter et attendre 10 minutes ; Effectuer la mesure colorimétrique à une longueur d'onde 460 mn. La valeur est donnée directement par le spectrophotomètre en (mg/l).

\***Sulfates ( $\text{SO}_4^{2-}$ )**

### -Principe

Les sulfates forment avec le chlorure de baryum en milieu acide un précipité très fin Grâce à un agent dispersé (gélatine). On obtient une suspension homogène qu'on peut Passer au colorimètre puisque l'intensité avec laquelle elle absorbe la lumière d'un faisceau

Lumineux est proportionnelle à la concentration en sulfate.

### -Réactifs

\*Solution de 100gde chlorure de baryum + 20g de gélatine dissoudre séparément dans L'eau chaude sans dépasser 70° qsp à 1litre. Ajouter un peu de phénol pour une bonne Conservation.

\*Solution d'HCl à 83 cc /l

## Chapitre 3: Matériels & Méthodes

\*Solution mère 50 méq/l de  $\text{SO}_4$

Peser 3,300g  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  sécher à l'étuve pour 1 litre d'eau.

\*Solutions filles: préparer les dilutions suivantes dans les fioles jaugées de 100ml

Volume en cc	1	2	5	7	10	15	20
Concentration méq/l	0.5	1	2.5	3.5	5	7.5	10

La solution mère est conservée dans un flacon bien bouché

Les solutions filles doivent être souvent renouvelées.

### -Mode opératoire

Prélever successivement 5 ml de chaque solution fille et de chaque échantillon et

Mettre dans un récipient 100 cc ajouter ensuite 1ml d'acide chlorhydrique +Puis 5 ml de la solution gélatine, ajouter ensuite environ 40 cc d'eau distillée avec un distributeur automatique.

- Mélanger et faire la lecture au colorimètre.  $\lambda=650 \text{ nm}$

### 3.2.3.2 Les substances chimiques dites indésirables

Pour notre étude, l'analyse des sels nutritifs est faite par colorimétrie à flux continu sur une chaîne automatisée « Auto-Analyzer SAN PLUS » en suivant les protocoles définis par le fabricant (**Skalar, 2000**), [78]. L'appareil fonctionne selon un principe dynamique simple, celui de l'analyse liquide en milieu continu : par l'intermédiaire d'une pompe péristaltique, une veine liquide progresse en continu, ce qui permet une polyvalence et une grande souplesse.

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

Il s'agit d'une méthode colorimétrique composé de GRIESS utilisant le nitrite après réduction des nitrates en nitrites. Cette réduction se fait à l'aide d'une colonne réductrice de cadmium (**Wood et al, 1967**), [51].

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

Les nitrites sont dosés par une méthode colorimétrique basée sur la réaction de Griess ou les  $\text{NO}_2^-$  réagissent avec une première amine aromatique pour former un

## Chapitre 3: Matériels & Méthodes

---

diazoïque qui est couplé à une seconde amine aromatique pour produire un colorant rose, [54].

### 3.2.3.3 Contamination métallique

\***Fer** : Limite de détection est : 0.5---20 mg

#### -Réactifs

A-Solution d'acide chlorhydrique 20%

C-Acétate d'ammonium : dissous 500g .....1000ml eau distillée

D-Solution d'Hydroxylamine hydrochloride (100 g/l) : dissoudre 10 g dans 100 ml eau distillée

E-TPTZ (2.4.6-tris (2-pyridyl)-1.3.5-triazie : dissoudre 0,312 g +4ml HCl (1+1)...1000ml

-**Mode opératoire** : Prendre 50ml d'échantillon +8ml de(A) passer à l'ébullition jusqu'à l'obtention d'un volume de 20ml, laisser refroidir, +5 ml de (D) + 2ml (E) +20ml de (C)...50ml

\*Solution mère : 1 mg Fe/ml (1)

Prendre 1 gr de fer+30ml HCl (1+1), chauffer pour dissoudre .....1000 ml /ED ou bien

Prendre 7.02gr sulfate de fer et d'ammonium+20ml HCl (1+1)...1000ml

\*Solution standard : 10µg Fe/ml

Prendre 10ml de (1) +20ml HCl (1+1) ....1000ml

Passer à la lecture au spectrophotomètre à une longueur d'onde de 595 nm.

\***Cuivre** : Limite de détection est : 2----30 mg.

#### -Réactifs

A-Solution d'acide chlorhydrique 20 %

B-Acide tartrique (1mol/l) : dissoudre 15g L(+) acide tartrique ....100ml eau distillée

C-Acétate d'ammonium : dissoudre 500g .....1000ml eau distillée

D-Solution de ZINCON : dissoudre 75 mg (0,075g) ds 50ml éthanol + 100 ml eau distillée

#### Mode opératoire

Prendre 50ml d'échantillon +8ml de(A) passer à l'ébullition jusqu'à l'obtention d'un volume de 20ml, laisser refroidir, +2 ml de (B) + 20ml (C) +0.1ml de (D)...50ml....

\*Solution mère : 0,1 mg Cu/ml (1)



## Chapitre 3: Matériels & Méthodes

---

Prendre 0,393 gr de Sulfate de cuivre dissous dans 20ml d'acide nitrique (1+1)...1000 ml /ED

\*Solution standard : 1µg Cu/ml

Prendre 10ml de (1) +20ml acide nitrique (1+1)...1000ml

\*Solution standard 10 µg Cu/ml

Prendre 50ml de la solution (1) +10 ml acide nitrique...500ml

Passer à la lecture au spectrophotomètre à une longueur d'onde de 600 nm :  $\text{Cu}^{2+}$  (mg/l)

### 3.2.3.4 Dosage de la dureté totale - TH

#### Principe

Les alcalino-terreux présents dans l'eau sont amenés à former un complexe du type chélate par le sel di-sodique de l'acide éthylène-diaminetétracétique. La disparition des dernières traces d'élément libre à doser est décelée par le virage d'un indicateur spécifique. En milieu convenablement tamponné pour empêcher la précipitation du magnésium, la méthode permet de doser la somme des ions calcium et magnésium.

#### Matériel

Tétramètre

Erlenmeyer de 50ml

Pipette de 20ml

#### -Réactifs

\*NET : 0,3g (NET) + 99,7g (NaCl)

\*Solution d'EDTA N/50 :3,721 g ...qsp 1000 ml

\*Solution tampon :(chlorure d'ammonium) 54g + (ammoniaque à 25%) 350ml.qsp 100ml

**-Mode opératoire :** Introduire 10 ml d'eau à analyser dans l'erenmeyer, une pincée du NET +1ml Solution tampon

La solution vire au rose. Verser la solution d'EDTA jusqu'au virage bleu

#### -Expression des résultats

TH (mg/l en  $\text{CaCO}_3$ ) =V (ml) \* 100

### 3.2.3.5 Mesure de l'alcalinité (Consommation d'acide méthode japonaise JIS K 0101)

#### -Principe

## Chapitre 3: Matériels & Méthodes

---

La neutralisation d'un certain volume d'eau par un acide dilué en présence d'un indicateur.

### **-Matériel**

Tétramètre

Erlenmeyer de 250ml

Pipette de 50ml

### **-Réactifs**

\*Indicateur mixte (Vert du Bromocrésol et le rouge de méthyle) : 0,02g (rouge de méthyle) + 0,1 g (Vert du Bromocrésol) ..... Qsp 100 ml

\*acide sulfurique 50 mmol/l : 3ml H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> .....Qsp 1000 ml d'eau distillée

\*\*acide sulfurique 10 mmol/l : prendre 200 ml de (\*) ... qsp 1000 ml

**-Mode opératoire :** Introduire 50 ml d'eau à analyser dans l'erenmeyer, quelques gouttes de l'indicateur mixte. La solution vire au bleu. Verser la solution d'acide sulfurique (\*\*) jusqu'au virage rose

### **-Expression des résultats**

Alc (mg/l) = V (ml) \* 20

**L'interprétation de ces résultats est effectuée selon le guide de la qualité de l'eau dans le contrat d'achat de l'eau. Ce guide a été établi selon les normes algériennes 2011.**

Les résultats obtenus dans ce travail peuvent être dus à deux sources : présence d'une contamination (naturelle ou anthropique) dans un premier temps et le process de l'usine de dessalement elle-même dans un second temps. Parmi les impacts dus à usine de dessalement, il y a ceux qui se limitent à la phase de construction et ceux qui sont liés à la phase d'exploitation. Les impacts commencent avec la transformation de l'occupation du sol, puis continuent avec des conséquences visuelles et des nuisances sonores pour s'étendre à des émissions dans l'atmosphère et des rejets dans l'eau ainsi qu'à des dommages potentiels pour le milieu récepteur.

### 4.1 pH et Température

- Le pH de l'eau est un paramètre très important donnant une idée sur l'équilibre de l'eau ainsi que sur la qualité de l'eau produite ; il mesure la concentration des protons  $H^+$  contenus dans l'eau et 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 [55].

