

**UNIVERSITE SAAD DAHLAB - BLIDA1-**

**Faculté de Technologie**

Département des Sciences de l'Eau et Environnement



## **MEMOIRE DE MASTER**

Filière : **Hydraulique**

Spécialité : **Ressources Hydrauliques**

Thème :

**Etude des performances de la station de dessalement d'eau de mer  
de FOUKA Wilaya de TIPAZA**

Présenté par

**REZIM Fatiha et TACHETAOUI Kheira**

Devant le jury composé de :

M. A. BENAZIZA	Professeur, U. de Blida	Président
M. A. GUENDOZ	Professeur, U. de Blida	Examineur
M. M. BESSENASSE	Professeur, U. de Blida	Promoteur

Promotion 2019/2020

# Remerciements

*En premier lieu, nous tenons tout d'abord à remercier Dieu pour nos avoir donné la force et le courage pour pouvoir réaliser ce travail.*

*Au terme de ce travail. Il nos somme agréable d'exprimer notre sincères remerciements et notre profonde gratitude à Mr M. BESSERASSE de nos avoir encadré. Nous lui exprime notre reconnaissance pour ses précieux conseils qui nos ont guidé dans l'élaboration de ce mémoire de fin d'études.*

*Nous adressons nos remerciements aux tous les membres de la station de dessalement d'eaux de mer de Fouka et spécialement à Mr M. KHATEB.*

*Nous adressons également nos sincères remerciements aux membres de jury qui ont accepté d'examiner notre travail*

*Nous remercions également, l'ensemble des Enseignants de département de science de l'eau et environnement qui ont participé à notre succès durant tout notre cursus.*

*Nous adressons nos remerciements les plus chaleureux à nos familles, pour leurs soutiens et leurs encouragements durant nos études.*

*Et tous ceux qui ont aidé, de près ou de loin, à réaliser ce travail.*

# Dédicaces

Je dédie ce modeste travail,

- ❖ En commençant par le plus important, à mes parents qui se sont sacrifiés pour mes frères et moi, afin de nous donner la meilleure éducation possible « merci maman, merci papa ».
- ❖ A mes frères et mes sœurs et ma tante qui m'encourager très fortes.
- ❖ A tous les anges de notre maison : Abderrahmane ; Mohammed ; Monsif ; Khadîdja ; Abdelbasset. Sans oublier Bouchra ; Imane ; Sadik ; Fatima ; Idriss ; Medjm eddine et iliyas.
- ❖ A mon mari qui ma donner un grand soutien morale pour finir ce travail. Et bien sur pour ma belle mère et toute ma belle famille.
- ❖ A mon binôme Fatiha.
- ❖ A tous mes amis durant tous mon cycle d'étude et précisément : ilaf ; Bouchra ; Ahlem ; Chahra ; Noura ; Sara .....etc.
- ❖ Et a la fin a tous ce qui allumer un bouger dans la route de la reconnaissance et tous ce qui j'ai l'honneur de son lecture de mon travail et de prendre des informations a partir de lui.

*Kheira*

# Dédicaces

Je dédie ce modeste travail,

- ❖ En commençant par le plus important, à mes parents qui se sont sacrifiés pour mes frères et moi, afin de nous donner la meilleure éducation possible « merci maman, merci papa ».
- ❖ A mes frères et mes sœurs et mon oncle et sa femme qui m'encourager très fortes.
- ❖ A tous les anges de notre maison : Bahae dinne ; Wissal ; Raghad ; Alae ; Abdrazek et Schaibe.
- ❖ A mon binôme Kheira.
- ❖ A tous mes amis durant tous mon cycle d'étude et précisément : Fatima; Sarah ; Nesrine ; Sara .....etc.
- ❖ Et a la fin a tous ce qui allumer un bouger dans la route de la reconnaissance et tous ce qui j'ai l'honneur de son lecture de mon travail et de prendre des informations a partir de lui.

Fatiha

## ملخص:

المشكل الخطير الذي يتمثل في نقص المياه فان عملية تحلية مياه البحر تعد الحل الأمثل لانطلاق الميدان لمواجهة الصناعي و هذا من خلال تحقيق قدرة إنتاج تقدر بحوالي 2260 مليون متر مكعب في اليوم بسبب ثلاثة عشر محطة تحلية عبر القطر الجزائري.

إن إنشاء مصانع تحلية المياه و التي لها تأثير على المحيط البيئي بسبب المخلفات الملوثة كالمواد الكيميائية و الكميات الكبيرة من الأملاح.

ان الهدف من هذا العمل هو دراسة قدرة محطة التحلية عن طريق الاسموز العكسي و الواقعة بمدينة فوكة ولاية تيبازة.

الكلمات المفتاحية: تحلية، محطة، مواد كيميائية، الأملاح، الاسموز العكسي.

## RESUME :

Face au problème majeur de manque d'eau, le dessalement constitue une option stratégique pour l'Algérie qui a lancé une véritable industrie du dessalement des eaux de mer, avec la mise en service des 13 grandes stations de dessalement, on arrive à mobiliser de 2,260 millions de m<sup>3</sup>/J.

Toutefois, la construction d'usines de dessalement est inévitablement associée à une catastrophe environnementale causée par le vaste déversement de la saumure et des réactifs chimiques utilisés dans le dessalement.

L'objectif de ce présent travail est d'étudier les performances de la station de dessalement par osmose inverse, située dans la ville de Fouka W. Tipaza et d'examiner l'impact de cette usine sur l'environnement marin.

**Mots clés : dessalement ; station ; réactifs chimiques ; osmose inverse.**

## SUMMARY :

The major problem of lack of water, desalination constitutes a strategic option for Alegria which launched a true industry of the desalination of sea waters, with an output of 2.260million m<sup>3</sup> /j.

How ever, the construction of desalination plants is inevitably associated an environmental catastrophe caused by the vast discharge of the brine and the chemical reagents used in desalination.

The objetive of this present work is to study the performances of the station of desalination by opposite osmosis, located in the industrial park of skikda and to examine the impact of this factory on the marine environment.

**Key words : desalination ; chemical reagents ; the brine ; opposite osmosis.**

## **Liste des tableaux :**

### **Chapitre I : Ressources en eau en Algérie**

Tableau I.01: Répartition des eaux de surface en Algérie.....	04
Tableau I.02: Répartition spatiale des eaux souterraines du Nord du pays.....	05
Tableau I-03 : consommation d'eau dans les industries de transformation.....	07
Tableau I.05 : Stations exploitées par SONELGAZ.....	09
Tableau I.06: Stations exploitées par SONATRACH.....	10

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

Tableau II.01 : La salinité de l'eau de mer et d'océan.....	14
Tableau II.02 : Répartition de la production de l'eau dessalée (l'eau de mer).....	15

### **Chapitre VI : Présentation de la zone d'étude**

Tableau IV.01 : Capacité de la station.....	39
Tableau IV.02: Causes et conséquences de différents types d'encrassement.....	52
Tableau IV.03: Résumé des caractéristiques des pompes.....	55

### **Chapitre V : Etude des performances de la station de dessalement de Fouka**

Tableau V.01 : Résultats des analyses de la température.....	71
Tableau V.02 : Résultats des analyses de Ph.....	72
Tableau V.03 : Résultats des analyses de la conductivité.....	74
Tableau V.04 : Résultats des analyses de TDS.....	75
Tableau V.05: Résultats des analyses de la turbidité.....	77
Tableau V.06 : Résultats des analyses de SDI.....	78
Tableau V.07 : Résultats des analyses de la dureté calcique.....	80
Tableau V.08 : Résultats des analyses de la dureté totale.....	81
Tableau V.09 : Résultats des analyses des chlorures.....	83
Tableau V.10 : Résultats des analyses de l'alcalinité.....	84

## Liste des figures :

### Chapitre I : Ressources en eau en Algérie

Figure I.01 : Les bassins hydrographiques de l'Algérie du Nord.....03

### Chapitre II : Généralités sur le dessalement

Figure II.01: Les différents procédés de dessalement.....16

Figure II .2: Principe de distillation à simple effet.....17

Figure II .3: Distillation à multiples effets.....18

Figure II.04 : Distillation par longs tubes verticaux.....18

Figure II .5: Principe de fonctionnement d'un système par détente successives (MSF)...19

Figure II .6: Principe de dessalement par l'électrodialyse.....20

Figure II.07 : Remplacement des cations par  $H^+$  .....22

Figure II.08 : La déminéralisation.....23

### Chapitre III : Méthode utilisée par la station (Osmose Inverse)

Figure III-01: Principe de l'osmose et de l'osmose inverse.....25

Figure III-02: membrane d'osmose inverse.....26

Figure III-03: Mécanisme de transfère de matière.....27

Figure III-04: Éléments constitutifs d'une unité d'osmose inverse.....28

Figure III.05 : Schéma d'une membrane sélective.....28

Figures III.06 : Module plan.....31

Figures III.07 : Schéma de principe d'un module tubulaire.....32

Figure III.08 : Module à enroulement spiral.....33

Figure III.09: Modules à fibres creuses.....33

Figure III.10 : Schéma de récupération directe de l'énergie.....34

Figure III.11 : Schéma de récupération indirecte de l'énergie.....35

### Chapitre IV : Présentation de la zone d'étude

Figure IV.01 : Photo de la station de Fouka.....39

Figure IV.02 : les étapes de dessalement.....40

Figure IV.03 : Tour de captage.....	40
Figure IV.04 : La conduite en PEHD.....	42
Figure IV.05 : Le dégrilleurs et la station de pompage.....	43
Figure IV.06 : Les prises des produits chimiques.....	44
Figure IV.07 : Les filtres gravitaires.....	46
Figure IV.08 : L'unité des filtres à cartouches.....	48
Figure IV.09 : Unité d'osmose inverse.....	50
Figure IV.10 : Système de récupération d'énergie.....	51
Figure IV.11 : Silos de la chaux.....	54
Figure IV.12 : CO2 fabriqué sur site.....	54
Figure IV-13 : Station de pompage d'eau traitée.....	55

### **Chapitre V : Etude des performances de la station de dessalement de Fouka**

Figure V.01 : Quelque signe de corrosion au sien de la station.....	60
Figure V. 02 : La congélation des tuyaux.....	64
Figure V.03: Fuite dans le système de production de CO2.....	64
Figure V.04 : La nouvelle conduite d'eau de service.....	64
Figure V.05 : Le réservoir de traitement des effluents.....	65
Figure V.06 : Le thermomètre.....	66
Figure V.07 : Le pH mètre.....	66
Figure V.08 : Le conductimètre.....	67
Figure V.09 : Le turbidimètre.....	68
Figure V.10: Variation de la température en fonction de la période d'analyse.....	71
Figure V.11: Variation de pH en fonction de la période d'analyse.....	73
Figure V.12: Variation de la conductivité en fonction de la période d'analyse.....	74
Figure V.13 : Variation de TDS en fonction de la période d'analyse.....	75

Figure V.14: Variation de la turbidité en fonction de la période d'analyse.....	77
Figure V.15: Variation de la dureté en fonction de la période d'analyse.....	79
Figure V.16: Variation de la dureté calcique en fonction de la semaine.....	80
Figure V.17 : Variation de la dureté en fonction de la période d'analyse.....	82
Figure V.18 : Variation de la dureté en fonction de la période d'analyse.....	83
Figure V.19 : Variation de TAC en fonction de la période d'analyse.....	85
Figure V.20 : La comparaison de l'eau traitée à la norme.....	86

## **Chapitre VI : Impact environnementale du dessalement**

Figure VI .01: la conduite de saumure vers la mer.....	89
Figure VI.02 : Etat initial du milieu (pas de rejet de saumure).....	93
Figure VI.03:Etat du milieu après implantation de l'usine de dessalement (rejet de saumure).....	94

## **Sommaire :**

<b>INTRODUCTION GENERALE.....</b>	<b>01</b>
-----------------------------------	-----------

### **Chapitre I**

#### **Ressources en eau en Algérie**

<b>I-1 : INTRODUCTION .....</b>	<b>03</b>
<b>I-2 : Disponibilités en eau en Algérie .....</b>	<b>03</b>
<b>I.2.1- Les ressources en eau de surface .....</b>	<b>04</b>
<b>I.2.2- Les ressource en eaux souterraines .....</b>	<b>04</b>
<b>a) Dans le Nord du pays.....</b>	<b>04</b>
<b>b) Dans le Sud du pays .....</b>	<b>05</b>
<b>I.2.3 : Les eaux de mer et les eaux saumâtres .....</b>	<b>05</b>
<b>I-3 : Relation entre ressources et besoins en eau .....</b>	<b>06</b>
<b>I-3-1 : Usages domestiques .....</b>	<b>06</b>
<b>I-3-2-Usages agricoles .....</b>	<b>07</b>
<b>I-3-3-Usages industriels .....</b>	<b>07</b>
<b>I.4 : L'expérience Algérienne en matière de dessalement .....</b>	<b>08</b>
<b>I.4.1- Les stations installées par la Compagnie «SONELGAZ».....</b>	<b>08</b>
<b>I.4.2- Stations installées par la Compagnie «SONATRACH» .....</b>	<b>09</b>
<b>I.4.3- Stations installées par d'autres Compagnies.....</b>	<b>11</b>
<b>I.4.4- Station expérimentale du Centre de Développement des Energies Renouvelables         CDER.....</b>	<b>11</b>
<b>I.5- Conclusion .....</b>	<b>12</b>

## Chapitre II

### Généralités sur le dessalement

<b>II-1 : Introduction .....</b>	<b>13</b>
<b>II-2 : Définition de dessalement .....</b>	<b>13</b>
<b>II-3 : Les eaux de dessalement.....</b>	<b>13</b>
<b>1. Les eaux de mer .....</b>	<b>13</b>
<b>2. Les eaux saumâtres .....</b>	<b>14</b>
<b>II-4 : Histoire du dessalement.....</b>	<b>14</b>
<b>II-5 : Méthodes de dessalements .....</b>	<b>15</b>
<b>II.5.1- Procédés thermique .....</b>	<b>16</b>
<b>II.5.1.1- La distillation .....</b>	<b>16</b>
<b>II-5-1-2 : La congélation.....</b>	<b>19</b>
<b>II-5-2 : Les procédés membranaires .....</b>	<b>20</b>
<b>II-5-2-1 : l'osmose inverse.....</b>	<b>20</b>
<b>II-5-2-2 : L'électrodialyse.....</b>	<b>20</b>
<b>II.5.3 : Les procédés chimiques.....</b>	<b>21</b>
<b>II.5.3-1 : L'échange d'ions.....</b>	<b>21</b>
<b>II.6 : Choix d'un procédé de dessalement.....</b>	<b>23</b>
<b>II.6.1 : Critères économiques.....</b>	<b>23</b>
<b>II.6.2 : Critères techniques.....</b>	<b>23</b>
<b>I.7- Conclusion.....</b>	<b>24</b>

## Chapitre III

### Méthodes utilisées par la station (Osmose Inverse)

III.1- Introduction.....	25
III-2 : Définition de la méthode d'Osmose inverse.....	25
III-3 : Domaines d'utilisation de l'osmose inverse.....	26
III-4 : Description d'une filière de traitement des eaux par osmose inverse.....	26
III-4-1 : Osmose inverse Procédé de choix.....	26
III-4-2 : Mécanisme de transfert de matière .....	27
III-4-3 : Schéma général d'une installation d'osmose inverse.....	27
III.4-4 : Les membranes d'osmose inverse et leurs types.....	28
III-4-4-1 : Membranes organiques.....	29
III.4.4.2 : Membranes minérales ou inorganiques.....	30
III.4.4.3 : Membranes composites.....	30
III.4-5 : Les Modules et leurs types.....	31
III-4-6 : La pompe haute pression.....	33
III.4-7 : Le système de récupération d'énergie.....	34
III.4-8 : Le post traitement.....	35
III-4-9 : Choix des paramètres de fonctionnement.....	35
III-4-10 : Qualité de l'eau traitée par osmose inverse .....	36
III.5 : Les avantages et les inconvénients de l'osmose inverse.....	36
• Les avantages.....	36
• Les inconvénients.....	37
III.12- Conclusion.....	37

## Chapitre IV

### Présentation de la zone d'étude

<b>IV.1- Introduction.....</b>	<b>38</b>
<b>IV.2- Localisation de la station.....</b>	<b>38</b>
<b>IV.3- Capacité de la station et le mode de fonctionnement.....</b>	<b>39</b>
<b>IV-4 : Installation et processus.....</b>	<b>39</b>
<b>IV.5- Description détaillée de l'usine.....</b>	<b>40</b>
<b>IV.5.1- La prise d'eau.....</b>	<b>40</b>
<b>IV.5.1.1- Critères de conception des conduites de prise d'eau.....</b>	<b>40</b>
<b>IV.5.1.2- Conception de la prise d'eau.....</b>	<b>40</b>
<b>IV.5.1.3- Critères de conception Conduite de prise d'eau.....</b>	<b>41</b>
<b>IV.5.1.4- Station de pompage d'eau brute .....</b>	<b>42</b>
<b>IV.5.1.5- Critères de conception des dégrilleurs.....</b>	<b>42</b>
<b>IV.5.2- Le prétraitement d'eau de mer.....</b>	<b>43</b>
<b>IV.5.2.1- La pré-chloration.....</b>	<b>43</b>
<b>IV.5.2.2- Coagulant et polymère.....</b>	<b>43</b>
<b>IV.5.2.3- L'acide sulfurique.....</b>	<b>44</b>
<b>IV.5.2.3- Filtres bicouches gravitaires.....</b>	<b>44</b>
<b>IV.5.2.4- Lavage des filtres.....</b>	<b>46</b>
<b>IV.5.2.5- Filtres à cartouches (microfiltre).....</b>	<b>47</b>
<b>IV.5.2.6- Le métabisulfite de sodium où Bisulfite sodium.....</b>	<b>49</b>
<b>IV.5.3- Le traitement.....</b>	<b>49</b>
<b>IV.5.3.1- Filières d'osmose inverse.....</b>	<b>49</b>

IV.5.3.2- Configuration du système d'osmose inverse et taux de récupération	
IV.5.3.3- Dimensionnement des pompes hautes pression.....	50
IV.5.3.4- Système de récupération d'énergie.....	51
IV.5.3.5- Procédure d'arrêt des filières (rinçage).....	51
IV.5.4- Le post-traitement (la reminéralisation).....	53
IV.5.5- Station de pompage d'eau traitée.....	54
IV.5.6- Laboratoire.....	55
IV.5.7- Salle de contrôle.....	56
<b>IV.6- Conclusion.....</b>	<b>56</b>

## **Chapitre V**

### **Etude des performances de la station de dessalement de Fouka**

<b>V.1- Introduction.....</b>	<b>57</b>
<b>V.2- Diagnostic des ouvrages de la station.....</b>	<b>57</b>
V.2.1- La suppression de la chloration.....	57
V-2-1-1 Le rôle du chlore.....	57
V.2.2.2- Les inconvénients de la suppression de la pré-chloration.....	57
V.2.2- La suppression d'un bassin de coagulation-floculation.....	58
V.2.2.1- Le rôle d'un bassin de coagulation-floculation.....	58
V.2.2.2- Les inconvénients de la suppression d'un bassin de coagulation- Floculation.....	59
V.2.3- La suppression d'ouvrage de décantation.....	59
V.2.3.1- Le Principe de la décantation.....	59

V.2.3.2- Les inconvénients de la suppression du décanteur.....	59
V.2.3- Les problèmes rencontrés dans la station.....	60
V.2.3.1- La corrosion.....	60
V.2.3.2- Le colmatage des membranes d'osmose inverse.....	61
V.2.3.2.1- L'entartrage.....	61
V.2.3.2.2- Le colmatage abiotique et microbiologique.....	62
V.2.3.3- Problèmes dans le système de fabrication de CO <sub>2</sub> .....	63
V.2.3.4- Problème du système d'eau de service.....	64
V.2.3.5- Problèmes des rejets de la station.....	65
<b>V.3- Etude de performance de la station de dessalement d'eau de mer de Fouka.....</b>	<b>65</b>
V.3.1- Définition et principe de mesure des paramètres de qualité.....	65
<b>V- 4 : Résultat des analyses physico-chimiques et leur discussion.....</b>	<b>71</b>
V. 3.1. Température.....	71
V.3. 2. Le PH.....	72
V.3. 3. La conductivité et la TDS .....	74
V.3.4. La turbidité .....	77
V.3.5. Le SDI <sub>5</sub> et SDI <sub>15</sub> .....	78
V.3.6. La dureté calcique Ca <sup>2+</sup> .....	80
V.3.7. Le titre hydrométrique (TH).....	81
V.3. 8. Les chlorures .....	83
V.3.9. TAC .....	84

<b>V.4. Conclusion.....</b>	<b>87</b>
-----------------------------	-----------

## **Chapitre VI**

### **Impact environnementale du dessalement**

<b>VI-1 : INTRODUCTION.....</b>	<b>88</b>
<b>VI.2- Origine et type des rejets.....</b>	<b>88</b>
VI.2.1- Rejets atmosphériques .....	88
VI.2.2- Les rejets chimiques .....	88
VI.2.3- La saumure concentrée.....	89
<b>VI.3 : IMPACTS DES REJETS DE DESSALEMENT.....</b>	<b>89</b>
VI-3-1 : Effets dus aux produits de la corrosion .....	90
VI-3-2 : Effets dus aux additifs antitartres .....	90
VI-3-3 : Effets des additifs antisalissure .....	91
VI-3-4 : Effets des additifs antimousses .....	91
VI-3-5 : Impact de bruit.....	91
VI-3-6 : La consommation énergétique par rapport aux autres alternatives de ressources en eau potable.....	91
VI-3-7 : Effets dus au prélèvement d'eau de mer.....	91
VI-3-9 : Impacts des rejets de saumures sur l'écosystème marin.....	92
VI-3-8 : Effets potentiels des rejets de saumures concentrées .....	92
<b>VI-4 : ELIMINATION DE LA SAUMURE.....</b>	<b>94</b>
<b>VI-5 : TECHNIQUES POUR MINIMISER LES IMPACTS DU DESSALEMENT SUR L'ENVIRONNEMENT .....</b>	<b>95</b>
<b>VI.6- Conclusion.....</b>	<b>96</b>

## **INTRODUCTION GENERALE :**

Une eau pure est une eau de haute qualité garantissant une bonne santé. La qualité de l'eau doit impérativement être conformée aux normes de potabilité au niveau bactériologique et physiologiques.

L'eau est indispensable à tous les êtres vivants, il est possible de jeuner sans danger considérables, mais on ne peut être privé d'eau plus de 48 heures sans risque. Plus, les besoins industriels et agricoles de l'eau qui sont très importants.

L'Algérie a vécu plus d'une décennie de sécheresse, les ressources conventionnelles en eau étaient insuffisantes pour subvenir aux besoins de la population, ce qui a incité les autorités algériennes à chercher d'autres ressources pour garantir l'alimentation en eau potable de cette population. La solution la plus adaptée et qui ne dépend pas des aléas climatiques, était le dessalement d'eau de mer.

L'expérience algérienne en matière de dessalement des eaux est étroitement liée au développement de l'industrie et sidérurgique. Le recours au dessalement en vue d'un usage destiné exclusivement à l'alimentation de la population en eau potable est quasi-inexistant.

L'apport en eau par des moyens non conventionnels a été pendant ces dernières années par le développement de nouvelles techniques de dessalement des eaux de mer basées sur les procédés thermiques ou les procédés non thermiques ou membranaires et sont devenues un enjeu économique pour pallier au problème de la disponibilité des ressources en eau et le stress hydrique, comme en Algérie. On citera notamment la distillation, l'osmose inverse, la congélation et l'électrodialyse. Cependant, les deux technologies utilisées actuellement, à l'échelle industrielle, sont celles basées sur la distillation et l'osmose inverse.

Le procédé de traitement des eaux par membrane d'osmose inverse est une des techniques de filtration membranaire. Il est utilisé en dessalement des eaux saumâtres, des eaux de mer et également pour la réutilisation des eaux usées urbaines et industrielles. L'objectif principal de cette technologie est l'élimination des sels et des substances organiques présentes dans les eaux ainsi qu'une partie des bactéries et des virus. En

## Introduction générale

---

dessalement des eaux de mer, l'osmose inverse reste en compétition avec les procédés thermiques (multi flash ou multi effet). Le choix entre ces deux technologies dépend essentiellement des coûts énergétiques (électricité et vapeur), de la qualité de l'eau brute à traiter ou de l'eau dessalée à obtenir.

Face aux aléas climatiques observés ces dernières années, et pour répondre aux besoins de la population qui atteindra 50 millions dans les vingt prochaines années, le gouvernement algérien a mis en place à court et moyen terme une véritable industrie de dessalement des eaux de mer et de déminéralisation des eaux saumâtres, comme moyen de mobilisation d'eau complémentaire, pour faire face aux différents plans de développement : AEP, industrie et agriculture.

À travers ce travail nous allons étudier la performance de la station de dessalement des eaux de mer par osmose inverse de FOUKA (Wilaya de Tipaza) ainsi l'impact de la station sur l'environnement, et proposer par la suite des solutions adéquates aux problèmes rencontrés.



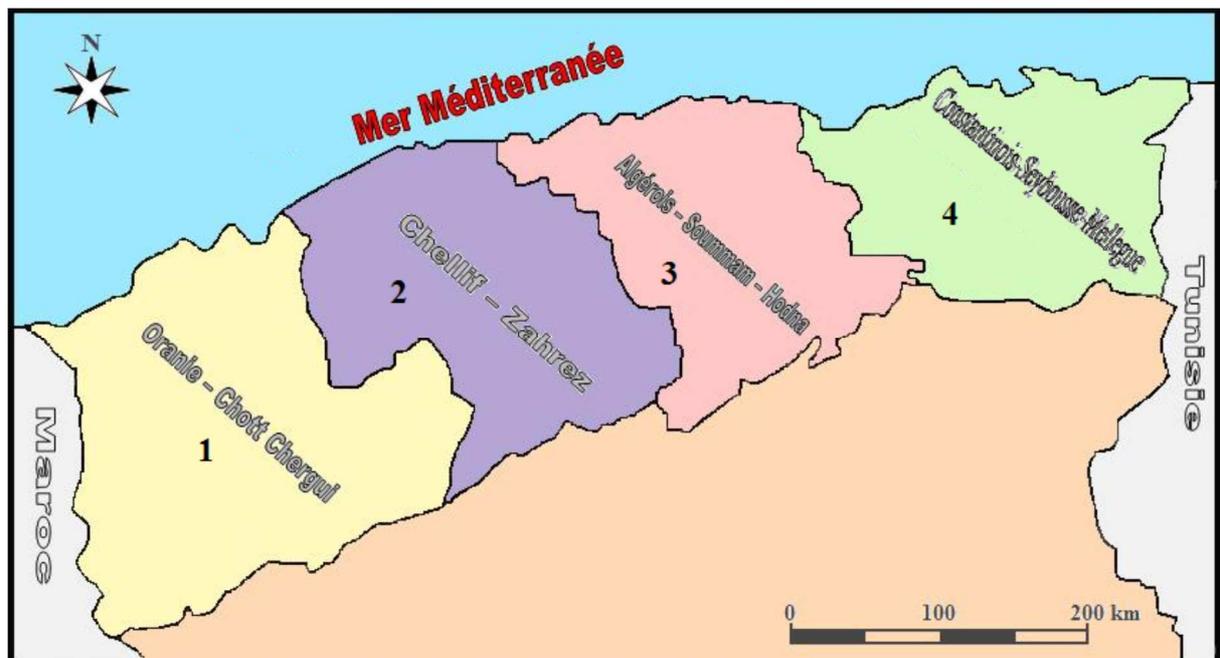
# Chapitre I

## Ressources en eau en Algérie



**I-1 : INTRODUCTION :**

Le pays est divisé en 5 bassins hydrographiques (figure I.01) regroupant les 17 bassins versant. Les ressources en eau ne sont pas réparties équitablement, que ce soit au niveau de leur répartition géographique, de leur quantité ou de leur nature (eaux de surface ou souterraine) (29).



**Figure I.01 : Les bassins hydrographiques de l'Algérie du Nord (29)**

La pluviométrie est le paramètre le plus important dans l'évaluation des ressources en eau, Elle varie de plus de 2000 mm/an sur les hauts reliefs en bordure de la mer méditerranéenne, à moins de 100 mm/an au nord du Sahara. Les moyennes annuelles des précipitations suivent une zonalité générale Nord-Sud, qui définit les zones climatiques. Cependant, on note des également écarts notables entre l'Est et l'Ouest du pays.

**I-2 : Disponibilités en eau en Algérie :**

L'Algérie comptera en 2014, à la fin du programme quinquennal 2010-2014 environ 80 barrages avec une capacité globale de stockage de 9 milliards de mètres cubes .Toute porte à croire qu'avec une telle capacité, l'équation de l'eau potable sera définitivement résolue en Algérie.

Le nombre de barrages a connu ces dix dernières années une augmentation de plus de 50%. Concrètement, en 1999, l'Algérie comptait 44 barrages en exploitation avec une capacité globale de remplissage estimée à 3,3 milliards de mètres cubes. Aujourd'hui, il existe 65

barrages en exploitation sur tout le territoire national avec une capacité de remplissage de 7,5 milliards de mètres cubes. [4]

### I.2.1- Les ressources en eau de surface :

Les écoulements de surface avaient été estimés pendant la période coloniale à 15 milliards de m<sup>3</sup> pour les bassins tributaires de la Méditerranée (123000 km<sup>2</sup>), c'est-à-dire sans tenir compte des bassins qui dépendent des chotts. Dans les dernières études menées dans le cadre du Plan National de l'eau par l'Agence Nationale des Ressources Hydriques (ANRH) et de la Direction des Grands Aménagements Hydrauliques (DGAIH) et qui intègrent des années de sécheresse, les ressources en eau de surface sont évaluées à 12.4 milliards de m<sup>3</sup> répartis par bassin hydrographique selon le tableau suivant :

**Tableau I.01: Répartition des eaux de surface en Algérie. [2]**

Bassin	Oranaise	Chelif	Algérois	Constantinois	Sud	Total
Hydraulique	Chatt	Zahrez	Soummam	Seybouse		
	Chargui		Hodna	Méllegue		
Ressources pot (hm <sup>3</sup> /an)	1025	1840	4380	4500	600	12.34
Pourcentage (%)	8.7	15.7	37.3	38.3	0.48	100

En 2014 Le secteur des ressources en eau en Algérie dispose de 84 barrages avec une capacité de stockage de 8,9 milliards de mètres cubes. Pour l'heure, l'Algérie dispose de 70 barrages de grande et moyenne envergure, avec une capacité de 7 milliards de mètres cubes [2].

### I.2.2- Les ressource en eaux souterraines :

#### a) Dans le Nord du pays :

Les eaux souterraines ont été évaluées par les services techniques de l'ANRH et la DGAIH dans le cadre du Plan nationale de l'eau à environ 1,9 milliard de m<sup>3</sup>. Ces ressources qui sont relativement plus faciles à mobiliser, sont aujourd'hui exploitées à plus de 90%; beaucoup de nappes sont même dans un état de surexploitation critique. Actuellement, on

estime à plus de 12.000 forages, 9.000 sources et 100.000 puits qui sollicitent les nappes pour les besoins de l'agriculture et l'alimentation en eau potable et industrielle. [2]

La répartition par région hydrographique des eaux souterraines du Nord se présente comme suit:

**Tableau I.02: Répartition spatiale des eaux souterraines du Nord du pays. [2]**

Bassin	Oranise	Chelif	Algérois	Constantinois	Total
Hydraulique	Chatt Chargui	Zahrez	Soummam Hodna	Seybouse Méllegue	
Ressources pot (hm <sup>3</sup> /an)	375	231	745	543	1894
Pourcentage (%)	19.7	12.2	39.2	28.9	100

#### **b) Dans le Sud du pays :**

Le sud algérien correspond à une zone désertique d'environ 2.156.000 km<sup>2</sup>, soit 85% du territoire global du pays, avec une population qui dépasse les trois (03) millions d'habitants. Les précipitations sont rares dans cette région où les pluies torrentielles provoquent des crues violentes et dévastatrices. Le charriage est considérable et l'érosion des berges participe au transport solide dans les cours d'eau avec un débit appréciable.

Ainsi, au niveau de ce grand espace, l'essentiel des ressources en eau est localisé dans deux grands systèmes aquifères : la nappe du Continental Intercalaire (ou Albienne), qui est un grand réservoir d'eau fossile s'étendant sur tout le Sahara septentrional, et la nappe du Complexe Terminal, qui est un aquifère peu profond. [2]

#### **I.2.3 : Les eaux de mer et les eaux saumâtres :**

La caractéristique la plus importante des eaux de mer est leur salinité, c'est-à-dire leur teneur globale en sels (chlorures de sodium et de magnésium, sulfates, carbonates). La salinité peut être très différente dans le cas des mers fermées ou peu ouvertes sur les masses océaniques. (26)

On appelle eau saumâtre une eau saline non potable de salinité inférieure à celle de l'eau de mer. En fin la plupart des eaux saumâtres ont une salinité comprise entre 1 et 10 g de

sels par litre. Elles se présentent soit, sous forme d'eaux de surface, soit sous forme mais d'eaux souterraines qui se sont chargées en sels en dissolvant certains sels présents dans les sols qu'elles ont traversés. (26)

A la suite d'une sécheresse chronique vécue par l'Algérie depuis plus de deux décennies et la demande en eau croissante, les pouvoirs publics ont décidé de s'orienter vers une politique de mobilisation des ressources en eau non conventionnelles, à savoir le dessalement d'eau de mer, des eaux saumâtres et le recyclage des eaux usées afin de pouvoir compenser le déficit en eau enregistré.

Avec un littoral de 1200 Km, la ressource est pratiquement inépuisable ; La population ainsi que les industries grandes consommatrices d'eau se trouvent à proximité de la mer, ce qui réduit davantage les prix de revient du m<sup>3</sup> d'eau dessalée; Le domaine de dessalement de l'eau de mer a connu ces dernières années une avancée technologique remarquable grâce au développement des différents procédés; La disponibilité de la ressource énergétique ou la combinaison de sa production; Le coût du m<sup>3</sup> d'eau dessalée est en nette régression alors que le coût du m<sup>3</sup> d'eau conventionnelle est en nette progression.

Ce sont les avantages qui ont rendu le recours à la ressource non conventionnelle de plus en plus favorable. (13)

### **I-3 : Relation entre ressources et besoins en eau :**

On peut aussi avoir des inégalités au niveau d'un pays, en Algérie, par exemple, 75% des ressources renouvelables sont concentrées sur 6% du territoire ; Les besoins en eau sont très variables suivant les pays. Il y a les pays en voie de développement peu industrialisés, la consommation n'excède pas 40 l /jour /habitant, tous usages compris. Mais, il y a des états industrialisés où la consommation journalière atteint plusieurs milliers de litres par personne en additionnant les besoins domestiques, industriels et agricoles.

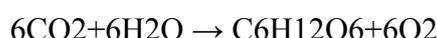
#### **I-3-1 : Usages domestiques :**

Les usages domestiques concernent les diverses activités de lavage, d'évacuation des déchets, d'hygiène personnelle, d'arrosage des jardins a travers le monde, la consommation journalière pour les besoins domestiques est très variable suivant les pays. Elle est de 600 l aux Etats-Unis, 250 à 300 l en Europe, 30 l en Afrique (5 l à Madagascar). D'une manière générale, la consommation d'eau potable par habitant est en augmentation dans la plupart des

pays, à l'exception notoire de l'Égypte où la rareté physique de l'eau est déjà un problème préoccupant.

### I-3-2-Usages agricoles :

A l'échelle de la planète, les usages agricoles représentent près des trois quarts des consommations d'eau. L'eau constitue en effet un facteur limitant de la production végétale, elle est présente en abondance dans les tissus végétaux (jusqu'à 95% de leur poids). Elle maintient leur turgescence et assure le transport et les échanges de matières dissoutes à l'intérieur des plantes. L'eau est également partiellement métabolisée puisqu'elle est, avec le gaz carbonique, l'une des matières premières des réactions de photosynthèse :



Enfin, les plantes transpirent c'est-à-dire qu'elles cèdent à l'atmosphère de l'eau sous forme de vapeur : c'est l'évapotranspiration qui est d'autant plus importante que le pouvoir évaporant de l'atmosphère sera plus élevé, On admet que la fabrication d'un kg de matière sèche végétale nécessite environ entre 300 l d'eau en climat humide et 1000 l en climat semi-aride. [5].

### I-3-3-Usages industriels :

Dans l'industrie, l'eau est employée comme solvant, comme diluant ou comme vecteur de dispersion des polluants les plus divers. Les industries de transformation sont de grosses consommatrices d'eau, comme le montre le tableau suivant :

**Tableau I-03 : consommation d'eau dans les industries de transformation (01).**

Industrie	Eau nécessaire
Raffinage d'1 t de pétrole	10t d'eau
Distillation d'1 t d'alcool	100t d'eau
Fabrication d'1 t de pâte papier	250t d'eau
Fabrication d'1 t d'acier	270t d'eau
Fabrication d'1 t de fibres synthétiques	5000t d'eau

#### **I.4 : L'expérience Algérienne en matière de dessalement :**

L'Algérie a déployé des efforts importants pour améliorer ses ressources hydriques et la disponibilité de l'eau, depuis son indépendance. Autant pour son l'industrie, l'agriculture que pour l'alimentation en eau potable des zones urbaines et rurales du pays. Les efforts de la jeune Algérie souveraine ont rapidement focalisé sur la rénovation du réseau de distribution existant, le drainage des eaux de pluie vers les barrages et l'exploitation des nappes phréatiques à un moment où l'option du dessalement n'est encore qu'à ses premiers balbutiements. Dès les premières années de l'indépendance, l'expérience de l'Algérie en matière de dessalement se limite à la réalisation d'unités de déminéralisation des eaux souterraines à très fort taux de salinité, pour des besoins liés à l'industrie pétrolière et la sidérurgie seulement.