Des valeurs de pH qui sont inférieurs à 7 peuvent provoquer une corrosion sévère des tuyauteries métalliques conduisant à une augmentation des concentrations de certains éléments toxiques ou gênants (plomb, fer,...).

Le graphique (**fig.14**), établi pour les sept échantillons prélevés de part et d'autre à la sortie de la station de dessalement de l'eau de mer au niveau de canal de rejet au niveau du complexe KAHRAMA montre que les valeurs de pH sont comprises entre 7.90 et 8.21 tandis qu'à la sortie de dessale la saumure atteinte une valeur de pH 8.90.

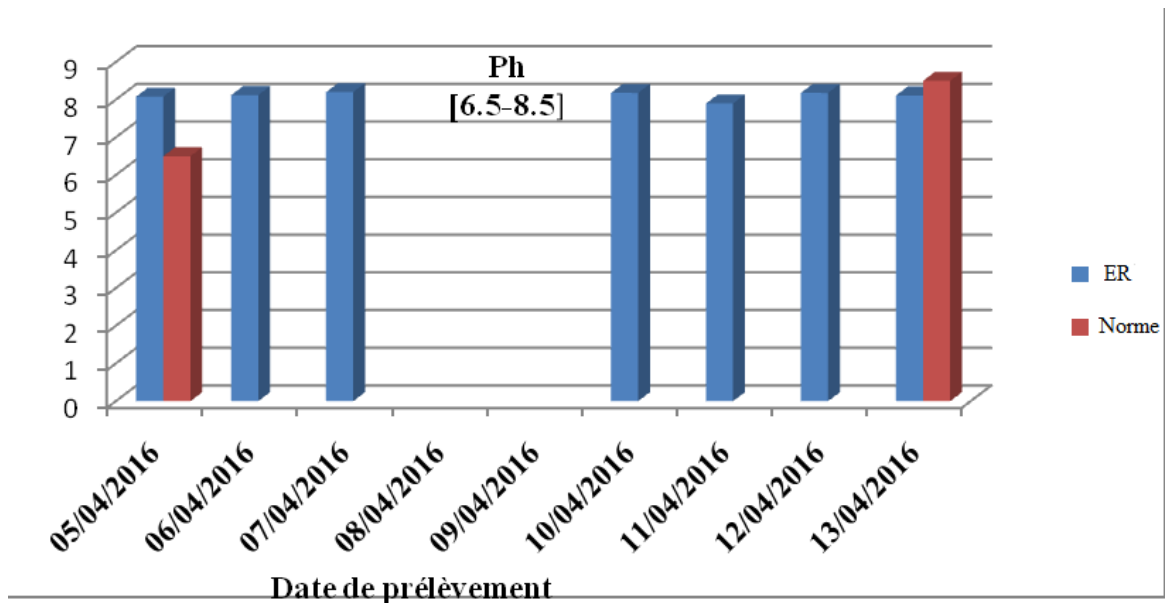
Selon ces résultats, on peut conclure que le pH varie dans la fourchette de valeurs admise par les normes de rejet [6.5-8.5].

Il est bien entendu que les valeurs de pH de la saumure, avant qu'elles subissent un traitement, dépassent les normes de rejet.

## Chapitre 4: Résultats & Discussion

- La température de l'eau, est un facteur écologique qui entraîne d'importantes répercussions écologiques [56]. Elle agit sur la densité, la viscosité, la solubilité des gaz dans l'eau, la dissociation des sels dissous, de même que sur les réactions chimiques et biochimiques, le développement et la croissance des organismes vivant dans l'eau et particulièrement les microorganismes [57].

Dans la zone d'étude, les températures enregistrées (**fig. 15**) oscillent entre 19,7°C et 23°C pour l'eau brute et l'eau saumure sur les sept échantillons prélevés de part et d'autre à la sortie de la station de dessalement de l'eau de mer au niveau de canal de rejet au niveau du complexe KAHRAMA d'Arzew. Ces variations de température suivent celles du climat de la région. Les températures mesurées dans les eaux (brute et saumure) appartiennent donc à la classe moyenne à excellente (30°C). En pratique, la température n'a pas d'action directe sur les espèces marines, mais des températures élevées peuvent causer des problèmes sur la qualité de l'eau voire la vie aquatique.



**Fig. 14 – Evolution du pH en fonction du temps.**

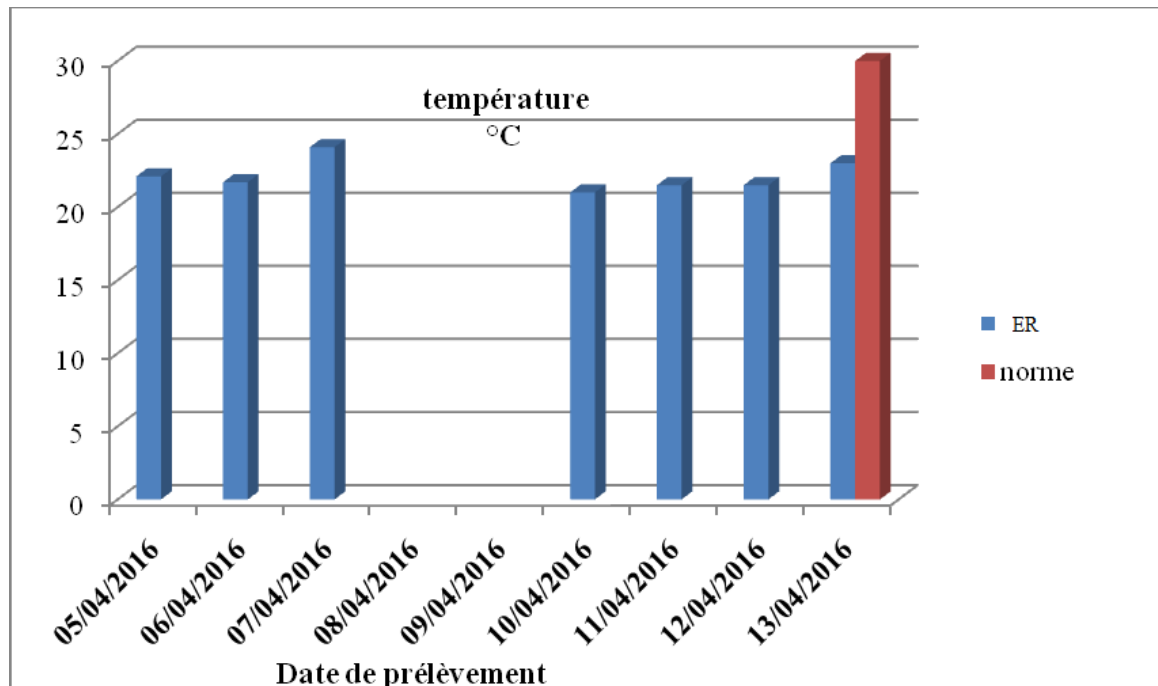


Fig. 15 – Evolution de la température en fonction du temps.

Nos résultats sont un peu différents des résultats obtenus pour la station de dessalement de la région de Corso (W. Boumerdes) où le pH de l'eau brute qui alimente la station est légèrement alcalin c'est le cas de l'eau de mer. Sa valeur est presque constante elle varie entre (7,35-7,8). En comparant le pH de l'eau brute avec le pH de l'eau prétraitée, on remarque une diminution de ce dernier qui est due à l'injection d'acide chlorhydrique. Cette diminution atteint le pH d'équilibre. Après le passage de l'eau prétraitée, un pH acide de l'eau osmosée allant de 5,55 à 6,0 est constaté.

### 4.2 Les chlorures

Les chlorures sont des anions inorganiques importants contenus en concentrations variables dans les eaux naturelles, généralement sous forme de sels de sodium (NaCl) et de potassium (KCl). Les chlorures sont très solubles dans l'eau, leurs éliminations sont difficiles et les méthodes classiques de traitement sont inefficaces. Ils sont souvent utilisés comme un indice de pollution. Ils ont une influence sur la faune et la flore aquatique ainsi que sur la croissance des végétaux [58].

D'après les résultats obtenus, les teneurs en chlorures sont élevés dans la saumure de 34986 à 46150 mg/l par rapport à l'eau de mer normale qui a généralement une valeur de 23990 mg/l. Au contact avec les eaux usées du complexe, on remarque une diminution

importante dans l'eau de rejet final jusqu'à des valeurs de 22134 à 25347 mg/l au. Ce qui se traduit par la dilution du milieu récepteur (fig. 16).

Selon **Makhoukh et al. (2011), [59]**, les concentrations en ions Chlorure relevées dans les eaux de la station s'échelonnent entre 154 mg/l (S4) et 1168 mg/l. Cette évolution indique la contribution d'un apport anthropique qui peut être d'origine urbaine aussi bien qu'industrielle.