Selon une étude du centre de développement des énergies renouvelables, en 1964, trois petites unités de 8m<sup>3</sup>/j chacune ont été installées dans le complexe de gaz liquéfié d'Arzew, suivies en 1969 d'une unité monobloc de 4560 m<sup>3</sup>/j. **(14)**

Les premières installations destinées à fournir de l'eau potable pour la consommation humaine ont été réalisées pour la première fois dans les bases pétrolières du grand sud.

D'autres installations ont été mises en exploitation pour les besoins en eau de haute pureté, employée dans des complexes de production d'électricité (Cap Djinet à l'est d'Alger) et l'industrie de liquéfaction (Arzew et Skikda).

En 1980, a été inaugurée l'unité de dessalement de Mostaganem par osmose inverse d'une capacité de 57600 m<sup>3</sup>/j, classée alors comme la plus importante au monde.

##### **I.4.1- Les stations installées par la Compagnie «SONELGAZ»:**

Pour des besoins de production d'énergie électrique et compte tenu de l'insuffisance et de la qualité des eaux distribuées dans les réseaux d'AEP, SONELGAZ a doté chacune de ces nouvelles centrales à vapeur, d'unité de dessalement d'eau de mer pour produire de l'eau nécessaire à l'appoint des chaudières (Tableau I.05).

**Tableau I.05 : Stations exploitées par SONELGAZ. [1]**

Centrale	Capacité (m <sup>3</sup> /j)	Technique	Année d'installation
Mers el Hadjadj	1500	Thermo compression	1977
Mers el Hadjadj	2000	MSF	1991
Mers el Hadjadj	500	Thermo compression	1989
Cap Djinet	2000	MSF	1985
Djijel	2000	MSF	1992
Djijel	500	Osmose inverse	1992

**I.4.2- Stations installées par la Compagnie «SONATRACH» :**

La plus grande expérience dans le domaine du dessalement, ainsi que le plus grand nombre de stations installées revient à la Compagnie «SONATRACH», 31 centrales ont été construites pendant 18 ans : de 1964 à 1982. C'est l'équivalent de 107.401 m<sup>3</sup>/j produits par les différentes techniques et dont la qualité de l'eau d'alimentation a été très diversifiée (eau de mer, eau chargée de barrage, eau saumâtre souterraine comme illustre le tableau I.06.

Tableau I.06: Stations exploitées par SONATRACH. [1]

Centrale	Capacité (m <sup>3</sup> /j)	Technique	Mise en service
Arzew	576	Multi effets	1964
Arzew	4560	MSF	1969
Skikda	1440	MSF	1971
Skikda	720	MSF	1971
Skikda	1440	Echangeurs d'ions	1971
Annaba	960	Electrodialyse	1971
Annaba	3600	Electrodialyse	1973
Ghazaouat	840	MSF (5 étages)	1974
Arzew	3888	Echangeurs d'ions	1975
Arzew	960	Echangeurs d'ions	1975
Hassi Messaoud	1000	Osmose d'inverse	1975
Hassi Messaoud	110	Echangeurs d'ions	1976
Gassi Touil	55	Osmose d'inverse	1977
Arzew	350	MSF (6 étages)	1978
Annaba	14180	Osmose d'inverse	1978
Hassi Messaoud	350	Electrodialyse	1978
Bel Abbes	1500	Echangeurs d'ions	1978
Haoud Berkaoui	55	Echangeurs d'ions	1979
Hassi Messaoud	300	Electrodialyse	1979
Rhourd El Baguel	25	Electrodialyse	1979

Arzew	960	MSF (5 étages)	1979
Annaba	144	Echangeurs d'ions	1979
Annaba	576	Echangeurs d'ions	1979
Bassi-Rmel	792	Osmose d'inverse	1979
Annaba	6240	Echangeurs d'ions	1980
Ghardaia	960	Osmose d'inverse	1980
Arzew	960	MSF (6 étages)	1980
Mostaganem	57600	Osmose d'inverse	1980
Rhourd El Baguel	300	Electrodialyse	1981
Annaba	1800	Echangeurs d'ions	1981
Reghaia	160	Echangeurs d'ions	1982

#### I.4.3- Stations installées par d'autres Compagnies:

Des petites stations sont aussi construites pour répondre aux besoins de certaines industries :

- La compagnie Tongo (Rouïba): procédé par échange d'ions, avec une capacité de 1500m<sup>3</sup>/j.
- La brasserie Bovaroise (Annaba): procédé par Osmose Inverse, avec une capacité de 3500 m<sup>3</sup>/j. [1]

#### I.4.4- Station expérimentale du Centre de Développement des Energies Renouvelables CDER :

C'est la Station expérimentale de Hassi- khebbi (1975), d'une capacité de 20,4 m<sup>3</sup>/j dont le procédé est l'osmose inverse, et fonctionnant à l'énergie solaire. Cette station est destinée au dessalement des eaux saumâtres souterraines pour l'alimentation en eau potable la localité de Hassi Khebbi comptant 800 Habitants. (14)

**I.5- Conclusion :**

Dans ce chapitre on constate qu'il y a vraiment un manque d'eau en Algérie qui n'est pas dû seulement aux facteurs climatologiques mais aussi aux facteurs humains, car la mauvaise gestion du potentiel hydrique en Algérie aggrave la situation. Pour cela il faut des solutions radicales qui résistent à la multitude des facteurs réduisant notre autosuffisance en eau.

Face à ce problème majeur de raréfaction des ressources en eau, le dessalement constitue une option stratégique pour notre pays. Dans cette optique le gouvernement algérien a lancé, à partir de 2001, une véritable industrie du dessalement des eaux de mer et des eaux saumâtres, qui illustre les efforts du gouvernement Algérien dans le programme du développement durable.



# Chapitre II

## Généralités sur le dessalement



**II-1 : Introduction :**

La nécessité de dessaler l'eau de mer se fait de plus en plus pressante dans de nombreuses parties du monde. En Méditerranée, les besoins en eau présents et futurs accusent une croissance effective.

L'Algérie a vécu plus d'une décennie la sécheresse, les ressources conventionnelles en eau étaient insuffisantes pour subvenir aux besoins de la population, ceux qui a incité les autorités algériennes à chercher d'autres ressources pour garantir l'alimentation en eau potable de cette population. La solution la plus adaptée et qui ne dépend pas des aléas climatiques, était le dessalement d'eau de mer. Aux 13 usines de productions déjà opérationnelles, le pays souhaite en rajouter 43 autres d'ici 2019 et doubler les capacités journalières actuelles qui s'élèvent à 1,04 million de m<sup>3</sup> pour répondre aux besoins domestiques nationaux. (14)

**II-2 : Définition de dessalement :**

Le **dessalement** de l'eau (également appelé **dessalage** ou **désalinisation**) est un processus qui permet d'obtenir de l'eau douce (potable ou, plus rarement en raison du coût, utilisable pour l'irrigation) à partir d'une eau saumâtre ou salée (eau de mer notamment). En dépit du nom, il s'agit rarement de retirer les sels de l'eau, mais plutôt, à l'inverse, d'extraire de l'eau douce, il est plus simple et plus économique de rechercher des sources d'eau douce à traiter (eaux de surface, telles que lac et rivière, ou eau souterraine), que de dessaler l'eau de mer [2].

**1. Les eaux de mer :**

La caractéristique la plus importante des eaux de mer est leur salinité, c'est-à-dire leur teneur globale en sels (chlorures de sodium et de magnésium, sulfates, carbonates).

La salinité des mers ouvertes sur les masses océaniques (Atlantique, Manche, Mer du Nord, pacifique) est de l'ordre est de 35 g.L<sup>-1</sup>, cette valeur est considérée comme la 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.

La salinité peut être très différente dans le cas des mers fermées ou peu ouvertes sur les masses océanique (voir le tableau II.01). (02)

**Tableau II.01 : La salinité de l'eau de mer et d'océan. (02)**

Mer ou océan	Salinité (mg/l)
<b>Mer Baltique</b>	7000
<b>Mer Caspienne</b>	13500
<b>Mer Noir</b>	20000
<b>Mer Adriatique</b>	25000
<b>Océan Pacifique</b>	33600
<b>Océan Atlantique</b>	33800
<b>Mer Méditerranée</b>	39000
<b>Golfe Arabique</b>	43000
<b>Mer Rouge</b>	43000
<b>Mer Morte</b>	270000

## 2. Les eaux saumâtres :

On appelle eau saumâtre une eau saline non potable de salinité inférieure à celle de l'eau de mer. En fin la plupart des eaux saumâtres ont une salinité comprise entre 1 et 10 g de sels par litre. Elles se présentent soit, sous forme d'eaux de surface, soit sous forme mais d'eaux souterraines qui se sont chargées en sels en dissolvant certains sels présents dans les sols qu'elles ont traversés. Leur composition dépend donc de la nature des sols traversés et de la vitesse de circulation dans ces sols. Les principaux sels dissous sont le  $\text{CaCO}_3$ , le  $\text{CaSO}_4$ , le  $\text{MgCO}_3$  et le  $\text{Na Cl}$ . (02)

## II-4 : Histoire du dessalement :

Depuis des temps anciens on avait constaté qu'en portant à ébullition de l'eau saline on obtenait, par condensation de la vapeur, de l'eau douce.

La première application industrielle de l'évaporation-condensation a été faite à bord des navires à vapeur vers 1880. Bien que ce soit en 1920 que la première usine de dessalement par voie thermique fut installée à terre (Jeddah – Arabie Saoudite), ce n'est qu'à partir de 1960 que des usines de grande capacité voient le jour, principalement au Moyen-Orient.

Les usines de dessalement d'eau de mer utilisant le principe de l'osmose inverse apparaissent à la fin des années 1970. Elles sont tout d'abord adaptées aux faibles capacités de production, pour devenir petit à petit compétitives par rapport à la distillation, et ceci même pour les grandes capacités, du fait principalement de la diminution du prix des membranes et de leurs besoins en énergie électrique .

Actuellement, est d'après l'inventaire mondial de l'association internationale de dessalement (IDA), il existe plus de 15000 unités de dessalement dans le monde produisant environ 56 millions de m<sup>3</sup>/j, dans 120 pays.

Les pays de moyen orient, est principalement ceux du Golf-Persique, atteignent 12 millions de m<sup>3</sup>/j : l'Arabie Saoudite dispose de 23.6% du totale elle est suivie par les Etats Unis avec 16.16%, les émirats arabes Unis avec 16.3% et le Koweït 6.4%.

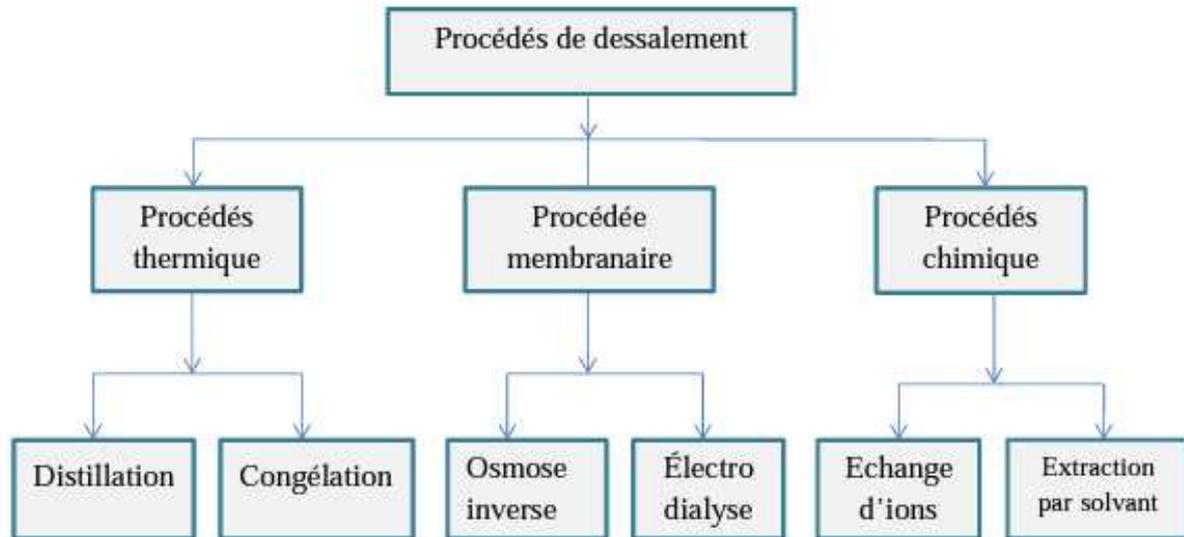
**Tableau. II.2: Répartition de la production de l'eau dessalée (l'eau de mer) (32).**

	Eau dessalé en (Mm <sup>3</sup> /jour)	Pourcentage (%)
Moyen-Orient	21	50
Amérique de nord	7.56	18
Asie	5.46	13
Europe	5.46	13
Afrique	2.52	6
Total	42	100

### II-5 : Méthodes de dessalements :

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

- Les procédés thermiques ;
- Les procédés membranaires ;
- Les procédés chimiques.



**Figure II.01: Les différents procédés de dessalement.**

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.

- **Distillation à simple effet :**

C'est le premier procédé qui a été employé depuis longtemps sur les navires, où les moteurs Diesel émettent une quantité significative de chaleur récupérable. Son principe est simple : il reproduit le cycle naturel de l'eau. Dans une enceinte fermée, un serpentin de réchauffage porte à ébullition l'eau de mer. La vapeur produite se condense au contact d'un deuxième serpentin alimenté par 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 la saumure.

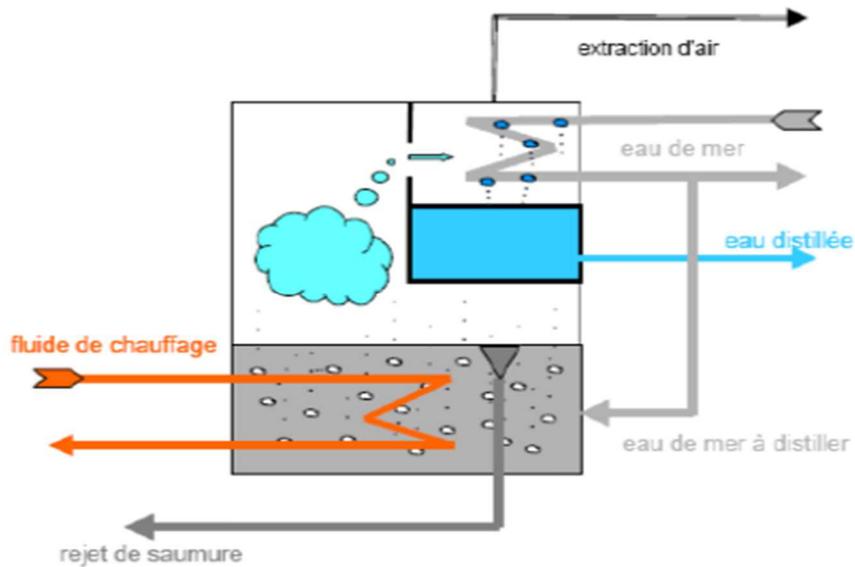


Figure II .2: Principe de distillation à simple effet (16)

- **Distillation à effets multiples (Multi Effet Distillation : MED) :**

La distillation à multiples effets se base sur la recherche d'une récupération aussi poussée que possible de la chaleur libérée par la condensation et par une évaporation sous pression réduite.

La distillation à multiples effets c'est une installation constituée par la juxtaposition de  $n$  cellules fonctionnant selon le principe de l'effet simple (Figure II.02). Le fluide de réchauffage porte à l'ébullition l'eau de mer admise dans la première cellule, qui est aussi la cellule où règne la température la plus haute. La vapeur émise par l'ébullition de l'eau de mer est transférée dans la cellule voisine, où on maintient une pression légèrement inférieure. La température d'ébullition diminuant avec la pression, on vaporise l'eau de mer présente dans la deuxième cellule. C'est le deuxième effet. On peut évidemment répéter l'opération plusieurs fois, la limite basse étant donnée par la température de l'eau de mer froide (Figure II.03).

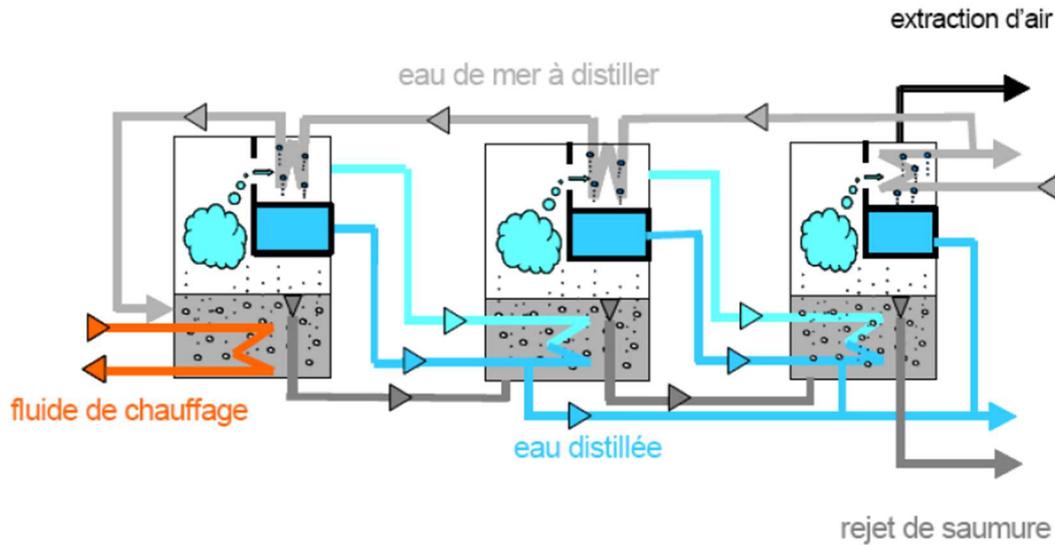


Figure II .3: Distillation à multiples effets (16)

➤ **Distillation par longs tubes verticaux :**

L'eau de mer admise en A bout en descendant par les tubes B et la vapeur sert de source de chaleur pour l'étage suivant. Seul le premier est alimenté en vapeur spécialement produite. La vapeur en C se condense sur les tubes et l'eau douce est collectée en D. Comme la montre la figure ci-après.

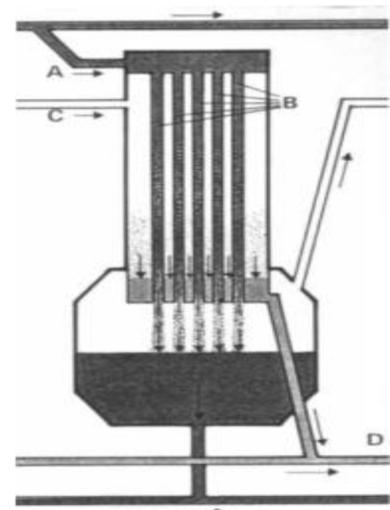


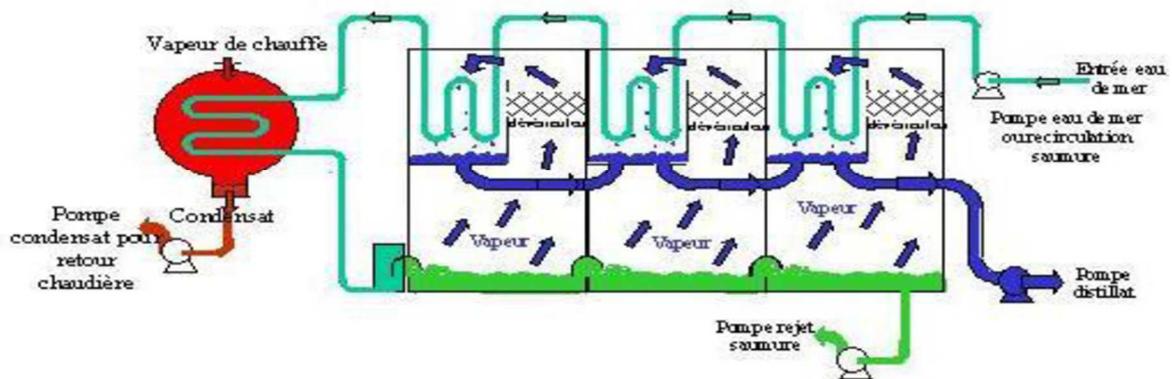
Figure II.04 : Distillation par longs tubes verticaux (03)

➤ **Distillation par longs tubes horizontaux :**

Appelés aussi HTME dans la littérature anglo-saxonne (Horizontal Tube multiple Effet) dont le développement industriel date seulement d'une vingtaine d'années, constitués essentiellement de faisceaux tubulaires horizontaux chauffés intérieurement par de la vapeur et arrosés extérieurement par l'eau de mer.

- **Distillation par détente successives ou multi flash (MSF):**

Le procédé Flash est relativement ancien, la première unité est installée en 1928 en URSS mais a reconnu un essor notamment dans les pays du Golfe à partir des années 1960 par l'installation d'une unité de 4500 m<sup>3</sup> au Koweït en 1957. Ce procédé était développé à la suite des difficultés rencontrées dans la distillation à multiples effets par l'entartrage des surfaces d'échange d'ions. Il consiste à maintenir l'eau sous pression pendant toute la durée de chauffage, elle est introduite dans une enceinte où règne une pression réduite, il en résulte une vaporisation instantanée par détente appelée Flash, cette vapeur va se condenser, le phénomène se reproduit ensuite dans un deuxième étage où règne une pression plus faible ; la vaporisation de l'eau est réalisée par détente successives de températures excessives jusqu'à  $T_{\max}$  et de pressions de plus en plus réduites. On peut trouver jusqu'à 40 étages successifs dans une unité MSF industrielle.



**Figure II .5: Principe de fonctionnement d'un système par détente successives (MSF) (33)**

### II-5-1-2 : La congélation :

La congélation de l'eau de mer fournit des cristaux de glace exempte de sel, le dessalement par congélation nécessite trois étapes :

- ✓ Congélation partielle de l'eau de mer ;
- ✓ Séparation des cristaux de glace pure avec la saumure ;
- ✓ Fusion des cristaux de glace.

Lorsqu'on refroidit une eau de mer jusqu'à environ (-2°C), il y a une formation de cristaux de glace qui sont constitués d'eau douce. L'eau de mer étant alors plus concentrée, elle résiste mieux à la congélation, si on fait baisser l'avantage la température, la production de glace

augmente, aux environs de la température ( $-9^{\circ}\text{C}$ ), de surface de sodium déca-hydraté à tendance à participer pour produite de l'eau au-dessous de cette température. (21)

## II-5-2 : Les procédés membranaires :

### II-5-2-1 : l'osmose inverse :

Ce procédé fait l'objet de notre étude, OI est un procédé de séparation des sels dissous, la matière organique, les virus et bactéries de l'eau au moyen de membranes semi-perméables sous l'action de la pression (54 à 80 bar pour le traitement de l'eau de mer).

### II-5-2-2 : L'électrodialyse :

L'électrodialyse consiste à transférer des ions de sels dissous à travers des membranes qui ne laisse pas passer l'eau épurée, le mouvement des ions est provoqué par un champ électrique, l'électrode négative (cathode) attire les cations, tandis que les anions se déplacent vers l'électrode positive (anode) (figure II .6).

Les installations sont formées d'empilements compartimentés de membranes alternativement anionique et cationique, un compartiment sur deux renferme des saumures concentrées et un sur deux du permet épuré.

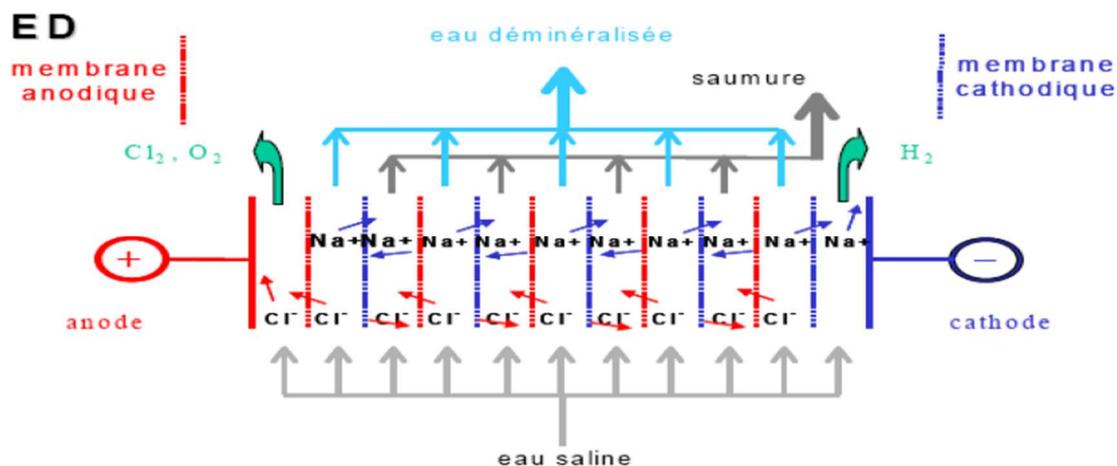


Figure II .6: Principe de dessalement par l'électrodialyse (12)

- Les membranes d'électrodialyse :

Les membranes utilisées en électrodialyse sont des membranes échangeuses d'ions qui se présentent sous la forme de feuilles dont l'épaisseur est comprise entre 0.1 et 0.8mm. Du point de vue propriétés on distingue deux types de membranes :

- Les membranes échangeuse de cations qui sont perméables uniquement aux cations et dont le groupement fonctionnel est en général un groupement acide sulfonique (SO<sub>3</sub><sup>-</sup>).
- Les membranes échangeuse d'anions qui sont perméables uniquement aux anions et dont le groupement fonctionnel est en général un groupement ammonium quaternaire (NR<sub>3</sub><sup>+</sup>). (21)

### II.5.3 : Les procédés chimiques :

#### II.5.3-1 : L'échange d'ions :

L'échange d'ions est un procédé dans lequel les ions d'une certaine charge contenus dans une solution (par exemple des cations) sont éliminés de cette solution par adsorption sur un matériau solide (l'échangeur d'ions), pour être remplacés par une quantité équivalente d'autres ions de même charge émis par le solide. Les ions de charge opposée ne sont pas affectés.

Si on remplace tous les cations dissous dans l'eau par des ions H<sup>+</sup> et tous les anions par des ions OH<sup>-</sup>, ceux-ci vont se recombinaison pour former de nouvelles molécules d'eau. Pour y parvenir, il faut avoir une résine échangeuse de cations sous la forme H et une résine échangeuse d'anions sous la forme OH. Tous les cations et anions de l'eau seront échangés, et le résultat net est une "disparition" complète des contaminants ionisés. La réaction d'échange de cations sera :



Dans ces équations, R' représente la résine échangeuse de cations. L'échange est illustré dans la figure II.07. La résine est initialement sous forme hydrogène (H<sup>+</sup>).

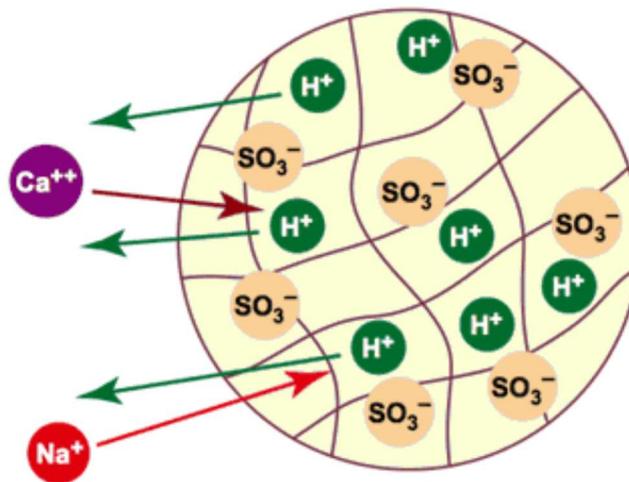


Figure II.07 : Remplacement des cations par  $H^+$ . (04)

De la même façon, une résine échangeuse d'anions sous forme  $OH^-$  peut éliminer tous les anions :



Où  $R''$  représente la résine échangeuse d'anions. Tous les anions sont remplacés par des ions hydroxyde ( $OH^-$ ). À la fin du processus d'échange, les billes de résine ont fixé tous les cations et anions présents dans l'eau et les ont remplacés par des ions  $H^+$  et  $OH^-$  ions. Les résines sont presque entièrement saturées (figure II.08).

Ces ions  $H^+$  et  $OH^-$  se recombinent instantanément pour créer de nouvelles molécules d'eau :



Les contaminants ionisés ont été fixés sur les deux résines (Na, Ca et Mg sur l'échangeur de cations, Cl,  $SO_4$  et  $HCO_3$  sur l'échangeur d'anions) et l'eau a été complètement déminéralisée et sa salinité est réduite à presque rien.

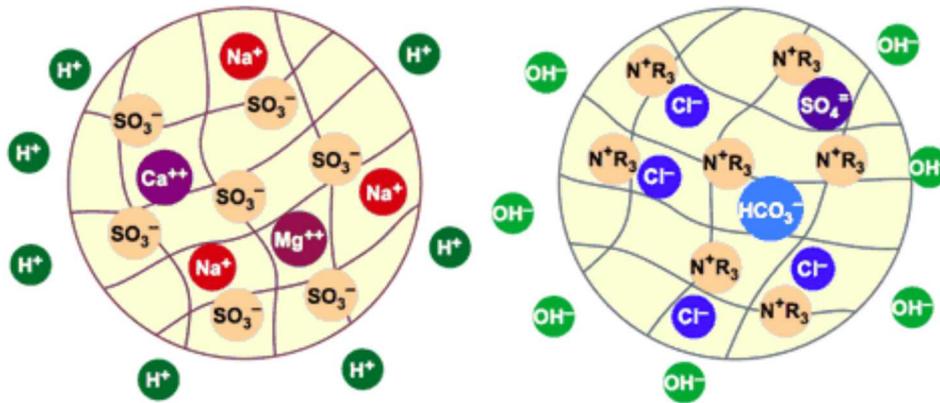


Figure II.08 : La déminéralisation. (04)

Les billes de résine sont saturées des ions  $H^+$  et  $OH^-$  ont été relâchés dans l'eau.

### II.6 : Choix d'un procédé de dessalement :

Les facteurs à prendre en compte dans le choix d'un procédé de dessalement sont de deux Ordres:

- Technique.
- Economique.

#### II.6.1 : Critères économiques :

- ✓ Coût de l'énergie : dépend de sa nature (énergie renouvelable, gaz, fuel), et de sa disponibilité locale (pays importateur, ou producteur.....).
- ✓ Coût des produits chimiques : selon qu'ils sont disponibles localement, ou importantes.
- ✓ Fluctuation des monnaies : particulièrement pour les unités d'osmose inverse, provenant de manière quasi-exclusive des USA, et dont le coût dépend donc de la fluctuation du Dollar.

#### II.6.2 : Critères techniques :

- ✓ Salinité de l'eau à traiter : elle varie de 7g/kg dans la mer Baltique à 270g/kg dans la mer morte. En générale, les procédés de distillation permet de traiter des eaux de fortes concentration, et les procédés à membranes sont généralement appliqués aux eaux saumâtres.

- ✓ Composition chimique de l'eau à traiter (particulièrement dans le cas des eaux saumâtres (teneur en sulfate, en carbonates).
- ✓ Caractéristiques physiques de l'eau (turbidité, matières en suspension,...) déterminent le type de prétraitement à utiliser, particulièrement dans les procédés à membranes, vue la fragilité de celle-ci.
- ✓ Salinité de l'eau produite : selon l'usage qui en sera fait, elle peut varier de 300 à 500 ppm pour l'approvisionnement en eau potable à 15-30 ppm pour l'alimentation en eau industrielle.
- ✓ Capacité nécessaire : la taille de l'installation peut aller de quelques m/jours à quelques centaines de milliers de m/jours.
- ✓ Source d'énergie disponible : gaz, pétrole, électricité, énergie renouvelable, énergie nucléaire, énergie récupérée....
- ✓ Degré d'automatisation et de contrôle : la mise en place de mesure et/ou d'enregistrement du PH, de la sélectivité de l'eau produite, de la température..., peut augmenter sensiblement les prix d'investissement des unités. (32)

### **I.7- Conclusion :**

Le dessalement d'eau de mer est devenu ces dernières années une alternative éminente pour parer à la crise de l'eau potable dans le monde. Les améliorations faites ces dernières décennies ont fait des procédés de dessalement des techniques remarquablement viables et efficaces, dans la production d'une eau pure à des prix raisonnables.

À l'instar des procédés thermiques qui étaient la seule option perpétuelle pour dessaler l'eau de mer pendant plusieurs années, le procédé MSF et le procédé MED sont des technologies utilisées à une échelle commerciale et elles ont montré leur efficacité et leur compétitivité.

Néanmoins, avec l'avènement des technologies membranaires, l'osmose inverse commence à gagner de la place sur le marché du dessalement.



# Chapitre III

Méthodes utilisée par la  
station (Osmose Inverse)



### III.1- Introduction :

A l'heure actuelle, la qualité d'eau produite mondialement par osmose inverse est supérieure à celle produite par distillation. Entre 1990 et 2001, la part de marché de l'osmose inverse a augmenté de 40 à 53%. L'intérêt de l'osmose inverse est le coût de l'eau produite qui est à peu près de  $0,5 - 0,7 \text{ \$US.m}^{-3}$ , alors qu'il se situe entre  $1,0 - 1,4 \text{ \$US.m}^{-3}$  pour le procédé thermique (Van der Bruggen et Vandecasteele, 2002), grâce à la consommation énergétique moindre du procédé. De plus, en ce qui concerne l'aspect environnemental, les émissions de pollutions atmosphériques (SOx et NOx) sont également réduites en osmose inverse du fait de cette plus faible consommation d'énergie par rapport au dessalement thermique. (35)

C'est pourquoi, les spécialistes du dessalement s'accordent à dire que l'osmose inverse devrait continuer à s'imposer sur le marché avec des prévisions à 2020 de 70 % pour l'osmose inverse contre 20 % pour le dessalement thermique et 10 % pour les autres procédés.

### III-2 : Définition de la méthode d'Osmose inverse :

- **L'osmose** : est un principe naturel. Si deux solutions aqueuses ayant une concentration saline différente, sont séparées par une membrane, l'eau passe spontanément de la solution la moins concentrée en sel à la plus concentrée.
- **L'osmose inverse** : est basée sur le principe opposé. Elle consiste à appliquer à cette eau salée une pression importante supérieure à la pression osmotique. qui nécessite une consommation énergétique élevée, pour la faire passer à travers une membrane. Au terme de l'opération, seules les molécules d'eau traversent la membrane, fournissant ainsi de l'eau douce (figure III-01).