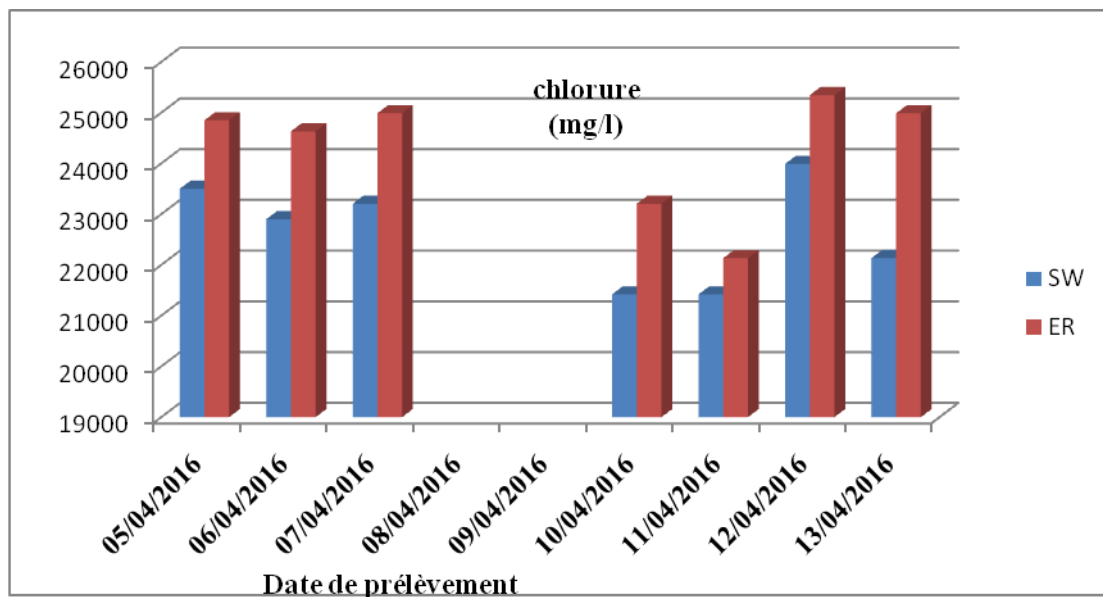


Fig. 16 – Evolution des chlorures en fonction du temps.

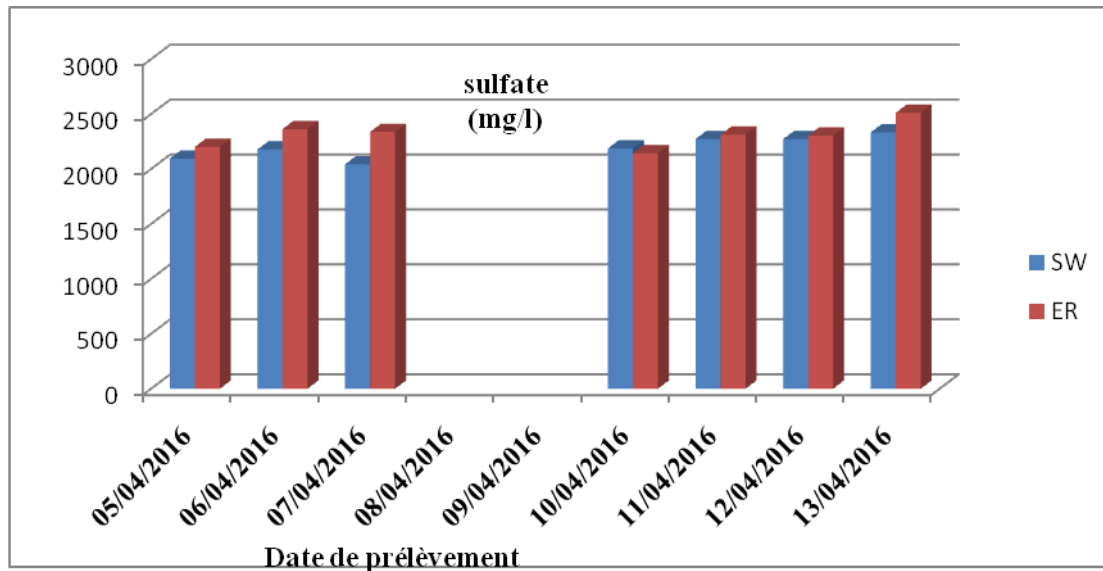
### 4.3 Les Sulfates

Selon **Monique et al. (1984), [61]**, la présence des sulfates résulte de l'oxydation des sulfures répandus dans les roches par exemple : la pyrite.

L'augmentation de la teneur en sulfates dissous dans les eaux de mers, peuvent contribuer à la formation des sulfures qui se volatilisent dans l'air sous forme de sulfure d'hydrogène ( $H_2S$ ), ou elles donnent un précipité sous forme d'un sel insoluble qui est incorporés dans les organismes vivants. Cette réduction se fait sous l'action des micro-organismes appelés bactéries sulfito-réductrices, qui deviennent donc dominant, car ils ont plus de substrats à transformer. Si la teneur en sulfate est faible, les bactéries productrices de méthane deviennent dominantes [58].

## Chapitre 4: Résultats & Discussion

A la lumière de nos résultats, les saumures rejetées dans l'environnement aquatique ont une concentration en sulfates, d'une valeur allant de 2145 à 2510 mg/l et d'une teneur rapprochée à celle de l'eau de mer (2300 mg/l). Les teneurs élevées en sulfates proviennent des produits utilisés dans les prétraitements (**fig. 17**).



**Fig. 17 – Evolution des sulfates en fonction du temps.**

### 4.4 La Conductivité

La conductivité est un paramètre qui a une relation directe avec la minéralisation qui, elle-même est en relation directe avec le TDS et la salinité de l'eau. Elle peut entraîner cependant, selon le cas, un goût salé et même une accélération de la corrosion au niveau des dépôts dans la canalisation [11].

La mesure de la conductivité constitue une bonne appréciation du degré de minéralisation d'une eau où chaque ion agit par sa concentration et sa conductivité spécifique. Les différentes mesures de la conductivité dans l'eau brute ont donné des résultats étant majoritairement de 49800 $\mu$ s/cm. Après la sortie de la saumure de dessale la conductivité atteinte une valeur maximale égale à 94200 $\mu$ s/cm.

Nos analyses de l'eau rejetée montrent un baissment de la conductivité après être mélangé avec les eaux usées et de refroidissement à une valeur 53300 $\mu$ s/cm (**fig. 18**). Ces

résultats sont non conformes aux normes. Les travaux de **Makhouk** et *al.* (2011), [59], montrent que les valeurs fluctuent entre  $219\mu\text{s}/\text{cm}$  et  $3920\mu\text{s}/\text{cm}$ .

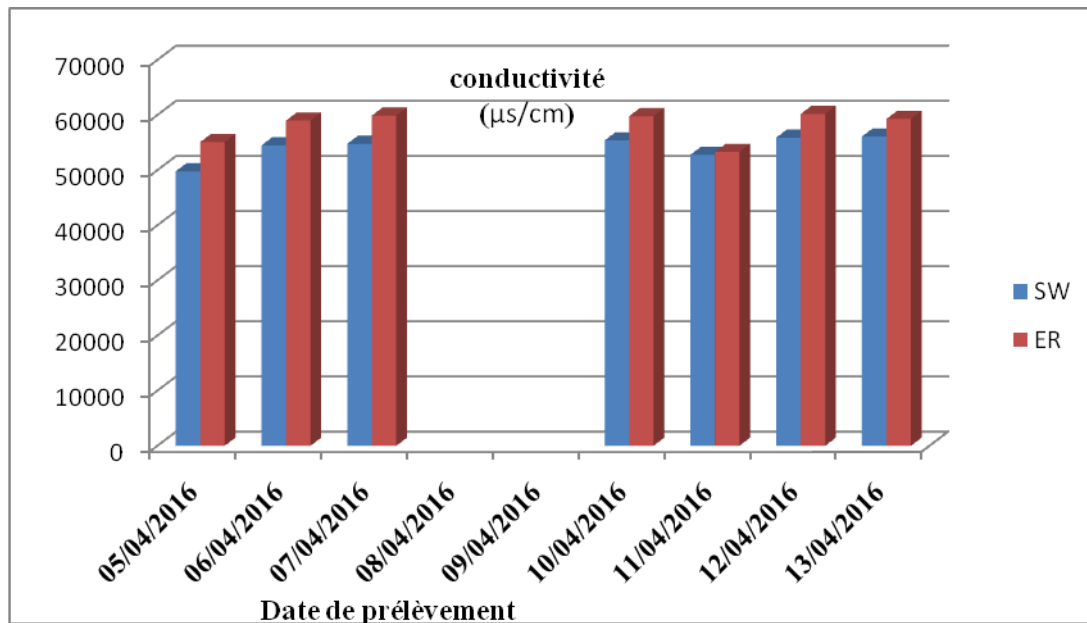


Fig. 18 – Evolution de la conductivité en fonction du temps.

### 4.5 Les cations : Calcium et magnésium

En fait, calcium et magnésium sont chimiquement très semblables : ce sont des cations bivalents entrant tous deux dans de nombreuses réactions biochimiques. Le magnésium est un élément important en aquariophilie récifale, mais son rôle exact reste encore insuffisamment connu.