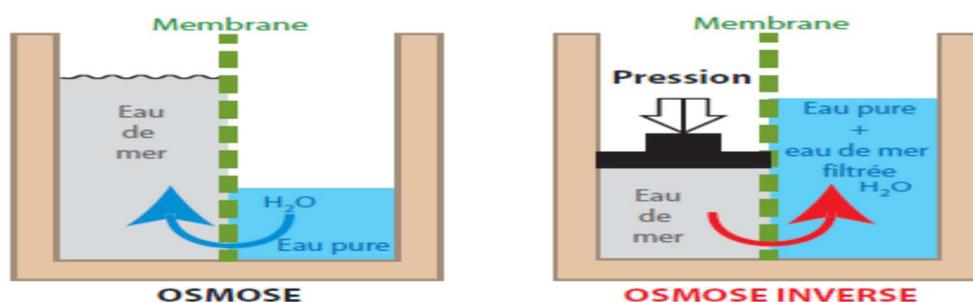


Figure III-01: Principe de l'osmose et de l'osmose inverse (12)

### III-3 : Domaines d'utilisation de l'osmose inverse :

La technologie de l'osmose inverse dont la taille des pores est de 0,1 à 1,5 nm s'applique dans les cas suivants :

- Dessalement des eaux de mer et des eaux saumâtres ;
- Récupération d'eau d'effluents colorés ;
- Récupération d'eau d'effluents d'usine de blanchiment ultrafiltrés et d'eau blanche ultra filtrée ;
- Production d'eau ultra pure pour utilisation dans des procédés sensibles (pharmacie, tannerie, papeterie... ) ;
- Récupération d'eau d'effluents miniers ;
- Concentration et purification d'effluents acides ou alcalins contaminés. (13)

### III-4 : Description d'une filière de traitement des eaux par osmose inverse :

#### III-4-1 : Osmose inverse Procédé de choix.

L'osmose inverse progresse sur le marché de dessalement pour les raisons suivante:

- Amélioration des performances des membranes d'osmose inverse (augmentation de la surface, réjection, perméabilité, matériaux...)
- Amélioration des performances des technologies de récupération d'énergie.
- Mise en œuvre plus facile
- Effet de tailles des projets
- Baisse des prix des équipements et des membranes.
- éprouvé et maîtrisable techniquement
- Modulable et flexible eu égard la demande en eau (21)

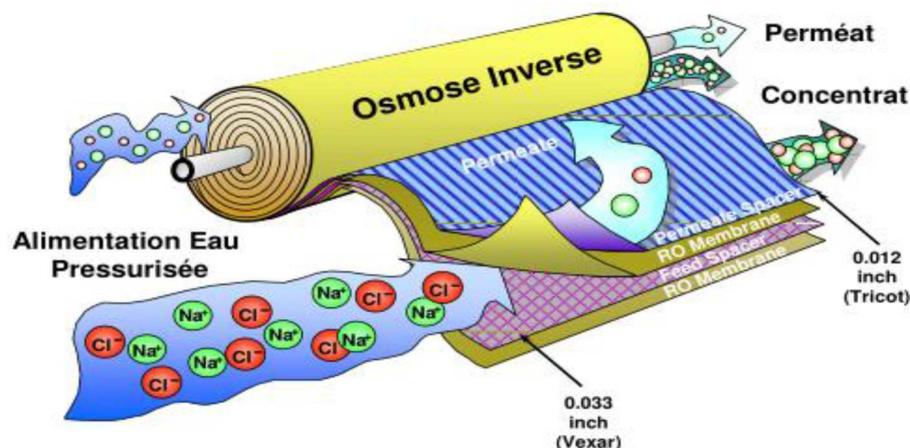


Figure III-02: membrane d'osmose inverse (12)

**III-4-2 : Mécanisme de transfert de matière :**

Plusieurs théories ont été avancées pour décrire les transferts de matière à travers les membranes semi-perméables et expliquer le mécanisme de sélectivité (figure III-03) :

- Le modèle de type « solubilisation - diffusion » où le soluté et le solvant se dissolvent dans la membrane et y diffusent.
- Le modèle basé sur la notion de « capillaires » qui s'applique pour les membranes de microfiltration et moins l'ultrafiltration.

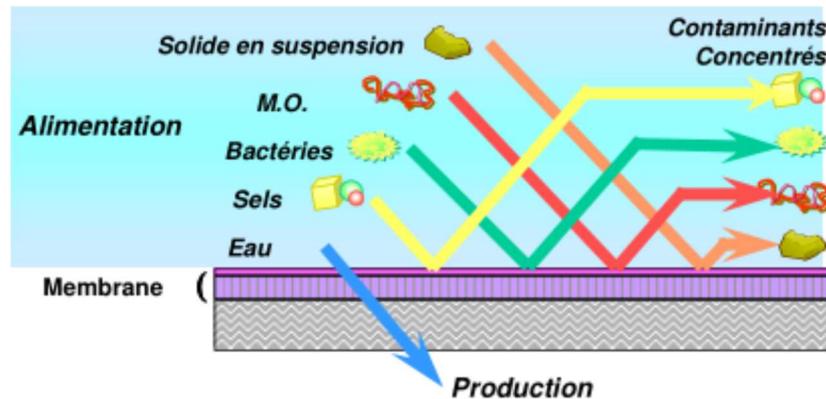


Figure III-03: Mécanisme de transfère de matière (21).

**III-4-3 : Schéma général d'une installation d'osmose inverse**

Les principaux constituants d'une installation d'osmose inverse sont les suivant (figure III-04) :

- Le poste de prétraitement ;
- Module avec la membrane ;
- La pompe haute pression ;
- Un système de récupération d'énergie.

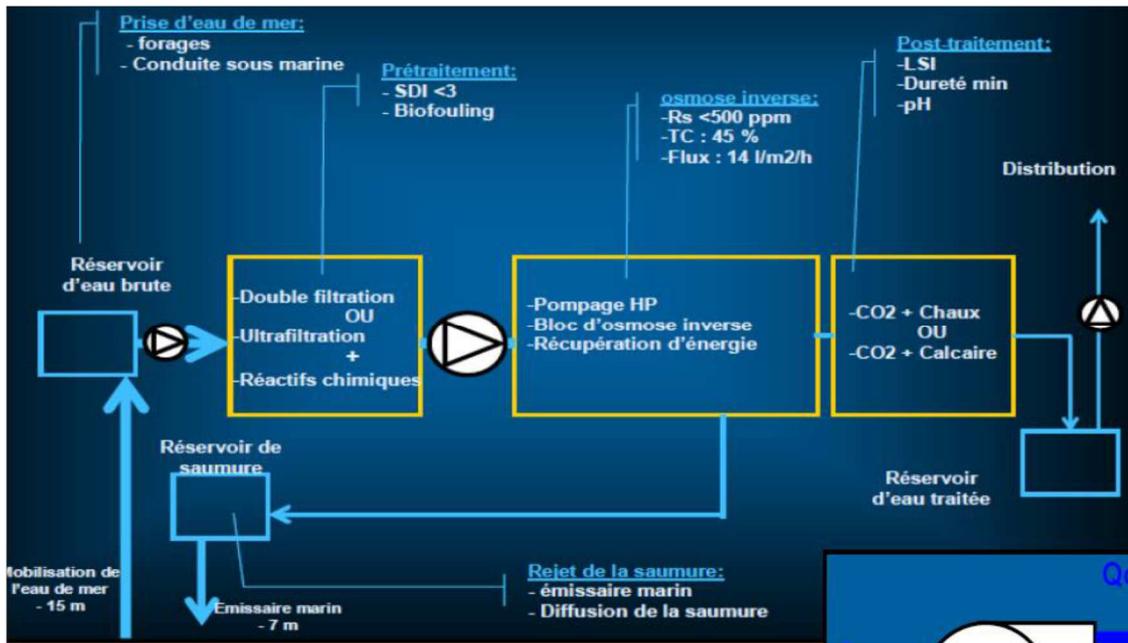


Figure III-04: Éléments constitutifs d'une unité d'osmose inverse (19)

III.4-4 : Les membranes d'osmose inverse et leurs types:

Il existe une grande diversité de membrane, Elles sont classées en familles, selon leur nature chimique, leur structure et leur forme physique liée à leur mode de fabrication.

Une membrane est une interface physique, de faible épaisseur, qui contrôle le transfert d'espèces chimique entre les deux milieux qu'elle sépare. Cette interface put être homogène au niveau moléculaire, uniforme en composition et structure, ou elle peut être chimiquement et physiquement hétérogène.

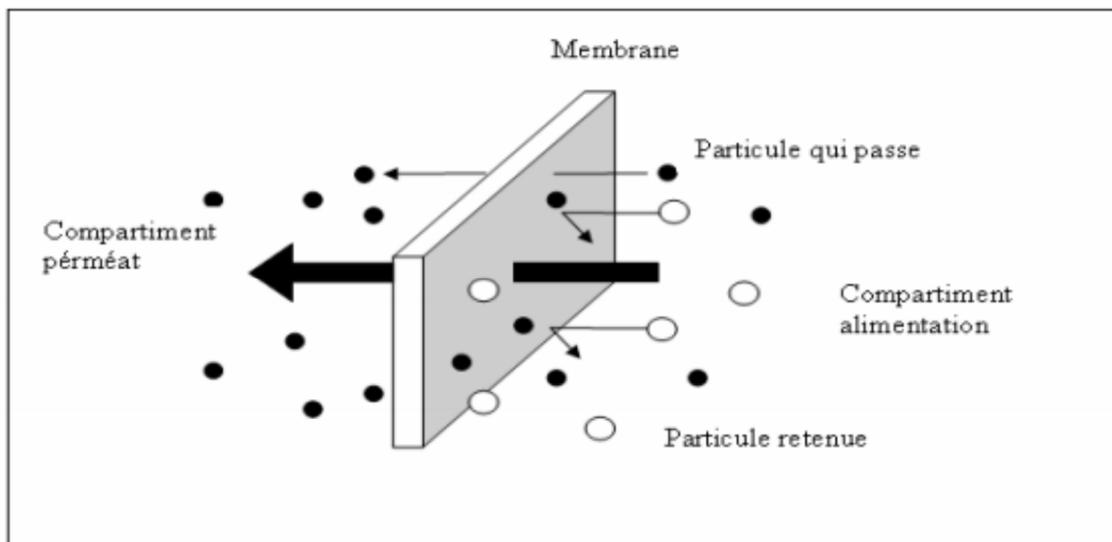


Figure III.05 : Schéma d'une membrane sélective. (17)

Les membranes peuvent être classées suivant le critère adopté en plusieurs catégories.

- La structure des matériaux permet de distinguer trois types de membranes :
  - Isotropes, où les propriétés structurelles sont constantes sur toute l'épaisseur de la cartouche ;
  - Anisotropes, où les propriétés structurelles varient sur l'épaisseur de la cartouche, de la surface vers l'intérieur de la membrane ;
  - Liquides.
- Selon la nature des matériaux constitutifs des membranes on parle également de :

### III-4-4-1 : Membranes organiques :

Fabriquées à partir de polymères organiques tels que l'acétate de cellulose, de polyamides, poly sulfones...etc.

- **Membranes en acétate de cellulose** : Ce sont des matériaux possédant de bonnes propriétés de perméabilité mais qui souffrent sensibilité à l'hydrolyse chimique leur utilisation est limitée à une gamme de Ph de 3 à 7 et à des applications pour le quelles la température n'excède pas 50°C. (17)
- **Membrane en polyamides** : Parmi les polymères les plus utilisés on rencontre, entre autres, les poly sulfones, polyamides aromatique, poly imides, polythersulfones, polycarbonates, ainsi que des polymères fluorés. Les membranes polymériques, possédant des résistances chimiques et thermique supérieures aux membranes cellulosique. (23)
- **Membrane en poly sulfone** : Caractérisées par un groupement -SO<sub>2</sub>- relativement stable relié à deux noyaux benzéniques.
- **Membrane en matériaux acryliques** :
  - ❖ Poly (acide acrylique).
  - ❖ Poly acrylonitrile (pan).
- **Membranes en matériaux fluorés** :
  - ❖ Poly (fluorure de vénylidéne) ou PVDF,

- ❖ Poly (tétrafluoroéthylène) ou PTFE.

### III.4.4.2 : Membranes minérales ou inorganiques :

Différents matériaux minéraux peuvent être utilisés pour la fabrication ces membranes. Si les céramiques composent la majorité de membranes minérales, on trouve également du carbone poreux, des métaux ou du verre. Bien souvent, il s'agit de membranes composites où le matériau composant le support est différent.

Ces membranes sont d'une manière générale plus résistante mécaniquement, chimiquement et thermiquement, que leurs concurrentes organiques. Les membranes céramique ne sont par ailleurs pas sensibles aux agents oxydants ce qui facilite grandement leur nettoyage par voie chimique. Enfin, elles peuvent être stérilisées à la vapeur sans altération de leur structure.

### III.4.4.3 : Membranes composites :

Elles sont caractérisées par une structure asymétrique dont la peau est beaucoup plus fine que celle des membranes classiques non composites et par une superposition de plusieurs couches différenciées soit par leur nature chimique, soit par leur état physique. Elles peuvent être organiques (superposition de polymères organiques différents), organo-minérales ou minérales (association de carbone ou d'alumine comme support et de métaux tels la zircone, l'alumine et le titane).

#### ♣ Les critères de choix d'une membrane:

Les qualités recherchées pour une membrane eau de mer sont les suivantes.

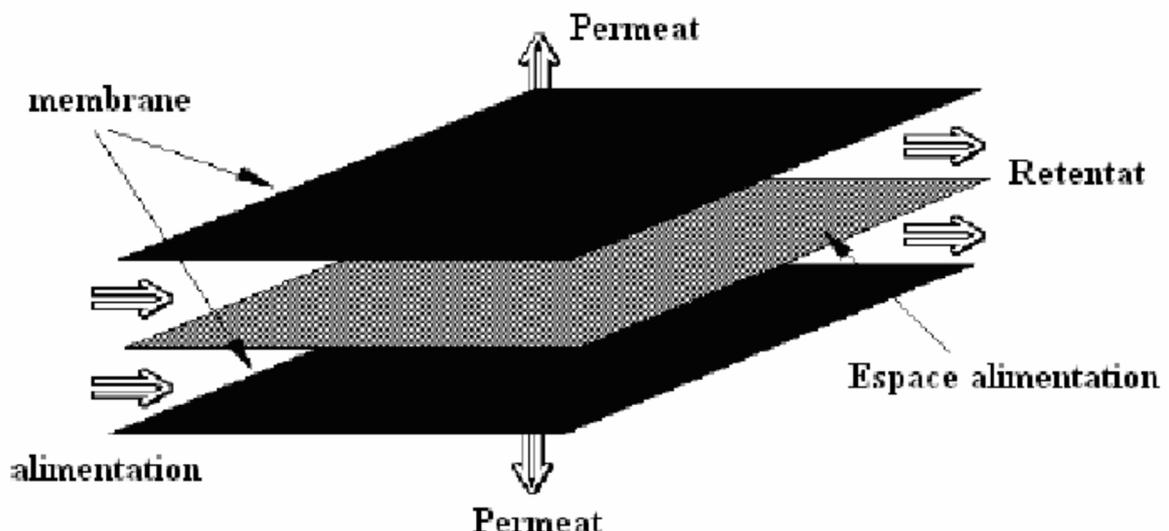
- **Un rejet de sel élevé :** Par le choix des membranes capable de rejeter 99 % des sels, actuellement, les fabricants proposent des membranes affichant des rejets de sel entre 99,0 % et 99,8 %. Le rejet de sel est défini dans des conditions dites « standard », selon les fabricants : teneur en NaCl, pression de travail, température, pH, conversion.
- **La meilleure résistance à la compaction :** La membrane est soumise à de fortes pressions plus de 50 bars qui accélèrent le phénomène de compaction.
- **La meilleure stabilité chimique:** Aujourd'hui, une bonne membrane accepte en fonctionnement continu une eau dont le pH se situe entre 3 et 10. Cette

fourchette est largement suffisante car le pH de l'eau de mer prétraitée est de l'ordre de 7. On s'intéressera plus à la fourchette de pH acceptable pendant le lavage ; plus large est cette fourchette, plus grande est la liste des solutions de lavage compatibles et finalement, l'exploitant disposera de moyens plus rapides pour laver les membranes.

#### III.4-5 : Les Modules et leurs types :

Les membranes les plus répandues sont assemblées sous forme de modules regroupant généralement plusieurs membranes. Actuellement, quatre principaux types de modules sont commercialisés, il s'agit des modules spiraux (les plus utilisés), les modules tubulaires et les modules fibres creuses.

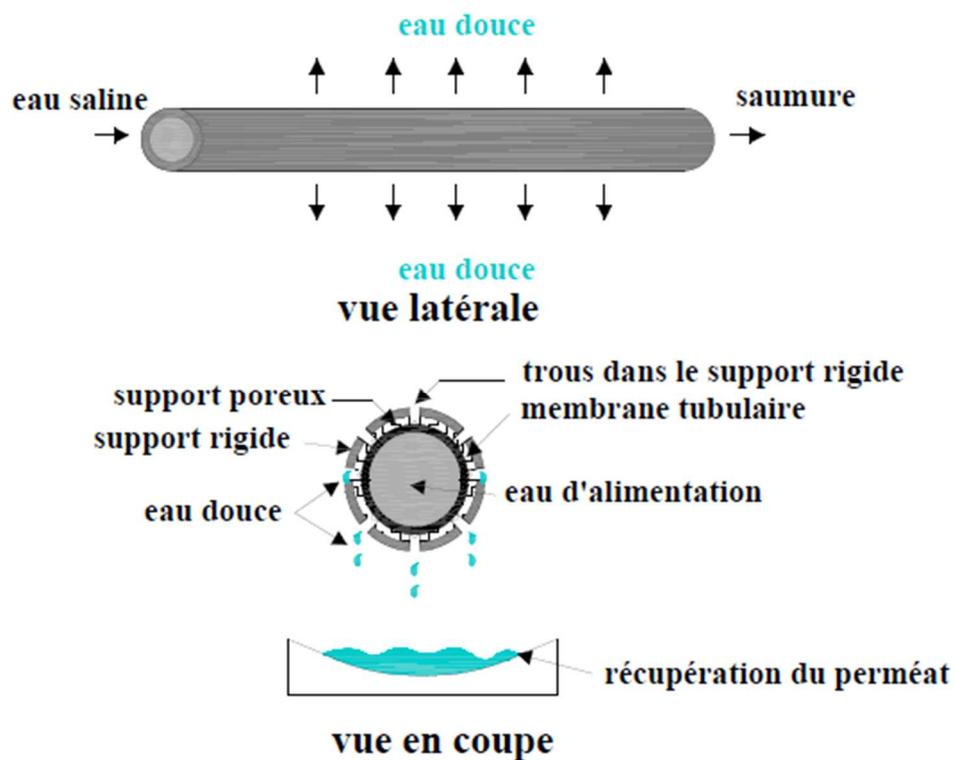
- **Modules plans** : Ils sont constitués d'un empilement de plaques chacune équipée sur ses deux faces d'une grille de drainage faisant office d'espace filtrant, et d'une feuille poreuse soutenant la membrane. (17)



Figures III.06 : Module plan. (24)

- **Modules tubulaires** : Ils sont constitués d'un tube poreux sur lequel la membrane est fixée, le liquide à traiter, pompé à une extrémité du tube, est forcé au travers de celui-ci et de la membrane. Le retentat est recueilli à l'autre extrémité du tube tandis que le

perméat qui s'écoule à la surface extérieure de la membrane est récolté dans un tube extérieur concentrique.



Figures III.07 : Schéma de principe d'un module tubulaire. (17)

- **Module spiralé** : C'est une membrane plane qui est enroulée sur elle-même autour d'un tube poreux qui recueille le filtrat. On obtient ainsi un cylindre multi couches où le perméat s'écoule selon un chemin spiralé vers le tube poreux tandis que l'alimentation circule axialement dans les canaux. On retrouve souvent dans les installations d'osmose inverse des modules spiralés.

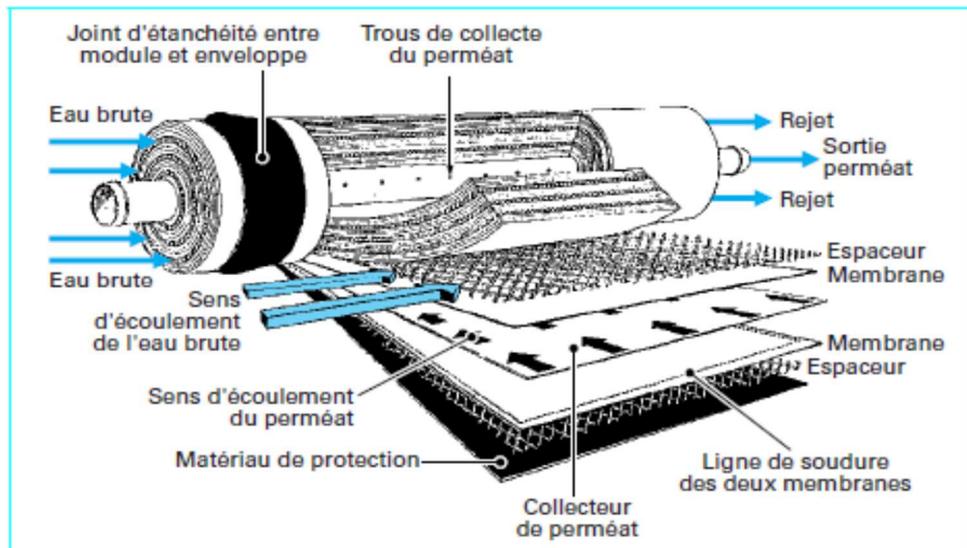


Figure III.08 : Module à enroulement spiral. (26)

- **Module à fibres creuses :** Dans ce cas la membrane est sous forme de tube très fins (diamètre intérieur de 0,005 mm à 1mm). ces tubes dont le nombre peut varier entre 50 et plus de 1000 sont contenus dans une cartouche.

Le produit à traiter est introduit à une extrémité de la cartouche et réparti dans les fibres creuses à l'aide d'un distributeur. Le retentât est collecté à l'autre extrémité et le perméat est recueilli dans la cartouche.

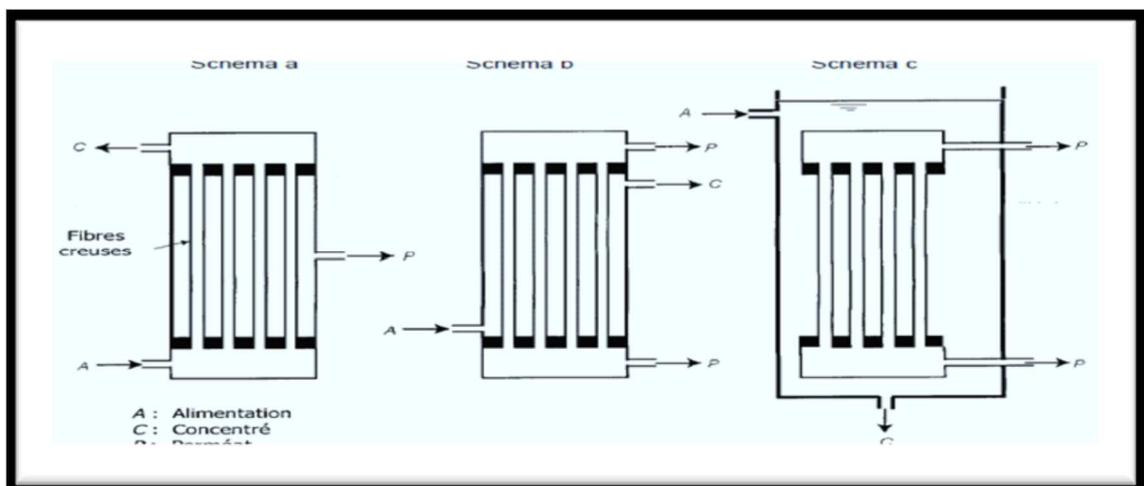


Figure III.09: Modules à fibres creuses. (17)

#### III-4-6 : La pompe haute pression :

Le cœur du système d'osmose inverse est la pompe haute pression d'alimentation des membranes, elle joue un rôle très important car elle est liée directement à la consommation d'énergie par son rendement. De ce fait, il convient d'effectuer les bons choix par une parfaite

connaissance des équipements existants sur le marché et de leurs spécificités au niveau de leur principe de fonctionnement, de leur conception, des gammes de débit et de pression, des rendements, de la métallurgie et des caractéristiques dimensionnelles.

### III.4-7 : Le système de récupération d'énergie :

Dans le système d'osmose inverse le concentrât est rejeté sous haute pression arrivant jusqu'à 65 bars, c'est pourquoi il est important de récupérer de l'énergie du débit de concentrât ; il existe actuellement deux systèmes de récupération de l'énergie hydraulique :

- **Récupération indirecte** : La puissance hydraulique du concentrât sert à soulager le moteur de la pompe haute pression et ceci par l'intermédiaire d'une turbine.

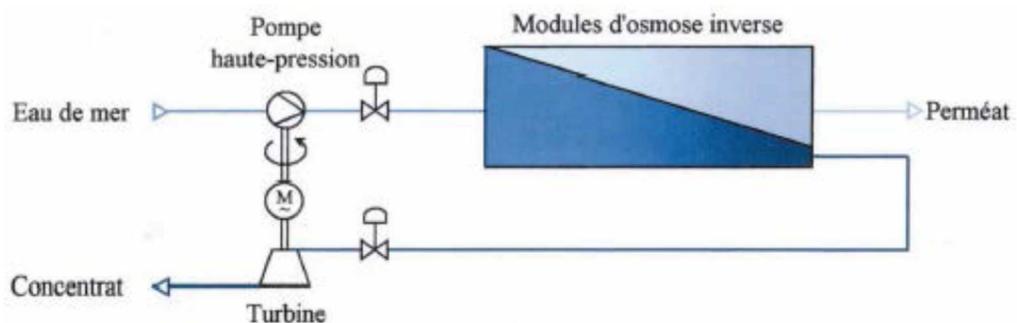


Figure III.10 : Schéma de récupération directe de l'énergie. (34)

- **Récupération directe** : La puissance hydraulique est transférée directement dans le circuit d'alimentation, Le flux du concentrât provenant des membranes est dirigé à travers l'échangeur de pression, où il transfère directement de l'énergie à une partie du flux d'alimentation avec un maximum d'efficacité, pour cela il existe une pompe de surpression destinée à compenser les pertes de charge induites dans les échangeurs de pression comme le montre la figure suivante :

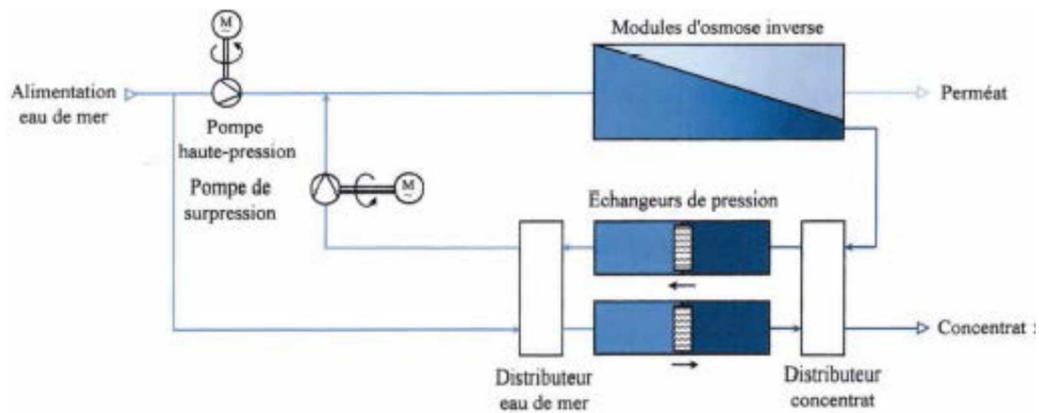


Figure III.11 : Schéma de récupération indirecte de l'énergie. (34)

### III.4-8 : Le post traitement :

L'eau de mer étant constituée à 85 % de chlorure de sodium, il convient de reminéraliser le perméat pour porter son TH calcique et son TAC à des valeurs proches de 8°F. De plus les membranes d'OI étant perméables aux gaz, le CO<sub>2</sub> issu de la dissociation des bicarbonates se retrouve dans le perméat, ce qui oblige à corriger son pH. L'eau doit enfin subir une désinfection par injection de chlore, dont le résiduel permettra de la protéger lors de son transport et de son stockage. (07)

### III-4-9 : Choix des paramètres de fonctionnement :

- **Choix du taux de conversion :** Le taux de conversion Y est le rapport entre la quantité d'eau douce produite et la quantité d'eau de mer

$$Y = \text{Débit perméat} / \text{Débit d'alimentation}$$

-du point de vue économique, on a en effet intérêt à adopter un taux de conversion le plus élevé possible, de manière la quantité d'eau brute entrant dans l'installation, d'où des investissements plus faibles et une consommation d'énergie réduite

-un taux de conversion élevé a pour conséquence une concentration du circuit saumure plus importante d'où des risques de précipitation des sels peu solubles et une augmentation de la salinité de l'eau produite

- **Choix de la pression :** Comme pour tout procédé de séparation, le choix de la pression de fonctionnement doit faire l'objet d'une optimisation entre le cout de la consommation énergétique et le cout lié à la surface de membranes , en effet , lorsque la pression augmente la consommation d'énergie devient plus importante, par contre pour une production donnée, la surface de membranes nécessaire devient plus faible .

❖ La pression de fonctionnement doit être supérieure à la pression osmotique

- ❖ la sélectivité d'une membrane d'OI augmentant avec la pression on pourra dans certain cas être amenée à choisir la pression en fonction de la sélectivité souhaitée pour la membrane
- ❖ lorsque la pression est très élevée se pose des problèmes de tenue mécanique des membranes (compactage), ainsi que des modules .actuellement la pression maximale se situent aux environs de 70 – 80 bars
- **Choix de la température :** Pour une pression donnée le compactage d'une membrane est d'autant plus important que la température est élevée le débit d'eau à travers la membrane augmente avec la température par suite de la diminution de la viscosité, cette augmentation est environ 3% par degré Celsius
- **Consommation de l'énergie :** Le procédé d'osmose inverse ne faisant pas intervenir de changement de phase, doit présenter une consommation d'énergie plus faible que l'autre procédé de séparation telle que la distillation.

#### III-4-10 : Qualité de l'eau traitée par osmose inverse :

L'eau obtenue par traitement sur membranes d'osmose inverse est exempte de toute particule solide et de tout colloïde

- l'eau sortante de l'osmoseur est complètement déminéralisée, sont ainsi éliminés totalement ou en quasi- totalité, nitrates, amiante, herbicides, calcaire, mercure, plomb, et autres métaux lourds ainsi que tout ce qui est dissous, dans les conditions standard d'évaluation des performances ,des performances ,le pouvoir de rendons des membranes polyamide d'OI ;
- l'eau traitée par l'OI et une eau apyrogène, puisque les endotoxines pyrogènes, de masse molaire très élevée sont en totalité retenues par les membranes, dans la pratique cette théorie est presque toujours vérifiée ;
- les expériences montre que l'eau traité par l'OI est presque toujours une eau stérile, il impossible de garantir de façon absolue une telle stérilité. (21) et (30)

#### III.5 : Les avantages et les inconvénients de l'osmose inverse :

- **Les avantages :**
  - Obtention d'une eau très pure après osmose inverse.
  - L'eau osmosée est antioxydant, alors que l'eau en bouteille est plus oxydée du fait du délai souvent trop long entre la mise en bouteille et la consommation.

- Le pH légèrement acide de 6,6, idéal pour la digestion, l'assimilation des aliments.
- Le procédé d'OI ne demande pour sa mise en marche ou son arrêt que quelques secondes.
- L'OI peut être schématisée par une pompe à haute pression et un ou plusieurs modules (simplicité de représentation).
- Faible consommation d'énergie, comparée à d'autres procédés.
- **Les inconvénients :**
  - Nécessité d'un prétraitement de l'eau brute ;
  - Le remplacement des membranes d'OI représente 5% du coût du traitement.
  - La séparation membranaire possède un talon d'Achille c'est le « le colmatage » qui est responsable dans trois quart des cas du vieillissement de la membrane.
  - La capacité unitaire d'un module d'OI ne dépasse pas 20 m<sup>3</sup>/j d'eau douce à partir de
  - l'eau de mer, et donc une installation de grande capacité sera constituée de plusieurs modules, ce qui entraîne une complexité de l'installation et un coût élevé.
  - Impact négatif du rejet de la saumure sur l'environnement. (32)

### III.12- Conclusion :

Dans ce chapitre on a détaillé le procédé d'Osmose Inverse car, actuellement c'est le procédé le plus utilisé notamment dans le bassin méditerranéen, aussi bien pour le dessalement des eaux saumâtres que des eaux de mer. C'est aussi la technique retenue par l'Algérie pour ses grandes stations de dessalement, dont celle de Fouka (Wilaya de Tipaza), qui fait l'objet de notre étude.



# Chapitre IV

## Présentation de la zone d'étude



**IV.1- Introduction :**

La station de dessalement d'eau de mer de Fouka a été Réalisée par l'entreprise "Myah Tipasa" qui représente un groupement d'entreprises constitué d'AEC (Algerian Energy Company) et de la canadienne "SNC Lavallin"

Cette station est destinée à couvrir les besoins en eau potable de la partie Est de la wilaya de Tipasa et d'une partie de la wilaya d'Alger. Elle utilise la technique d'osmose inverse pour dessaler l'eau de mer. Sa capacité journalière de dessalement est de 120 000 m<sup>3</sup>, dont 60 000 m<sup>3</sup> destinés à Alger, touchera les communes limitrophes de la wilaya de Tipasa, à savoir Zeralda, Mahelma, Staouéli et AïnBenian et 60 000 m<sup>3</sup> seront réservés à la wilaya de Tipasa pour alimenter en eau potable les communes de Douaouda, Fouka, Bou Ismail, Ain Tagourait, Attatba et Chaiba.

**IV.2- Localisation de la station :**

Le site de l'usine de dessalement d'eau de mer de Fouka est localisé dans la wilaya de Tipasa, à 20 km du chef-lieu de wilaya et à environ 35 km à l'Ouest d'Alger. L'usine est située à l'entrée de Fouka et à la sortie de la ville de Douaouda marine. Elle est sillonnée par la route nationale RN°11 en provenance d'Alger et en direction vers Chlef ; et relié à Koléa par le chemin de wilaya N°110 et à Bou-Ismaïl par le chemin de wilaya N°126.

La commune de Fouka s'étend sur une superficie de 1273 ha et se situe au Nord- Est de la ville de Tipaza. Elle est limitée :

- Au Nord : la mer Méditerranée ;
- Au Sud : la commune de Koléa ;
- A l'Est : la commune de Douaouda ;
- A l'Ouest : la commune de Bou Ismaïl ;

L'usine de dessalement s'étend sur une superficie de 4 hectares, et présente une longueur de 300 m et une largeur variant de 70-150 m (voire figure n°1).

Signalons aussi que l'oued Mazafran se situe à environ 4 km du côté Est du site de la station de dessalement.



Figure IV.01 : Photo de la station de Fouka. [5]

### IV.3- Capacité de la station et le mode de fonctionnement :

Le mode de fonctionnement de la station de dessalement est l'Osmose Inverse (OI), elle est composée de six (6) unités (OI) d'une capacité unitaire de 20 000 m<sup>3</sup>/jour chacune (Il n'y a pas d'unités en réserve).

La capacité de la station de traitement est de 120 000 m<sup>3</sup>/jour basée sur un approvisionnement en eau brute d'environ 273 697 m<sup>3</sup>/jour, la production est étalée sur une période de 24 h/jour soit 5 000 m<sup>3</sup>/heure. Il est possible de faire fonctionner l'usine afin de produire les gammes de débits journaliers suivantes :

Tableau IV.01 : Capacité de la station.

Nombre d'unité d'osmose inverse En service	Débit (m <sup>3</sup> /jour)	%de débit nominal
1	20 000	17%
2	40 000	33%
3	60 000	50%
4	80 000	67%
5	100 000	83%
6	120 000	100%

### IV-4 : Installation et processus :

Les différentes installations dans l'usine de dessalement de Fouka sont :

1. une prise d'eau de mer;
2. un poste de prétraitement;
3. l'unité d'osmose inverse;
4. un poste de nettoyage en place CIP (cleaning in place);
5. un poste de traitement et de re-meniralisation;

6. un laboratoire d'analyse;
7. une station de contrôle.



Figure IV.02 : les étapes de dessalement.

## IV.5- Description détaillée de l'usine :

### IV.5.1- La prise d'eau :

#### IV.5.1.1- Critères de conception des conduites de prise d'eau :

Les têtes des prises d'eau sont en béton armé. Elles reposent sur le fond marin stable et aucune fondation particulière n'est nécessaire.

Les grilles d'entrée de la prise d'eau sont à environ 6 m du fond marin pour éviter l'entraînement de particules du fond marin remises en suspension par l'action des courants et pour éviter une mise à l'air lors des houles extrêmes.

La vitesse d'entrée de la prise d'eau est limitée à 0,1 m/s afin d'éviter l'aspiration des solides en suspension et des débris. Des barreaux de 20 mm espacés de 100 mm sont prévus pour minimiser l'introduction de gros débris dans la prise d'eau. Ces barreaux sont montés sous la forme de grillages.

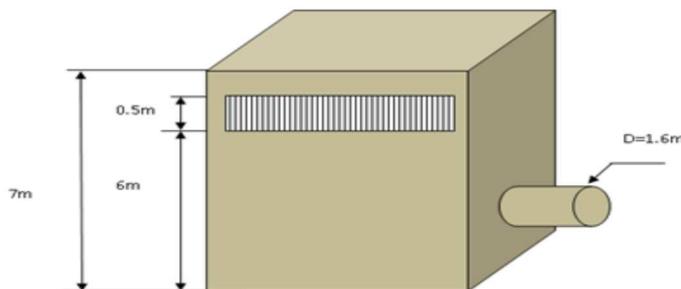


Figure IV.03 : Tour de captage. (34)

#### IV.5.1.2- Conception de la prise d'eau: (09)

Basées sur deux (2) prises (chacune des deux (2) conduites de prise est munie d'une tête indépendante), les dimensions de chacune seront les suivantes :

- Débit d'eau brute instantané 11 404 m<sup>3</sup>/h
- Débit par prise 5 702 m<sup>3</sup>/h
- Vitesse d'entrée au débit moyen 0,1 m/s
- Barreaux 20 mm espacés à 100 mm c/c

- Facteur d'encombrement 80 %
- Surface requise d'entrée 39,6 m<sup>2</sup>
- Longueur de grille 20.0 m
- Hauteur de grille 2.0 m retenu

#### IV.5.1.3- Critères de conception Conduite de prise d'eau :

Les critères de conception pour les conduites de prise d'eau sont les suivantes :

- deux conduites avec un diamètre DN1600 mm sont prévues (2 X 100%).
- en condition normale, chaque conduite passe 100 % du débit;

La conception des conduites d'amenée est aussi basée sur les principes suivants :

- Les conduites sont en PEHD.
- Le puits de pompage d'eau brute et les pompes sont conçus pour permettre le fonctionnement des prises d'eau lors de l'entretien d'une conduite.
- La longueur et l'emplacement des prises d'eau sont à environ 845 m de longueur et à 15 m de profondeur d'eau.
- Les conduites d'adduction sont posées en pente constante à un niveau de radier croissant en direction de la berge afin d'éviter l'accumulation d'air ou de gaz.
- Des regards d'inspection sont prévus à tous les 300 m environ afin de permettre une inspection visuelle.
- La vitesse dans les conduites est comprise entre 1,0 et 2,0 m/s pour limiter la formation des dépôts et réduire l'incrustation de moules.
- Un coefficient de friction  $C = 150$  a été retenu pour les calculs. Des vérifications sont également réalisées pour un  $C = 130$ , soit la condition selon laquelle des algues se développeraient à l'intérieur des conduites en polyéthylène. Notons que la perte de capacité en raison de prolifération de moules zébrées à l'intérieur des conduites n'est pas prévue, car la vitesse à l'intérieur des conduites est supérieure à 1,0 m/s. En effet, la littérature indique que les moules ne peuvent se fixer à cette vitesse.
- Les conduites seront déposées sur le fond marin. Cependant, les 300 premiers mètres de conduite à partir de la station de pompage seront enfouis sous le fond marin pour protéger les conduites et assurer leur stabilité contre l'effet des vagues. Cette longueur correspond à une hauteur d'eau entre 5 et 6 m au-dessus des conduites, (Contrat EPC, Construction d'une usine de dessalement d'eau de mer de Fouka, 2005). (07)



**Figure IV.04 : La conduite en PEHD. (32)**

#### **IV.5.1.4- Station de pompage d'eau brute :**

La station de pompage d'eau brute sert à relever les eaux jusqu'aux filtres à sable.