La teneur enregistrée du Magnésium dans l'eau de saumures atteint une valeur de  $1704\text{ mg}/\text{l}$ , alors que dans l'eau de rejet la valeur s'abaisse après être mélangé avec les eaux usées et de refroidissement tel qu'elle s'atteigne la valeur  $1364\text{ mg}/\text{l}$  qui n'est pas loin par rapport à celle de l'eau brute cela veut dire qu'elle répond aux normes.

Pour le calcium d'après le graphique ci-dessus on constate que les valeurs de l'eau de saumures de rejet et même brute sont largement supérieures à la valeur normale de du calcium présent dans l'eau de mer ( $413\text{ mg}/\text{l}$ ), cependant dans la région d'ARZEW la teneur de calcium est très élevée à cause de la présence de quantités croissantes de dioxyde de carbone dans l'atmosphère rejetés par les complexes industriels de cette zone ,



## Chapitre 4: Résultats & Discussion

l'océan qui en absorbe une partie va voir son acidité augmenter. Cet accroissement d'acidité va gravement perturber la formation des coquilles et socles calcaires de nombreuses espèces vivant dans la mer ce qui augmente la concentration de calcium dans cette région et c'est pour cette raison la teneur en calcium constaté dans l'eau brute est confinées entre [1025-1775].

D'après nos résultats on constate que le teneur de calcium présent dans l'eau rejeté est rapproché à celui de l'eau brute (figs. 19,20).

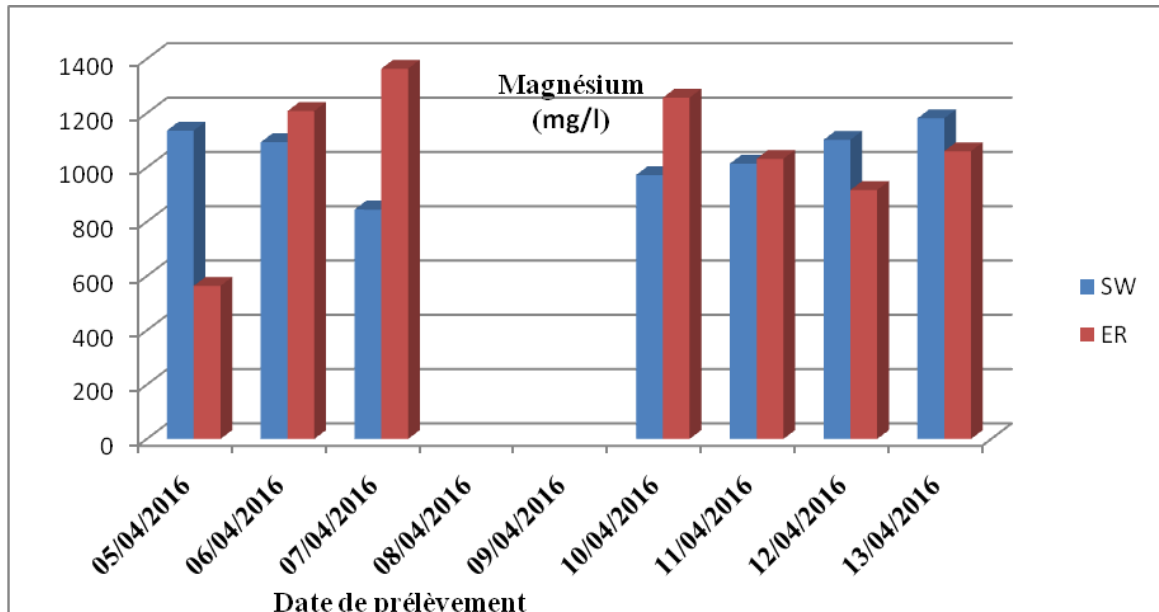


Fig. 19 – Evolution du cation magnésium en fonction du temps.

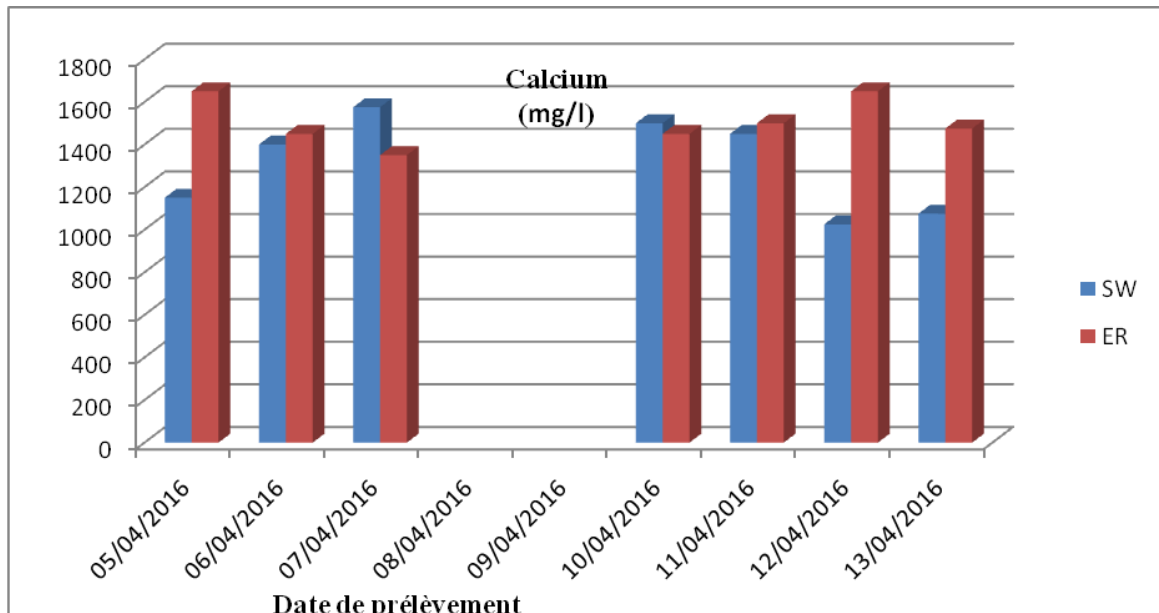


Fig. 20 – Evolution du cation calcium en fonction du temps.

### 4.6 La salinité

La tolérance maximale de salinité des espèces marines est entre 40 et 50 psu (Unité de salinité : 1 psu = 1 g de sel (NaCl) par kg d'eau de mer, 1psu=1‰). C'est-à-dire, si la salinité de la mer est supérieure à 50 psu, les espèces marines survivront difficilement [11].

Nos analyses montrent un taux salinité élevé dans la saumure de 53,38‰ à 64,54‰ par rapport à l'eau de mer normale qui atteint une valeur de 35,83‰. Au contact avec les eaux usées du complexe, on remarque une diminution importante dans l'eau de rejet final jusqu'à des valeurs de 31,75‰ à 32,53‰ ; ce qui se traduit par la dilution du milieu récepteur. On constate qu'il n'y a pas une grande différence entre les valeurs de salinité de l'eau de mer et celles de l'eau de rejet, Ce qui rend ce paramètre sans danger pour le milieu marin (fig. 21).

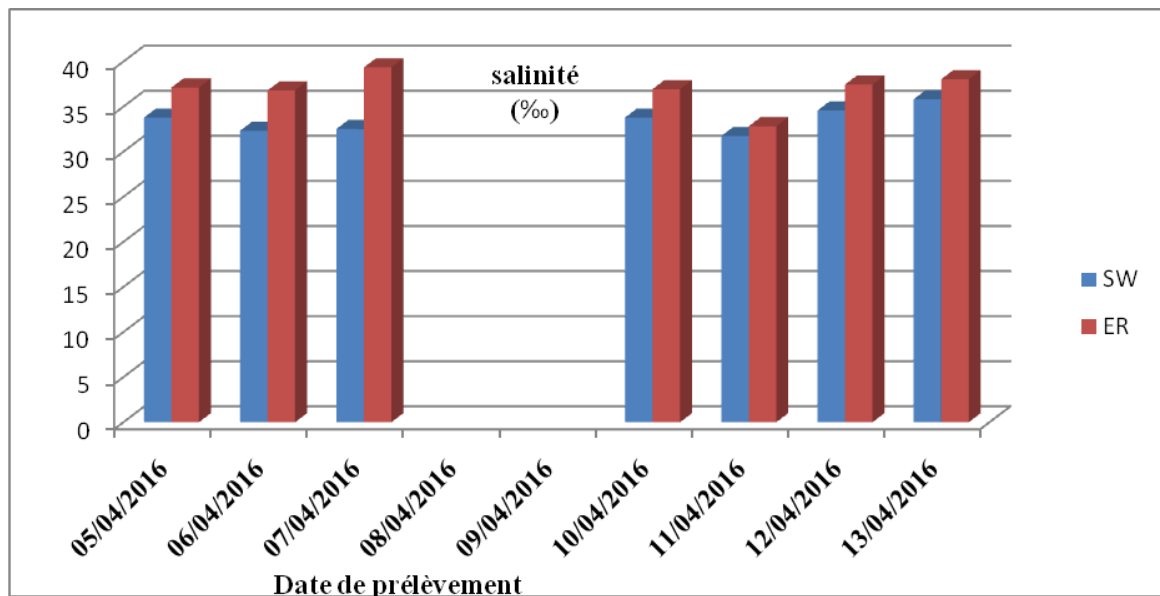


Fig. 21 – Evolution de la salinité en fonction du temps.