Trois (3) dégrilleurs verticaux sont placés à l'entrée de la station pour la protection des pompes. Des vannes murales permettront l'isolation du puits de pompage pour l'entretien. Des vannes d'isolement sont également prévues de chaque côté des dégrilleurs pour isoler chacun d'eux pour entretien. Les pompes de type centrifuge verticales, sont soigneusement choisies pour résister à la forte agressivité de l'eau de mer.

La station de pompage est constituée de 7 pompes, 6 en service et une de réserve, d'une capacité de 1974 m<sup>3</sup>/h chacune (soit un total de 11 844 m<sup>3</sup>/h > 11 404 m<sup>3</sup>/h pour absorber le débit supplémentaire pendant la maturation des filtres à sable). **(07)**

#### **IV.5.1.5- Critères de conception des dégrilleurs :**

Débit (m<sup>3</sup>/h) =11 404

Epaisseur des barreaux (mm) =10

Epaisseur entre les barreaux (mm) = 50

Vitesse à travers les barreaux (m/s) =1.0

Section équivalente à travers les barreaux (%) =83% **(09)**



Figure IV.05 : Le dégrilleurs et la station de pompage. (32)

#### IV.5.2- Le prétraitement d'eau de mer :

Le dessalement par osmose inverse nécessite d'abord un prétraitement très poussé de l'eau de mer pour éviter le dépôt de matières en suspension sur les membranes qui conduirait très rapidement à une diminution des débits produits. Ces dernières sont également très sensibles au colmatage par matières colloïdales et les micro-organismes, raison pour laquelle le prétraitement doit garantir une eau dessalée compatible avec les exigences du fabricant des membranes. Ainsi l'eau de mer aspirée doit subir un prétraitement par pré chloration, coagulation, acidification, etc....

##### IV.5.2.1- La pré-chloration :

La pré-chloration de l'eau de mer est assurée par l'un des produits suivants : le chlore gazeux ; l'hypochlorite de calcium où l'hypochlorite de sodium, ce dernier est utilisée comme traitement de choc de l'eau brute à l'entrée de la station, pour limiter la formation de biofilm dans les conduites de la prise d'eau et les filtres mais surtout pour contrôler le colmatage biologique (biofouling) des membranes.



Toutefois la plupart des membranes utilisées actuellement en OI ne tolèrent pas le chlore ; pour les protéger une solution de bisulfite de sodium est ajoutée.

##### IV.5.2.2- Coagulant et polymère :

Avec un débit 110 l/hr et une concentration entre 3 et 5 ppm, le chlorure Ferrique est ajouté à l'eau brute en amont des filtres pour agir en tant que coagulant et agglomérer les particules fines. Un polymère pourrait être injecté lorsque l'eau brute sera très turbide. (09)

**IV.5.2.3- L'acide sulfurique :**

L'injection d'acide sulfurique entre 21 et 50 ppm à l'entrée des filtres, avec un débit de 350 l/hr.

**(09)**

A pour objectifs de :

- Ajuster le pH ;
- Garantir l'effet bactéricide du chlore ;
- Optimiser la performance du coagulant ;
- Eviter la précipitation de  $\text{CaCO}_3$  à l'intérieur des membranes.



**Figure IV.06 : Les prises des produits chimiques. (32)**

**IV.5.2.3- Filtres bicouches gravitaires :**

Au niveau de la filtration gravitaire on utilise des filtres bicouches qui fonctionnent à un niveau et débit constant et ils ont opté pour une installation des filtres bicouches.

Dans les filtres bicouches, la couche supérieure est faite d'un matériel épais et de faible densité (anthracite dans notre cas). C'est dans cette première couche que la majorité des particules est retenue. La couche inférieure inclut un matériel fin et plus épais, constituant un traitement d'affinage. **(34)**

Les caractéristiques des filtres ouverts sont :

- Nombre d'unités en service : 18
- Nombre d'unités en maturation ou lavage : 2
- Type de filtre : Filtre ouvert
- Largeur: 5 m
- Longueur: 15,5 m
- Hauteur de couche : 1 000 mm
- Surface de filtration: 77,5 m<sup>2</sup>

- Surface totale: 1 395 m<sup>2</sup>
- Temps de rétention sur couche pour coagulation: 15 min
- Volume requis : 159 m<sup>3</sup>
- Hauteur d'eau : 2,1 m
- Perte de charge minimale: 0,32 m
- Perte de charge maximale admise: 2 m

**- Les Couches filtrantes :**

- **Anthracite**
- Hauteur de couche 400 mm
- Taille effective 1,5 mm
- Coefficient d'uniformité 1,3
- Volume par filtre 31 m<sup>3</sup>
- Volume total 620 m<sup>3</sup>
- Densité apparente 0,74
- Poids par filtre 23 t
- Poids total 459 t
- **Sable de silex**
- Hauteur de couche 600 mm
- Taille effective 0,66 mm
- Coefficient d'uniformité 1,57
- Volume par filtre 47 m<sup>3</sup>
- Volume total 930 m<sup>3</sup>
- Densité apparente 1,50
- Poids par filtre 70 t
- Poids total 1 395 t
- **Gravier (ou membrane filtrante)**
- Hauteur de couche 100 mm
- Taille effective 2 mm
- Coefficient d'uniformité 1,45
- Volume de sable par filtre 8 m<sup>3</sup>
- Volume total 155 m<sup>3</sup>
- Poids de sable par filtre 12 t
- Poids total 233 t

Sachant que les crépines sont remplacées par des faux fonds en plastique renforcé et les bassins de filtration ont été couverts avec des dalles en plastique afin d'éviter le développement des algues.



**Figure IV.07 : Les filtres gravitaires. (32)**

#### **IV.5.2.4- Lavage des filtres :**

Le lavage des filtres se fait automatiquement à l'air et à l'eau, pour le lavage des filtres, un réservoir de saumure de 750 m<sup>3</sup> est prévu. Ce réservoir a une capacité suffisante pour réaliser un lavage de filtres.

Le lavage des filtres se fait avec de la saumure. Le remplissage du réservoir de saumure se fait grâce à une conduite d'un diamètre de 1 000 mm en GRP provenant du rejet des unités d'osmose.

Le lavage des filtres avec saumure est recommandé pour les raisons suivantes :

- La saumure est un sous-produit qui, dans ce cas, est réutilisée.
- Le lavage avec saumure permet une diminution des besoins en eau filtrée et donc une économie énergétique dans le pompage d'eau de mer.
- Le lavage avec saumure permet un choc osmotique aidant au contrôle de la croissance bactérienne.

La nouveauté dans cette station c'est que dans le système de lavage, les crépines ont été remplacées par des faux fonds en plastique renforcé.

- **Fréquence de lavage des filtres**
- La fréquence de lavage des filtres est en fonction des matières en suspension (MES) contenues dans l'eau brute.
- Les filtres sont conçus en fonction d'une charge massique de 2 kg/m<sup>2</sup>.
- Pour une turbidité de 1,5 NTU (MES = 7,5 mg/l), le lavage s'effectue également aux 24 heures.

- En fonction de MES de l'ordre de 10 à 20 mg/l, les lavages s'effectueront respectivement aux 18 et 10 heures.

Le réservoir d'eau filtrée a un volume de 950 m<sup>3</sup>, il est prévu pour stocker les eaux filtrées avant leur pompage vers les filtres à cartouches. Le réservoir est séparé en deux compartiments pour en permettre l'entretien (34).

#### **IV.5.2.5- Filtres à cartouches (microfiltre):**

Afin de filtrer les petites particules pouvant s'échapper des filtres à sable et protéger ainsi les membranes contre un encrassement, des filtres à cartouches capables de filtrer des particules jusqu'à 5 microns sont installés en amont des unités d'osmose.

Le colmatage des cartouches est contrôlé par :

1. La diminution de débit à la sortie.
2. L'augmentation de la pression.
3. Le changement de la couleur des cartouches (du blanc vers le marron).
4. La mesure du SDI en amont et en aval du microfiltre.

Dans ce cas la cartouche du filtre doit être remplacée. La fréquence de remplacement est estimée à environ 4 fois l'an.

Les caractéristiques des filtres à cartouches sont les suivantes :

- Nombre de vaisseaux 9 + 1R
- Nombre de filtres par vaisseau 360
- Nombre total de filtres 3 600
- Débit total maximum 11 412 m<sup>3</sup>/h
- Débit par vaisseau 1 268 m<sup>3</sup>/h
- Salinité 38 000 mg/l
- Densité d'eau 1 030 kg/m<sup>3</sup>
- Température de l'eau 15 – 27 °C
- Solides totaux en suspension < 4 mg/l
- Niveau de filtration 5 µm -1µm Nominal
- Pression à l'entrée 4 bars
- Perte de charge
- Minimum 0,5 bar
- Moyen 1,0 bar
- Maximum 1,5 bars
- Filtre
- Diamètre du filtre 1 700 mm

- Longitude cylindrique 2 000 mm
- Pression de design 7 bars
- Composition des filtres Ebonited Carbon Steel
- Débit par vaisseau 1 268 m<sup>3</sup>/h
- Cartouches
- Type Double open ended
- Longueur unitaire des cartouches 1 500 mm (6 cartouches)
- Diamètre par cartouche 63 mm
- Débit par cartouche 3,52 m<sup>3</sup>/h – 58,7 l/min
- Débit max. autorisé par cartouche 100 l/min
- Débit par 10" de cartouche 587 l/h
- Débit recommandé par 10" de cartouche 600 l/h/10"
- Composition des cartouches Polypropylène



**Figure IV.08 : L'unité des filtres à cartouches. (32)**

Les paramètres suivants sont mesurés une dernière fois avant l'arrivée de l'eau aux membranes :

- Turbidité
- pH avec alarme de bas et haute niveaux
- Température avec alarme de bas et haute niveaux
- Potentiel redox avec alarme de bas et haute niveaux
- Chlore libre résiduel avec alarme de bas et haute niveaux

- Indice d'encrassement (SDI) (mesures manuelles périodiques)

#### IV.5.2.6- Le métabisulfite de sodium où Bisulfite sodium :

Compte tenu de la grande sensibilité au chlore, des membranes en polyamide, utilisées dans la station, il est indispensable d'assurer une déchloration de l'eau de mer avant son entrée dans les modules. Pour éliminer le chlore résiduel, le bisulfite de sodium d'une concentration entre 4 et 10 ppm, est injecté à un débit de 200 l/hr.



#### IV.5.3- Le traitement :

##### IV.5.3.1- Filières d'osmose inverse :

Après le prétraitement, l'eau est pompée avec des pompes haute pression jusqu'aux modules d'osmose inverse. Six (6) filières d'osmose sont installées (voir figure n°9). Les filières d'osmose sont raccordées à un collecteur commun alimenté par les six (6) pompes haute pression.

Les paramètres de conception adoptés pour les unités d'osmose inverse sont résumés ici :

- Nombre de racks en opération 6
- Nombre de racks en stand-by 0
- Taux de conversion ≈ 45 % Total
- Production par racks 842 m<sup>3</sup>/h 121 284 m<sup>3</sup>/jour
- Débit d'alimentation par racks 1 870 m<sup>3</sup>/h 269 280 m<sup>3</sup>/jour
- Débit de rejet 1 029 m<sup>3</sup>/h 148 133 m<sup>3</sup>/jour
- Fluide Eau de mer
- Salinité 38 000 mg/l
- Nombre total de membranes 9 072
- Espace libre 10 %
- Caractéristiques des membranes :
- Configuration Spiralée
- Matériel Polyamide
- Matériel du tube Fibre de verre et époxy
- Dimensions D=20cm, longueur=100cm
- Pression maximale 70 bar
- pH d'opération 2 – 11
- Température maximale d'opération 45°
- Débit nominal 27,7 m<sup>3</sup>/jour

- Réjection de sel 99,6 %
- Variation de débit admissible  $\pm 10$  %



Figure IV.09 : Unité d'osmose inverse. (32)

#### IV.5.3.2- Configuration du système d'osmose inverse et taux de récupération :

La station d'osmose inverse nécessite seulement une (1) passe afin d'atteindre le taux de solides dissous requis. Le taux de récupération est estimé à 45 %.

La station d'osmose est dotée des équipements suivants :

- Six (6) pompes hautes pression, six (6) dispositifs de récupération d'énergie et six (6) pompes *Booster*.
- Six (6) trains d'osmose inverse 1ère passe;
- Un système de nettoyage et de *flushing*.

Dans les conditions nominales du fonctionnement, la production est assurée par les six (6) filières.

#### IV.5.3.3- Dimensionnement des pompes hautes pression :

Les pompes HP sont dimensionnées de façon à pouvoir fournir une pression de 67 bars requises par les membranes à 15 °C et pour une salinité de 38 000mg/l. (09)

##### Pompe à haute pression

- Nombre d'unités en opération 6
- Nombre d'unités en réserve 0
- Variateur de vitesse NON
- Fluide Eau de mer
- Densité 1 030 kg/m<sup>3</sup>
- Débit de perméat 842 m<sup>3</sup>/h

- Perte de *leakage* 19 m<sup>3</sup>/h
- Débit de pompe 860 m<sup>3</sup>/h
- Puissance du moteur adoptée 2000 kW

#### IV.5.3.4- Système de récupération d'énergie :

La récupération d'énergie de saumure produite pendant le procédé d'osmose se fait grâce à des échangeurs de pression.

#### Système de récupération d'énergie

- Nombre d'unités en service 6
- Nombre d'unités en *stand-by* 0



Figure IV.10 : Système de récupération d'énergie. (32)

#### IV.5.3.5- Procédure d'arrêt des filières (rinçage) :

La procédure suivante sera suivie pour arrêter une filière.

- **Inversion**

Aussitôt qu'une des filières d'osmose inverse s'arrête, le phénomène naturel d'osmose prend sa place. Ceci signifie que l'écoulement à travers les membranes est inversé et que l'eau traitée migre du côté du perméat vers le côté du concentrât.

Si le volume d'eau nécessaire à cette opération n'est pas disponible, les membranes pourraient être alors asséchées et endommagées.

Pour éviter le phénomène, il faudra évacuer les volumes de saumure à l'intérieur des tubes du système de *flushing* et de lavage.

- **Rinçage (*flushing*)**

Pour minimiser la corrosion des équipements (pompes, vannes, tuyaux) exposés à de l'eau salée stagnante et pour éviter les risques d'écrasement des membranes en présence de saumure stagnante, la saumure doit être évacuée des filières lorsqu'elles sont à l'arrêt. Ceci

est réalisé par le système de *flushing* et de lavage. Du perméat est pompé des réservoirs de *flushing* jusqu'à la filière d'osmose inverse.

- **Arrêt prolongé**

Pour des arrêts prolongés qui excèdent 2 à 3 semaines, il est recommandé de conditionner les membranes d'osmose inverse en les remplissant d'un biocide afin d'éviter la contamination et l'encrassement biologique.

- **Procédure de lavage des unités de RO**

Avec le temps, l'encrassement des membranes réduira le débit à travers celles-ci. Cet encrassement peut être causé par la présence de matière colloïdale, précipitation de fer, croissance biologique, etc.

Afin de bien contrôler cette situation et redonner les propriétés perdues aux membranes, elles doivent être nettoyées selon une cédule déterminée.

Peu importe la qualité de l'eau après prétraitement, un nettoyage périodique des membranes est requis pour redonner la performance maximale aux membranes. Le tableau suivant résume les différents types d'encrassement et leur effet sur la performance de l'unité d'osmose inverse.

**Tableau IV.02:** Causes et conséquences de différents types d'encrassement. (34)

<b>Types et conséquence</b>			
Type d'encrassement	débit	Passage des sels	Chute de pression
Caco3 autres sels	Faible baisse (<10%)	Augmentation de 10 à 25%	Augmentation lente A modéré 10à40%
Oxydes de métaux et silicates d'hydroxydes	Baisse rapide <24h Importante 20à40%	Augmentation rapide <24h Et importante :2fois Limite :<15%	Augmentation rapide <24h Importante : 2*Dpo Limite :<1.5bar
Coloïdes organiques et inorganiques	Baisse lent : semaine très importante 50%	Augmentation lente Jours Importante 2 fois Limite :<15%	Augmentation lente Jours/semaines Très importante 2à4 fois Limite :<105bar
Bio encrassement	Baisse rapide Et très importante : 50%	Variable	Augmentation rapide : <24h Importante : 2*Dpo Limite :< 1.5bar

Il n'est pas possible de déterminer, à priori, le type ou la fréquence de l'encrassement.

Trois (3) types de nettoyage sont généralement réalisés :

- nettoyage à l'acide à cause de l'encrassement avec des sels et des métaux;
- nettoyage aux détergents dans le cas d'encrassement par colloïdes et matières biologiques;
- nettoyage aux biocides dans le cas d'encrassement par bactéries, par levures ou par fungus.

De façon générale, il est recommandé d'effectuer un nettoyage préventif. Un nettoyage doit être entrepris lorsque :

- le débit du perméat a baissé de 10 à 15 % sous le débit nominal à pression normale;
- la pression différentielle entre la pression d'entrée et du concentrât augmente de 30 %;
- le passage de sels augmente de 10 à 15 %.