### 4.7 Les ions : le fer et le cuivre

Le cuivre est présent naturellement dans l'environnement mais il est aussi abondamment utilisé dans les domaines industriels et domestiques. Il peut être détecté dans les eaux de surface, les eaux souterraines ou l'eau de mer. Sa présence fait suite à des activités anthropogéniques, telle que l'activité minière ou agricole, et les effluents provenant des usines de traitement des eaux usées. [69]. De par leurs propriétés

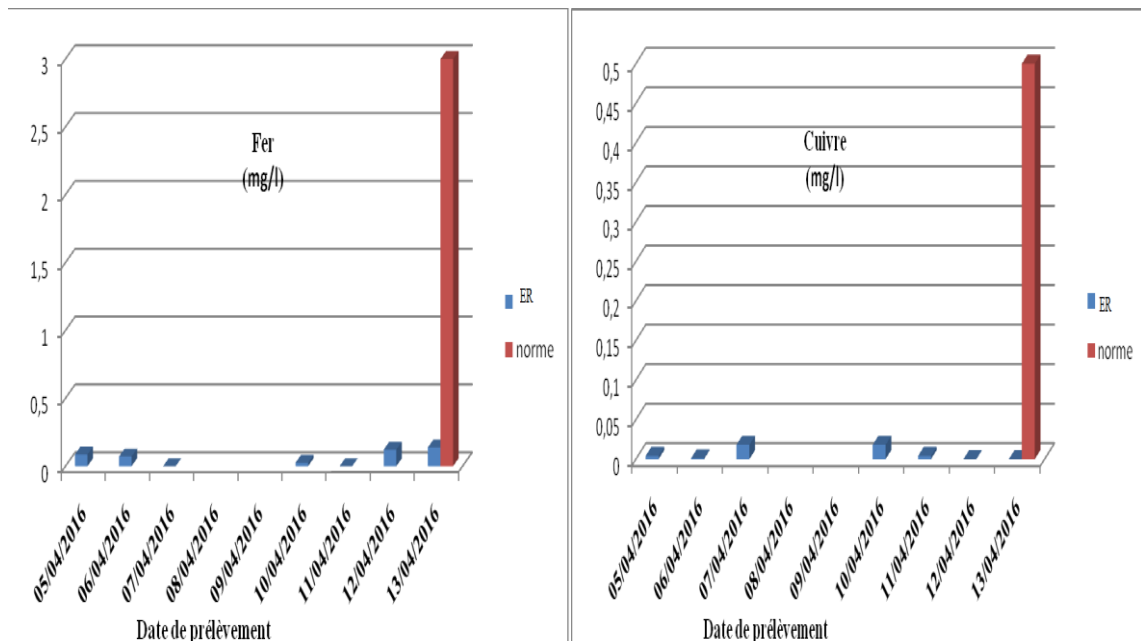
## Chapitre 4: Résultats & Discussion

fongicides, herbicides et insecticides, les sels de cuivre (sulfate de cuivre et l'hydroxyde de cuivre) sont utilisés intensivement en agriculture comme pesticides.

Les teneurs en cuivre dans l'eau de rejet sont largement inférieures à la norme requise (0,5 mg/l). Certaines teneurs enregistrées sont même inférieures à 0,001mg/l (**fig. 22**).

Le fer se trouve dans l'eau douce naturelle à des niveaux allant de 0,5 à 50 mg /litre. Le fer peut également être présent dans l'eau de boisson à la suite de l'utilisation de coagulants de fer ou de la corrosion de l'acier et des tuyaux en fonte pendant la distribution de l'eau. Le fer présent dans l'eau potable est un élément essentiel dans la nutrition humaine (**OMS, 2003**).

Dans le point de prélèvement de l'eau de mer à la sortie du complexe KAHRAMA, la concentration en fer atteint 0,138 mg/l, elle ne dépasse pas la limite normative qui est de 3 mg/l, une concentration très faible (**fig. 22**).



**Fig. 22 – Evolution des ions métalliques (fer, cuivre) en fonction du temps.**

A la lumière des résultats les valeurs acquises lors les différentes teste physico-chimique, minéralisation globale et paramètre de pollution de l'eau de rejet rejeté dans la mer par l'unité de dessalement de KAHRAMA, on note une eau qui est conforme aux normes de rejet. Si jamais aucun traitement est prévisible, avec le temps une

## Chapitre 4: Résultats & Discussion

---

augmentation de taux de sel est prévue pour cela il faut prendre des précautions pour aller vers des technique de dessalement moins polluantes et traiter la saumure avant son rejet à la mer

Le dessalement de l'eau de mer est parfois présenté comme la solution miracle aux problèmes de rareté de l'eau potable. Outre le fait qu'elle demeure financièrement inaccessible aux pays pauvres (en revenus ou en pétrole), ces technologies demeurent de grosses consommatrices d'énergie et la question de leur impact environnemental est loin d'être résolue, notamment les rejets de saumure (surtout pour les stations à haut débit), qui doit être mieux maîtrisé et amélioré dans un souci de préservation des ressources écologiques marines et d'une diminution des impacts environnementaux en général.

En effet, ces rejets provoquent des dommages potentiels pour le milieu récepteur (milieu marin). Bien que les travaux de recherches consacrés à la question soient restreints, le rejet de concentré dans la mer appelle une vigilance particulière et une évaluation scientifiques des impacts sur la faune et la flore [68].

Les travaux de **Lahouel et Lahouel (2015)**, [68], montrent que les besoins énergétiques liés à l'eau - pompage, aujourd'hui 1500 unités de dessalement réparties dans 120 pays produisent 40 millions de m<sup>3</sup>/j à partir d'eau de mer et d'eau saumâtre. Le transfert, les traitements auxquels le dessalement vient s'ajouter pourraient doubler en 10 ans, pour atteindre 15% de la demande globale d'énergie en 2025, Il faut valoriser les technologies les plus économes (osmose inverse, énergie renouvelables...).

## Conclusion générale

---

Le dessalement de l'eau de mer en Algérie revêt un caractère stratégique, il remplacera les ressources naturelles dans la majorité des villes du nord algérien. C'est à l'ouest du pays où la population souffre d'un déficit sévère en eau potable, et où les rationnements peuvent aller jusqu'à un jour sur cinq que seront installés la plupart des stations de dessalement ce qui permettra à la population de profiter d'une eau de même qualité que l'eau conventionnelle. Un choix pour lequel ont également opté nombreux pays les pays de la péninsule arabique, la Tunisie, le Maroc et l'Egypte.

Les autorités algériennes comptent monter à 43 stations à l'horizon 2019 pour répondre aux besoins domestiques nationaux. L'Algérie a choisi le dessalement d'eau de mer pour faire face à la demande domestique d'eau potable dans le pays. Aux dix usines de productions déjà opérationnelles, le pays souhaite en rajouter 33 autres d'ici 2019 et doubler les capacités journalières actuelles qui s'élèvent à 1, 04 millions de m<sup>3</sup> [40].

L'eau dessalée dont le prix de revient variera entre 45 et 55 DA le mètre cube sera distribuée par l'ADE (Algérienne des Eaux) à des prix étudiés qui devraient rester au même niveau que l'eau conventionnelle [40].

La réduction des coûts, par la maîtrise des systèmes de récupération d'énergie et le procédé d'osmose, permet un développement très important du dessalement d'eau de mer dans le futur. L'utilisation des énergies renouvelables dans le dessalement contribue non seulement à la réduction des émissions de CO<sub>2</sub> mais aussi à la réduction des coûts d'exploitation de l'eau produite.

L'économie de l'eau et la rationalisation de son utilisation ainsi que la préservation de l'environnement doivent accompagner impérativement la réalisation des stations de dessalement.

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

- Besoin énergétique important.
- Utilisation de produits chimiques.
- Rejets des saumures concentrées et chaudes dans le cas de la distillation.

## Conclusion générale

---

- Traces de métaux lourds dans les rejets.
- Aucune législation spécifique au rejet de saumure.

La solution du dessalement a été mise en œuvre avec succès, depuis quelques années grâce au partenariat étranger, et à de nombreux petits projets financés sur le budget de l'Etat. Elle est également une option hautement stratégique qui mettra fin, à terme, dans la majorité des villes du nord du pays, selon les prévisions du gouvernement, aux difficultés récurrentes d'approvisionnement en eau, une denrée de plus en plus rare à cause des aléas climatiques et des longues périodes de sécheresse. C'est à l'ouest du pays où la population souffre d'un déficit sévère en eau potable.

Cette étude nous montre que la production d'eau douce par des procédés non conventionnels comme le dessalement de l'eau de mer, est caractérisé par la production en parallèle d'une eau saumure fortement chargée en sels. Le retour de cette eau à la mer provoquant une variation de la composition chimique en s'ajoutant aux rejets de produits chimiques des traitements correctifs de l'eau d'appoint et aux rejets issues de la pollution marine tels que l'hydrogène sulfuré ou les composés ammoniacaux et hydro carburants. Ces rejets ont un impact négatif sur l'environnement et la préservation des écosystèmes. Faut-il orienter le choix d'un procédé de dessalement en considérant une station de neutralisation de la saumure avant son rejet à la nature.

Le problème des rejets est un problème dont-il faut traiter en urgence vue la vitesse à laquelle le nombre d'installations de dessalement d'eau de mer en Algérie augmente mais aussi la capacité de dessalement augmente, donc la quantité de rejet augmente avec elle.

Les paramètres évalués pour l'eau saumure rejetée en mer ont montré des valeurs (en Europe par exemple) très élevées par rapport à la norme ce qui influe négativement sur l'environnement marin. Les rejets de saumures fortement chargées ont pour conséquence la variation de la composition chimique de l'eau de mer qui altère l'équilibre des écosystèmes et l'environnement marin.

La diminution de la concentration en oxygène dissous a une conséquence sur la vie des espèces marines.

## Conclusion générale

---

L'eau de mer, par ses propriétés physico-chimiques et également par la fraction vivante qu'elle comporte, est une eau de nature entartrante et corrosive pose des problèmes dans l'exploitation tel que l'entartrage et la corrosion des équipements de l'installation de dessalement.

Ainsi, les rejets journaliers associés à l'activité de dessalement dans le Golfe persique sont de 60 tonnes de produits détartrants, 24 tonnes d'ions chlorure et 300 kg d'ions cuivre (produit par corrosion). Dans le cas de l'osmose inverse le prétraitement de l'eau de mer ainsi que les phases de recyclage des membranes sont des étapes critiques qui induisent des rejets chimiques importants dans l'environnement [76].

Le bruit des machines dans une station de dessalement d'eau de mer présente une pollution auditive pour les travailleurs. Le revêtement des pompes par des boites appropriées absorbantes de bruit en piégeant le bruit à l'intérieur de l'usine en premier temps et de l'abaisser dans le second par le biais d'une planification acoustico-architectural de l'usine est l'une des méthodes les plus appropriées pour ce genre de problématique.

La lutte contre la pollution passe donc par la législation et son application mais aussi par l'amélioration des techniques : utilisation de produits moins nocifs et en doses plus réduites, meilleures performances des unités de dessalement des eaux.

L'absence de prise en compte de l'impact des rejets de la station sur l'environnement, a causé un problème encore plus grave que celui existant naturellement dû aux aléas climatiques, les instances concernées doivent prendre en charge les problèmes liés aux impacts environnementaux en faisant appliquer de façon très stricte la réglementation en vigueur, et trouver les solutions satisfaisants les parties concernées.

Enfin, nous espérons que la conscience environnementale des planificateurs, des concepteurs, des décideurs et du public pendant les premières phases de la planification et de la construction, permettra une construction des usines amicales avec l'environnement.

### RECOMMANDATIONS

-L'emplacement du rejet doit être soigneusement choisi en fonction des flux marins, afin d'éviter les zones biologiques sensibles et de favoriser la dispersion des saumures.

## Conclusion générale

---

-Rejeter la saumure à travers un système de diffuseurs, qui permettent de diluer rapidement la salinité et de retrouver les concentrations du milieu naturel.

-Les eaux rejetées doivent être à la même température que les eaux naturelles, afin d'éviter la perturbation du milieu aquatique et l'invasion d'espèces indésirables (avantage de l'osmose inverse par rapport au procédé thermique, qui rejette de très gros débits avec un écart de température).

-Préférer l'osmose inverse aux procédés thermiques et cela à cause des produits de corrosion et de détartage (corrosion faible due à la température ambiante et les parties métalliques des installations osmose inverse sont en acier inoxydable). D'après le Fonds mondial pour la nature : « **Dessaler l'eau de mer est un procédé qui coûte cher, consomme beaucoup d'énergie et rejette dans l'atmosphère des tonnes de gaz à effet de serre.** »

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



## Références Bibliographiques

---

- [1] ERIC Guilyardi; « *Quand le sel de l'océan pimente le climat* » ; La météologie No 33 Mai 2001.
- [2] Michelle et Dominique « *dictionnaire des constantes physique et biologique* », 1994, édition maloine p99.
- [3] BELHADJ. H., 2012 - Etat des lieux et perspectives de développement du dessalement en Tunisie. IX International Congress AEDyR. Palacio de Congresos de Madrid. Spain. 12-15 November 2012.
- [4] Chambre syndicale de la recherche et de la production du pétrole et du gaz naturel – comité des techniques ; « *circuits eau de mer (traitement et matériaux)* » ; édition technique, Paris – 1993.
- [5] MERIQ.Jean-Pierre ; « *Approche intégrée du dessalement d'eau de mer* » ; Toulouse-2009 ; thèse doctorat ; Ecole Doctorale MEGeP.
- [6] Mémento technique de l'eau, degrément (1995).
- [7] MAUREL. Alain , «Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres», édition technique et documentation, 2001
- [8] Clement « *Larousse agricole* », 1979, édition Larousse p48.
- [9] R.A. HORNE, « Marine chemistry the structure of water and the chemistry of the hydrosphere», Wiley-Interscience, 1969
- [10] HABBET LILA; «contribution à l'étude des impacts de dessalement des eaux de mer sur l'environnement : cas de littoral de BOUMERDES » ; 2009-2010 ; mémoire magister ; université M'HAMED BOUGARA BOUMERDES.
- [11] Mr HADJALI Yassine ; « *Impact des stations de dessalement de l'Eau de mer sur le littoral cas de la Station Plage EL Hilel (AIN Témouchent)* » ; 2012 ; mémoire master ; université ABOU BEKR BELKAID TLEMEN.
- [12] Dunglas J., 2014 - Le dessalement de l'eau de mer, une nouvelle méthode pour accroître la ressource en eau. Groupe eau. Académie d'agriculture de France.
- [13] Salomon J., 2012-Le dessalement de l'eau de mer est-il une voie d'avenir? Revista de Geografia e Ordenamento do Território, n°1 (Junho). Centro de Estudos de Geografia e Ordenamento do Território. Pág. 237-262.
- [14] FAO, 2008 - Food agency organization.www.cieau.com
- [15] KEHAL.S «Rétrospective et perspective du dessalement en Algérie».Desalination, Vol. 136, pp : 35–42, (2001)
- [16] <https://tpeorbleu.wordpress.com/techniques-de-dessalement-2/comparatif-des->

## Références Bibliographiques

---

[techniques/](#) (visité 03 avril 2016)

- [17] Zfaty.A, «Report submitted to Israel Water Commissioner », 1997 (in Hebrew)
- [18] Adan, «Report submitted to Israel Water Commissioner », 2000 (in Hebrew)
- [19] Adan, «Report submitted to Israel Water Commissioner », 1998 (in Hebrew, ADN4285a)
- [20] W.S. Winston and K. Sirkar, « Membrane Handbook », 1992.
- [21] Altman.T, « *New Power and Water Co-generation concept with Application of Reverse Osmosis (RO) Desalination* », Salzgitter Anlagenbau GmbH, 2000.
- [22] Patrick DANIS, « dessalement de l'eau de mer », technique de l'ingénieur, Doc. J2700
- [23] Khalid Z. Al-Subaie, « *Precise way to select a desalination technology* », Desalination, Vol. 206, pp: 29–35, (2007)
- [24] Viviane Renaudin, «le dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres», CNRS, Nancy, 2003.
- [25] Rachel Einav\*\*\*, Kobi Hamssib, Dan Periyb , «The footprint of the desalination processes on the environment », Desalination, Vol. 152, pp: 141-154 ,(2002)
- [26] M.S. Tanvir, I.M. Mujtaba\*, « Neural network based correlations for estimating temperature elevation for seawater in MSF desalination process », Desalination Vol.195, pp: 251–272, (2006)
- [27] Hussain.A, ed., « *Integrated Power and Desalination Plants* ». Oxford, Eolss Publishers Co. Ltd., 2003.
- [28] [http:// www.CultureScience](http://www.CultureScience), Chimie.Ens.Fr/dossiers chimie –société -article dessalement.
- [29] I.S. Park, S.M. Park, J.S. Ha, « *design and application of thermal vapour compressor for multi-effect desalination plant* », Desalination ,Vol.182 ,pp: 199-208, (2005).
- [30] Patier X. & Blanchon D., 2010 - Documentation photographiques. 8078. L'Eau, une ressource menacée ? La documentation Française. Paris. 63p
- [31] Boye H., 2008 - Eau, énergie dessalement et changement climatique en Méditerranée. Plan bleu centre d'activité régional, conseil général du l'environnement et du développement durable.
- [32] El Dessouky, H. « *Multi-stage flash desalination technologies*». Eurosummer School short course on sustainability assessment of water desalination technologies,

## Références Bibliographiques

---

Vilamoura, Portugal, November (2000).

[33] Hamed, O.; Al-Sofi, M.; Mustafa, G. and Dalvi, A.; « *The performance of different anti-scalants in multi-stage flash distillers* »; *Desalination*, Vol. 123, pp: 185-194, (1999).

[34] Oldfield, J. and Todd, B.; « *Environmental aspects of corrosion in MSF and RO desalination plants*»; *Desalination*, Vol. 108, pp: 27-36, (1996).

[35] Heitmann, H – G.; «*Saline water processing*»; VCH Verlagsgesellschaft, Weinheim, 332p; (1990).

[36] KHIRANI, « *élimination des substances humiques en présence des substances humiques en présence de l'histidine et la tyrosine par adsorption* », *Courrier du Savoir – N°17, Décembre 2013, pp.25-31, université de Biskra.*

[37] S.NISAN. «*Dessalement de l'eau de mer par les réacteurs nucléaires* » .pdf 2007

[38] Nicos X. Tsiourtis, « *Desalination and the environment* »; *Desalination*, Vol.141, pp : 223-236, (2005)

[39] J.P. BRUN; « *procédés de séparation par membranes* » ; MASSON ; 1989

[40] Zouini D, 2009 - Le dessalement de l'eau de mer par osmose inverse : une solution pour l'alimentation en eau des villes côtières d'Algérie. *Revue HTE n°142 • Mars - Juin 2009.*

[41] Jacek Wisniewski, Agnieszka Rozanska ; « *Donnan Dialysis with anion-exchange membranes as a pretreatment step before electro-dialytic desalination* » ; *desalination* Vol.191, pp: 210-218, (2006)

[42] F.H. Meller; « *Electrodialysis and electro-dialysis reversal technology* » ; Ionics brochure. 1984

[43] H. Strathmann ; « *Ion-Exchange Membrane Separation Processes* » ; Elsevier,Amsterdam,2004.

[44] L. LOIZIDES, The cost of environmental and social sustainability of desalination, *International Conference on Desalination Costing, Limassol (2004)*

[45] C. FRITZMANN, J. LOWENBERG, T. WINTGENS, T. MELIN, State of art of reverse osmosis desalination, *Desalination 216 (2007) 1-76*

[46] Bessenasse M et Filali MB., 2014 - Impact du dessalement sur l'environnement en Algérie. *Revue Agrobiologia ; N°6, 75-81.*

[47] J.J. SADHAWANI, J.M. VEZA, C. SANTANA, Case studies on environmental impact of seawater desalination, *Desalination*, 185 (2005) 1-8.

## Références Bibliographiques

---

- [48] Rouane-Hacene O., 2013 - Biosurveillance de la qualité des eaux côtières du littoral occidental algérien, par le suivi des indices biologique, de la biodisponibilité et la bioaccumulation des métaux lourds (Zn, Cu, Pb et Cd) chez la moule *Mytilus galloprovincialis* et l'oursin *Paracentrotus lividus*. Thèse de doctorat. Université d'Oran. Algérie. 208 p.
- [49] Le dessalement de l'eau de mer, magazine de la chronique scientifique. N°4/Juillet-Août/2005/Recherche&Développement, VEOLIA, consulté 04/12/06
- [50] [http://hmf.enseeiht.fr/travaux/CD0607/beiere/1/html/projet\\_dessalement3.html](http://hmf.enseeiht.fr/travaux/CD0607/beiere/1/html/projet_dessalement3.html)  
(Visité le 20/04/2016)
- [51] Wood et al, 1967, en Aminot et Kerouel.
- [52] <http://www.djazairess.com/fr/elwatan/22034> (Visité le 28/03/2016)
- [53] MANUEL D'EXPLOITATION ET DE MAINTENANCE (MANUEL O&M),  
Volume I, Descriptions de systèmes, Kahrama Spa COMPLEXE DE DESSALEMENT  
D'EAU DE MER ET PRODUCTION D'ELECTRICITE D'ARZEW
- [54] Bendschneider et Robinson, 1952, en Aminot et Kerouel, 2004.
- [55] Himmi N., Fekhaoui M., Foutlane A., Bourchic H., El Mmaroufy M., Benazzout T., Hasnaoui M., 2003 - Relazione plankton-parametri fisici chimici in un bacino dimaturazione (laguna mista Beni Slimane – Morocco. Rivista Di Idrobiologia. Università degli studi di perugia, Dipartimento di Biologia Animale ed Ecologia laboratorio Di Idrobiologia “G.B. Grassi”, 110–111p.
- [56] Leynaud G., 1968 - Les pollutions thermiques, influence de la température sur la vie aquatique. B.T.I. Ministère de l'agriculture, 224-881.
- [57] W.H.O., 1987 - Global pollution and health results of related environmental monitoring. Global Environment Monitoring system, WHO, UNEP.
- [58] Rodier J., 2005- L'analyse de l'eau « eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer ». 8ème édition. Paris. Edition : Dunod. 1382p.
- [59] Makhoukh M, Sbaa M, Berrahou A, Van. Clooster M., 2011 - Contribution à l'étude physico-chimique des eaux superficielles de l'oued moulouya (Maroc oriental). *Larhyss Journal*, ISSN 1112-3680, n° 09, Décembre 2011, pp. 149-169
- [60] Dessalement de l'eau de mer en méditerranée évaluation et lignes directrices,  
UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME MEDITERRANEAN ACTION  
PLAN, Athens, 2003.
- [61] Monique.T.H et al, 1984. Chimie de l'eau. Edition : EDIN.
- [62] G.L. Meerganz von Medeazza; « *“Direct” and socially-induced environmental*

## Références Bibliographiques

---

- impacts of desalination* »; Desalination Vol.185 , pp: 57–70 ,(2005).
- [63] N.M. Wade et R.S.Fletcher; « *Energy allocation and other factors in the inthencing water cost in desalination and dual purpose power/water plants* ». Proc. of IDA. World Congress ; Abu Dhabi ; Nov 1995 ; Vol III; pp 363-380, (1995)
- [64] H.N. Afgan, M.Darwish and J.Cavvalho ; « Sustainability assesement of desalination plants for water production ». Desalination, Vol 124, pp 19-31, (1999)
- [65] Hoepner, H. (1999), A procedure for environmental impact assessments (EIA) for seawater desalination plants
- [66] Mickley, M., Hamilton, R., Gallegos, L. and Truesdall, J. (1993), Membrane Concentrate Disposal, AWWA Research Foundation and American Water Works Association
- [67] Finan, M., Smith, S., Evans, K. and Muir, J. (1989), Desalination, 73:341
- [68] Lahouel S & Lahouel N., 2015 - Dessalement de l'eau de Mer et les Énergies Renouvelables. *Journal of Advanced Research in Science and Technology* (JARST). 271-279:pp. ISSN: 2352-9989.
- [69] Campagna C., Phaneuf D., & Levallois P., 2012- Fiches synthèses sur l'eau potable et la santé humaine. Ed. Institut national de santé publique. Québec. 11 p.
- [70] Bissonnette A., 2000 - Utilisation de nanomembranes pour le dessalement del'eau et comparaison avec l'osmose inverse et la distillation. Centre Universitaire De Formation En Environnement. Université De Sherbrooke. Sherbrooke, Québec, Canada, Janvier 2008. 50p.
- [71] California Coastal Commission (1991), Seawater desalination in California Chap. three:Potential Environmental Impacts.
- [72] Sadiq, M. (1995), Metal Contamination of Sediments by Effluent from a RO Desalination Plant, International Desalination Association
- [73] Z.A. Sabri, GP. McLaggan and R. Hagenon, « *Safety and environmental impact of fossil fouled desalination plants* », Proc. 7th International Symp. on Fresh Water from the Sea , Vol.1, 99p, (1980).
- [74] UNEP, « *Seawater Desalination in Mediterranean Countries: Assessment of Environmental Impact and Proposed Guidelines for the Management of Brine* ». UNEP(DEC)/MED WG 183/Inf6, 2001
- [75] Metaiche M., 2006 - Optimisation des systèmes de dessalement par osmose inverse : conception, paramètres de fonctionnement et simulation numérique. Thèse de Doctorat. Ecole Nationale Polytechnique d'Alger. 187p.

## Références Bibliographiques

---

- [76] Rouane-Hacene O., 2013 - Biosurveillance de la qualité des eaux côtières du littoral occidental algérien, par le suivi des indices biologique, de la biodisponibilité et la bioaccumulation des métaux lourds (Zn, Cu, Pb et Cd) chez la moule *Mytilus galloprovincialis* et l'oursin *Paracentrotus lividus*. Thèse de doctorat. Université d'Oran. Algérie. 208 p.
- [77] Rachid Miri, Abdelwahab Chouikhi ; « *Ecotoxicological marine impacts from seawater desalination plants* » ; Desalination, Vol. 182, pp: 403-410, (2005)
- [78] SKALAR ANALYTICAL., 2000. Manuel san plus analyser: SA 1050 (Random Access Auto sampler). Breda (Netherlands), 23p.
- [79] Nancy E. Holt *et al.* « *Light Harvesting Carotenoid Cation Formation and the Regulation of Photosynthetic* », Science 307, 433 (2005).
- [80] <http://www.latribunedz.com/article/15442-L-Algerie-devant-le-defi-majeur-de-la-gestion-de-l-aridite-menacante> (visité 24 Avril 2016)
- [81] <http://www.fao.org/3/a-x6771f/X6771F02.htm> (visité 24 Avril 2016)
- [82] <http://www.planetoscope.com/consommation-eau/852-augmentation-des-besoins-en-eau-due-a-la-croissance-de-la-population-en-litre-.html> (visité 30 Mars 2016).
- [83] Shunya, I., Shiger, S. and Ayako, M. (1994), The lethal effect of hypertonic solutions and avoidance of marine organisms in relation to discharged brine from desalination plant. Desalination. Vol. 97, pp.389-399
- [84] <http://www.ecotoxicologie.fr/Dessalement.php>
- [85] R. Einav and F.Lockieck ; « Environmental aspects of a desalination plant in Ashkelon » ; Desalination, Vol.156, pp: 79–85 ,(2003)
- [86] I.Bremere, M.Kennedy, A.Sticker and J.Schippers ; « How water scarcity will affect the growth in the desalination market in the coming 25 years ». Desalination, Vol.138, pp: 7–15, (2005).

# Annexe I :

## Les normes des eaux de rejet :

### I.1. Normes internationale :

La norme est représentée par un chiffre qui fixe une limite supérieure à ne pas dépassée ou une limite inférieure à respecter. Un critère donné est rempli lorsque la norme est respectée pour un paramètre donné. Une norme est fixée par une loi, une directive, un décret-loi.

Les normes internationales selon l'organisation mondiale de la santé (OMS) respectives pour les eaux usées.

**Tab I.1-** normes de rejets internationales :

Caractéristiques	Normes utilisées (OMS)
PH	6.5-8.5
DBO5	< 30 mg/l
DCO	< 90 mg/l
MES	< 20 mg/l
NH4+	< 0.5 mg/l
NO2	1 mg/l
NO3	< 1 mg/l
P2O5	< 2 mg/l
Température	< 30°C
Couleur	Incolore
Odeur	Inodore

**Tab I.2-** Valeurs limites des paramètres de rejets d'effluents liquides industriels du journal officiel de la république algérienne :

N°	Paramètres	Unité	Valeurs limites	Tolérances aux valeurs limites anciennes
1	Température	°C	30	30
2	PH	mg/l	6.5-8.5	6.5-8.5
3	MES	mg/l	35	40
4	Azote Kjeldhal	mg/l	30	40
5	Phosphore total	mg/l	10	15
6	DCO	mg/l	120	130
7	DBO5	mg/l	35	40
8	Aluminium	mg/l	3	5
9	Substances toxique bioaccumulables	mg/l	0.05	0.01
10	Cyanures	mg/l	0.1	0.15
11	Fluor et composés	mg/l	15	20
12	Indice de phénols	mg/l	0.3	0.5
13	Hydrocarbures totaux	mg/l	10	15
14	Huiles et graisses	mg/l	20	30
15	Cadmium	mg/l	0.2	0.25
16	Cuivre total	mg/l	0.5	1
17	Mercure total	mg/l	0.01	0.05
18	Plomb total	mg/l	0.5	0.75
19	Chrome total	mg/l	0.5	0.75
20	Etain total	mg/l	2	2.5
21	Manganèse	mg/l	1	1.5
22	Nickel total	mg/l	0.5	0.75
	Zinc total	mg/l	3	5
24	Fer	mg/l	3	5
25	Composés organiques chlorés	mg/l	5	7



## Annexe II

**Tab II.1** – Résultats des analyses physico-chimiques de l'eau de mer et du rejet de la station de dessalement KAHRAMA du (05-06-07/04/2016).

Paramètre	Unité	Norme	05-04-16			06-04-16			07-04-16		
			SW	ER	BB	SW	ER	BB	SW	ER	BB
<b>pH</b>	-	<b>[6.5-8.5]</b>	7.82	8.08	8.73	7.82	8.12	8.54	7.89	8.21	8.74
<b>Température</b>	°C	<b>30</b>	21.7	22.1	22.2	19.7	21.7	22.5	19.7	24.1	25
<b>Alcalinité</b>	mg/l	--	580	490	600	530	490	480	520	510	570
<b>Conductivité</b>	µs/cm	--	49800	55100	85500	54500	59000	82800	54800	59900	93900
<b>Chlore</b>	mg/l	--	23500	24850	46150	26418	24633	34986	23205	24990	42600
<b>Dureté totale (TH)</b>	mg/l	--	7550	6450	12250	8000	8600	8600	7550	8990	14150
<b>Sulfates (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)</b>	mg/l	--	2095	2202	2461	2178	2363	2431	2043	2338	2492
<b>Calcium (Ca<sup>2+</sup>)</b>	mg/l	--	1150	1650	1750	1400	1450	1525	1575	1350	2125
<b>Magnésium (Mg<sup>2+</sup>)</b>	mg/l	--	1136	564	1913	1093	1208	1163	845	1364	2147
<b>Salinité</b>	‰	--	33.79	37.13	53.38	32.34	36.81	53.75	32.53	39.36	64.54
<b>cuivre</b>	mg/l	<b>0.5</b>	00	0.004	0.034	00	0.001	00	0.017	0.018	0.009
<b>Fer</b>	mg/l	<b>3</b>	00	0.086	0.057	0.001	0.071	00	0.003	00	00

**Tab II.2** - Résultats des analyses physico-chimiques de l'eau de mer et du rejet de la station de dessalement KAHRAMA du (10-11/04/2016).

Paramètre	Unité	Norme	10/04/16			11/04/16		
			SW	ER	BB	SW	ER	BB
<b>pH</b>	---	<b>[6.5-8.5]</b>	7.90	8.18	8.79	7.52	7.90	8.82
<b>Température</b>	C	30	20.9	21	23.6	20.4	21.5	21.6
<b>Alcalinité</b>	mg/l	--	520	500	550	500	550	580
<b>Conductivité</b>	µs/cm	--	55400	59800	94200	52800	53300	88700
<b>Chlorures (Cl<sup>-</sup>)</b>	mg/l	--	21420	23205	37485	21420	22134	35700
<b>Dureté totale (TH)</b>	°F	--	7750	8800	11650	7800	8000	12700
<b>Sulfates</b>	mg/l	--	2188	2145	2273	2273	2312	2566
<b>Calcium (Ca<sup>2+</sup>)</b>	mg/l	--	1500	1450	2225	1450	1500	2275
<b>Magnésium (Mg<sup>2+</sup>)</b>	mg/l	--	972	1257	1479	1014	1032	1704
<b>Salinité</b>	‰	--	33.80	36.95	62.59	31.75	32.84	56.66
<b>Cuivre</b>	mg/l	<b>3</b>	0.019	0.018	0.004	0.005	0.004	0.004
<b>Fer</b>	mg/l	<b>0.5</b>	0.012	0.025	00	00	00	00

**Tab II.3 - Résultats des analyses physico-chimiques de l'eau de mer et du rejet de la station de dessalement KAHRAMA du (12-13/04/2016).**

Paramètre	Unité	Norme	12/04/16			13/04/16		
			SW	ER	BB	SW	ER	BB
<b>pH</b>	---	<b>[6.5-8.5]</b>	7.92	8.18	8.79	7.91	8.11	8.70
<b>Température</b>	°C	<b>30</b>	21.1	21.5	21.8	23	23	23
<b>Alcalinité</b>	mg/l	--	500	500	650	430	890	470
<b>Conductivité</b>	µs/cm	--	55900	60200	94100	56100	59300	93100
<b>Chlorures (Cl)</b>	mg/l	--	24990	25347	43554	22134	24990	42840
<b>Dureté totale (TH)</b>	°F	--	7100	7900	11300	7550	8050	11700
<b>Sulfates</b>	mg/l	--	2272	2304	2648	2334	251	2269
<b>Calcium (Ca<sup>2+</sup>)</b>	mg/l	--	1025	1650	2050	1075	1475	2075
<b>Magnésium (Mg<sup>2+</sup>)</b>	mg/l	--	1102	917	1500	1181	1060	1582
<b>Salinité</b>	‰	--	34.58	37.46	60.55	35.83	38.05	61.41
	<b>cuivre</b>	mg/l	<b>0.5</b>	00	00	00	00	0.095
	<b>Fer</b>	mg/l	<b>3</b>	0.087	0.122	0.092	0.125	0.138

## Annexe III



**Fig.13/1** : Chaudière HRSG du complexe KAHRAMA



**Fig.13/2-** un Multi paramètre