Les rejets résultant du nettoyage des membranes sont dirigés vers le réservoir de traitement des effluents pour neutralisation avant rejet. **(09)**

#### **IV.5.4- Le post-traitement (la reminéralisation):**

Le post-traitement est conçu pour rendre le perméat des unités d'osmose (une eau relativement agressive de faible salinité, de très faible dureté et d'alcalinité) moins agressive et plus approprié à la distribution dans le réseau municipal.

Le perméat d'osmose est traité (post-traitement) avant d'être distribué aux consommateurs. L'usine de Fouka est équipée de dispositifs de correction de la dureté et de l'alcalinité pour stabiliser la nature relativement agressive de l'eau dessalée produite et lui conférer un goût plus satisfaisant. Un dispositif additionnel de désinfection par chloration est également inclus pour prévenir tout risque de développements bactériens dans les réservoirs et les systèmes de distribution. **[4]**.

- Le système de reminéralisation se fait avec la chaux ( $\text{CaOH}_2$ ) et le  $\text{CO}_2$ .
- Une désinfection est réalisée avant distribution, un chlore résiduel de 0,5 mg/l est prévu au point de livraison.



**Figure IV.11 : Silos de la chaux. (32)**



**Figure IV.12 : CO<sub>2</sub> fabriqué sur site. (32)**

#### **IV.5.5- Station de pompage d'eau traitée :**

- le système de stockage d'eau est constitué d'un bac de stockage d'une capacité de 3 600 m<sup>3</sup> en béton armé.
- La station de pompage d'eau traitée permet de refouler l'eau commerciale jusqu'au point de livraison.
- Les six pompes (6 +1R) de la station de pompage fonctionnent avec un débit fixe et/ou variable afin de garantir les fluctuations de débit et de pression.



Figure IV-13 : Station de pompage d'eau traitée. (32)

Le tableau suivant résume les caractéristiques des pompes.

**Tableau IV.03: Résumé des caractéristiques des pompes. [4]**

Description	Ligne1
Nombre de pompes	6+1
Débit des pompes	833.3
Pression des pompes (bar)	24
Puissance élictriquemoteur (kw)	750

#### IV.5.6- Laboratoire :

Les équipements de laboratoire permettent la mesure des paramètres suivants :

- Calcium, Magnesium, Sodium, Potassium, Ammonium, Barium, Strontium, Aluminium, Fer et Manganèse;
- chlorures, sulfates, phosphate, nitrates, bicarbonate, carbonate, fluor, silice, bore et CO2 libre;
- fer total en ions et mg équivalent;
- pH;
- dureté totale, dureté calcique;
- alcalinité
- solides totaux dissous;
- coliformes totaux, coliformes fécaux, streptocoques;
- conductivité;
- indice de Langelier;

- *indexStiff Davis*;
- SDI (automatique et manuel);
- Turbidité.

**IV.5.7- Salle de contrôle :**

La salle de contrôle est munie de deux ordinateurs. L'opération de l'usine est suivie via un système SCADA installé dans les ordinateurs. L'opérateur a accès aux données d'opération telles que: l'état des équipements (ON-OFF-FAILURE) et des valeurs analogiques des différent éléments de l'usine. L'opérateur aura la possibilité de fonctionner/arrêter les pompes via les ordinateurs, [4].

**IV.6- Conclusion :**

Dans ce chapitre on a détaillé le fonctionnement normale de la station de dessalement d'eau de mer de Fouka afin faire un diagnostic des différentes étapes : prétraitement, unité d'osmose inverse, et poste traitement et relever tous les dysfonctionnements et en fin proposer des solutions pour pallier à ces problèmes.



# Chapitre V

## Etude des performances de la station de dessalement de Fouka



### **V.1- Introduction :**

Dans ce chapitre, on va étudier la performance de la station de dessalement d'eau de mer de Fouka et pour cela on doit faire un diagnostic des différentes étapes : prétraitement, unité d'osmose inverse, et poste traitement pour relever tous les dysfonctionnements, et on a pris aussi des prélèvements et analyser les échantillons : d'eau brute, d'eau douce produite et de saumure afin de s'assurer du bon fonctionnement des différentes phases de traitement.

Enfin on va exploiter les résultats des analyses pour mettre en évidence l'impact de la saumure et des autres rejets sur l'écosystème marin et proposer des solutions pour pallier à ces problèmes.

### **V.2- Diagnostic des ouvrages de la station :**

Pour conserver l'efficacité et la durée de vie d'une installation d'osmose inverse, un prétraitement est nécessaire. Les coûts de nettoyage et les temps d'arrêt sont des paramètres à prendre en compte dans la mise en œuvre des installations de dessalement. Pour réaliser un traitement fiable et ininterrompu de l'eau de mer alimentant les installations de dessalement, une approche particulière doit être utilisée et qui dépend beaucoup de la qualité de l'eau à traiter (l'origine, composition, etc...). Pour cela on va faire un diagnostic complet de la station suivant la chaîne de production d'eau afin de relever tous les problèmes rencontrés, les identifier et proposer des solutions à ces problèmes pour augmenter de durée de vie de l'installation.

#### **V.2.1- La suppression de la chloration :**

La station de dessalement d'eau de mer de Fouka n'utilise le chlore qu'une à deux fois par an comme un traitement de choc. Or, selon les instructions d'exploitation de l'usine, la préchloration doit se faire deux fois par jour avec une dose de 10ppm et un temps de contact de 30 minutes. Donc il y a presque une suppression de la chloration du prétraitement.

##### **V-2-1-1 Le rôle du chlore :**

D'une manière générale, le chlore est l'un des désinfectants les plus utilisés pour la désinfection de l'eau. Il peut être appliqué pour la désactivation de la plupart des organismes et micro-organismes vivants. Dans les processus industriels qui utilisent de l'eau de mer, le chlore (sous la forme d'hypochlorite) est injecté dans les circuits, afin de limiter la prolifération de ces organismes et micro-organismes.

##### **V.2.2.2- Les inconvénients de la suppression de la pré-chloration:**

La Pré chloration peut avoir plusieurs objectifs :

- l'élimination de la couleur, des odeurs et du goût ;

- l'élimination du fer et du manganèse en les transformant en hydroxydes insolubles ;
- L'oxydation des matières organiques dissoutes;
- Amélioration de la qualité microbiologique ;
- contrôle de la prolifération des algues,

La suppression du chlore à l'entrée de la station peut avoir comme conséquences :

- La formation de biofilm à la surface du filtre à sable car c'est le premier ouvrage qui reçoit l'eau de mer, qui contient divers micro-organismes, bactéries, protozoaires qui contribuent à la formation de ce biofilm en cas d'absence de la chloration.
- Le colmatage biologique dans les membranes ;
- La prolifération des algues qui va affecter la qualité de l'eau ;
- La chloration systématique de l'eau est un des procédés les plus utilisés pour protéger les circuits de l'usine des fixations de moules et d'autres encrassements d'origine biologique (FIQUET, 1977). Dans le cas où il n'y a pas la chloration, les différents ouvrages vont être colmatés par les moules ce qui diminue les diamètres des conduites de prise d'eau et augmente les pertes de charge, ce qui influe sur la quantité d'eau.

Cette chute de performance quantitative et qualitative va influencer sur toute l'usine et elle peut conduire à la fermeture de la station s'il aura un risque pour les membranes.

Les études sur la chloration de l'eau de mer ont montré que celle-ci ne pouvait être assimilée à celle des eaux douces. La différence provient de la présence de bromures dans l'eau de mer (65 mg/l pour une salinité de 35 mg/l) qui sont rapidement oxydés lors de la chloration en brome libre.

### **V.2.2- La suppression d'un bassin de coagulation-floculation :**

Les eaux de mer brutes peuvent connaître une forte variation de leur composition (matière organique, algues) en fonction de paramètres géographiques, saisonniers (température, luminosité), ou encore de la pollution locale (par exemple, aux hydrocarbures). Afin de limiter la vitesse d'encrassement et le colmatage des membranes d'osmose inverse, la chaîne de prétraitement doit être renforcée par des ouvrages de clarification (coagulation-floculation-Décantation).

Dans la station d'eau de mer de Fouka on a opté pour une filtration de contact, ce qui peut influencer négativement sur la performance de la station.

#### **V.2.2.1- Le rôle d'un bassin de coagulation-floculation :**

La coagulation et la floculation sont des traitements qui visent à optimiser l'élimination des particules en suspension par les procédés de décantation et de filtration. Ces traitements favorisent l'agrégation des particules colloïdales en larges et denses agrégats. Ils se déroulent

en deux étapes principales à savoir la déstabilisation des particules et la collision des particules déstabilisées pour former des agrégats volumineux. La déstabilisation et l'agrégation sont des phénomènes physicochimiques. La séparation par décantation et filtration mettent en jeu des phénomènes essentiellement physiques.

### **V.2.2.2- Les inconvénients de la suppression d'un bassin de coagulation-floculation :**

Dans la station de dessalement ils font injection du coagulant et du floculant lors de la prise d'eau c'est-à-dire à partir de la crépine des conduites de prise, ce qui implique qu'il n'y a pas vraiment un calcul de temps de contact des produits chimiques avec l'eau de mer car l'eau pompée arrive directement au filtre à sable sans passer par un bassin de coagulation et de floculation ce qui influe négativement sur la qualité des floques formées donc sur la qualité d'eau filtrée car si l'étape de coagulation, floculation n'était pas optimale, il aura des particules qui vont s'échapper même au filtre à sable et qui vont atteindre le filtre à cartouche et le colmater rapidement, et dans le cas d'une forte turbidité il aura un risque d'abord sur le filtre à sable qui va se colmater car il reçoit directement toutes les impuretés d'eau de mer sans aucun ouvrage en amont pour le protéger et dans ce cas on peut aller jusqu'à l'arrêt de la station pour protéger les ouvrages de l'installation.

### **V.2.3- La suppression d'ouvrage de décantation :**

La décantation est une technique de séparation des matières en suspension et des colloïdes rassemblés en floc, après l'étape de coagulation-floculation.

#### **V.2.3.1- Le Principe de la décantation:**

Lors de la décantation, les particules, dont la densité est supérieure à l'eau, vont avoir tendance à s'accumuler au fond du décanteur sous l'effet de la pesanteur. Les particules seront éliminées du fond du bassin périodiquement. L'eau clarifiée se situant à la surface du décanteur est ensuite redirigée vers le filtre à sable.

#### **V.2.3.2- Les inconvénients de la suppression du décanteur :**

Le bassin de décantation permet de réduire la turbidité d'eau de mer par l'élimination des flocs ainsi formés par l'étape de coagulation, floculation.

En absence du décanteur les flocs formés vont atteindre le filtre à sable ce qui favorise son colmatage et réduit ses performances.

Le renforcement du prétraitement est indispensable puisque la qualité d'eau de mer est variable et la turbidité peut atteindre des valeurs très importantes ; comme ça était le cas en Mai 2012 où la forte turbidité d'eau de mer a eu des conséquences néfastes sur les membranes et sur les performances de la station, d'une manière générale. Ce qui a conduit à l'arrêt total de la station.

### V.2.3- Les problèmes rencontrés dans la station:

On rencontre plusieurs problèmes dans le dessalement de l'eau de mer, les problèmes rencontrés au sein de la station de mer de Fouka sont:

#### V.2.3.1- La corrosion :

La corrosion est la dégradation d'une substance, en particulier un métal ou un alliage, provoquée par l'action chimique d'un liquide ou d'un gaz sur la substance. Le terme corrosion s'applique plus particulièrement à l'action graduelle d'agents naturels, tels que l'air ou l'eau salée sur les métaux.

Au niveau de la station de Fouka on observe la corrosion dans le système d'injection des produits chimique dans la prise d'eau, dans l'anti-bélier, dans les tuyaux d'eau filtrée et de rétro lavage des filtres, dans l'unité d'osmose inverse et dans les silos de stockage des produits chimiques, les premières causes de la corrosion sont les fuites et le climat humide de la région, seul les armoires électriques échappent à ce problème car ce sont des installations sensibles, qui se trouve dans des chambre isolées avec un système qui garde une température constante sur toute l'année ce qui est impossible de faire avec tous les ouvrages de la station.

Les principales conséquences de la corrosion sont :

- Rupture des conduites
- Augmentation de la rugosité
- Fuites d'eau
- Pollution de l'eau produite par des agents extérieurs.



Figure V.01 : Quelque signe de corrosion au sien de la station.

### V.2.3.2- Le colmatage des membranes d'osmose inverse:

Le colmatage est généralement le problème majeur des installations membranaires. En effet, il entraîne une perte des performances des membranes due au dépôt de substances à la surface, à l'entrée ou à l'intérieur des pores, un très large spectre d'espèces peut contribuer au colmatage, comme des macromolécules organiques, des substances organiques et inorganiques dissoutes, des particules colloïdales, des particules en suspension et des microorganismes.

Les dépôts qui sont à l'origine du colmatage (fouling) des surfaces d'échange peuvent être classés en trois catégories :

- les dépôts minéraux qui correspondent au phénomène d'entartrage.
- les dépôts organiques (colmatage microbiologique) tels que les matières en suspension, les acides humiques, les micro-organismes ainsi que les produits excrétés par les micro-organismes (polysaccharides).
- les dépôts colloïdaux (colmatage abiotique) tels que la silice et les hydroxydes de fer, de manganèse d'aluminium...

En général, un dépôt est constitué par un mélange de ces différents types auxquels il faut rajouter les produits de corrosion, ainsi que les précipités résultants des réactifs ajoutés (antitartres, floculant)...etc. Selon la possibilité d'enlèvement de ce dépôt on considère deux types de colmatage : le colmatage réversible et irréversible.

La partie du colmatage qui peut être enlevée par lavage est appelée « colmatage réversible ». Le colmatage qui correspond à la perte « définitive » d'une partie de la perméabilité est généralement appelé « colmatage irréversible ». A priori, ce type de colmatage est essentiellement dû à une forte adsorption de substances qui ont une grande affinité pour la membrane. À noter que le caractère réversible du colmatage est très relatif aux moyens qui sont mis en œuvre pour laver les membranes (le nettoyage des membranes).

#### V.2.3.2.1- L'entartrage :

L'entartrage est un dépôt de sels minéraux qui a tendance à se former sur les surfaces d'échanges. A cause des ions présents dans les eaux salines (calcium, magnésium, bicarbonates et sulfate). Ces dépôts sont constitués principalement par du carbonate de calcium ( $\text{CaCO}_3$ ) ; de l'hydroxyde de magnésium ( $\text{Mg}(\text{OH})_2$ ) et de sulfate de calcium ( $\text{CaSO}_4$ )...etc. Par la diversité de leurs origines, les dépôts de tarte ont des conséquences considérables sur le fonctionnement des installations de dessalement :

- Réduction de la section de passage ;

- Dégradation des états de surface ;
- Par leur très forte adhérence, les tartres mènent à une constance de débit; - Augmentation des pertes de charge pour un débit constant ;
- Obturation des conduites du fait de la diminution de son diamètre par les dépôts de tartre.

### V.2.3.2.2- Le colmatage abiotique et microbiologique :

Il existe deux principales catégories de colmatage : le colmatage microbiologique et le colmatage abiotique. Dans le cas d'un colmatage microbiologique, des microorganismes peuvent s'attacher, croître à la surface des membranes et produire suffisamment de substances polymériques extracellulaires pour faciliter le développement d'un biofilm à la surface des membranes. En plus des microorganismes il y a de nombreux éléments colmatant présents dans les eaux naturelles telles que les particules, les colloïdes, les substances organiques dissoutes et les substances inorganiques peu solubles. Ces agents colmatant sont associés au colmatage abiotique qui peut se manifester de deux façons : par le dépôt de matière à l'intérieur des pores de la membrane et par le dépôt de matière à sa surface.

- **Les conséquences du colmatage :**

Le colmatage des membranes de dessalement dans ces deux formes microbiologique et abiotique génère plusieurs modifications du fonctionnement du système :

- Le colmatage perturbe l'écoulement le long de la membrane de dessalement, engendre une augmentation de la couche de polarisation à la surface de la membrane. Cette couche de polarisation, zone où les composés retenus par la membrane s'accumulent, engendre une augmentation de la concentration et donc de la pression osmotique à la surface de la membrane et engendre donc une diminution de la pression efficace à la filtration, d'où une baisse de la production. L'augmentation de la couche de polarisation engendre aussi des concentrations en sels plus importantes au voisinage de la membrane de dessalement, et donc une augmentation du risque de précipitation des sels présents en sursaturation. Cela engendre soit une précipitation de sels, donc un colmatage plus rapide des membranes de dessalement, soit une surconsommation de réactifs mis en oeuvre pour éviter ou bien retarder cette précipitation.
- Le colmatage engendre aussi une augmentation de la perte de charge entre l'alimentation et le rejet de concentrât, perte de charge qui entraîne une diminution de la pression disponible pour la filtration, d'où une perte de production à pression constante. Au-delà d'une certaine valeur de perte de charge, la résistance des

matériaux constitutifs de l'élément membranaire étant dépassée, il peut y avoir des dommages mécaniques irréversibles de l'élément membranaire.

Dans le cas de la station de dessalement d'eau de mer de Fouka le colmatage des membranes en mois de Mai 2015 entraîne la séparation entre les membranes dans un même tube de pression ce qui est engendré par l'augmentation de la salinité d'eau produit. Ce problème induit a un arrêt d'une unité d'osmose inverse pendant une semaine pour le nettoyage et la réparation de ces fuites interne dans l'unité.

- **Facteurs influençant le colmatage des membranes :**

Il est important de bien connaître les facteurs influençant le colmatage afin de développer des stratégies visant à minimiser ce phénomène et ainsi réduire les coûts d'opération et augmenter la durée de vie des membranes. Ces facteurs sont :

- les caractéristiques de la membrane.
- les conditions d'opération du procédé membranaire : Ces conditions sont la vitesse de pénétration, le taux de récupération global, la vitesse d'écoulement tangentielle et la pression d'opération.
- les caractéristiques de l'eau à traiter : le colmatage est aussi dépendant de la nature de l'eau à traiter et de la concentration de ses principaux constituants. En général, plus une eau est chargée en particules et plus elle aura tendance à colmater les membranes.

Le pouvoir colmatant des particules en suspension d'une eau s'exprime en « Silt Density Index » (SDI).

### V.2.3.3- Problèmes dans le système de fabrication de CO<sub>2</sub> :

L'eau déminéralisée est une eau agressive qui doit être reminéralisée pour satisfaire aux critères de potabilité, A cette fin, l'usine est équipée d'un système de reminéralisations qui comprend une injection de CO<sub>2</sub> (gaz carbonique) produit in-situ à partir de gaz naturel. Le système de production le CO<sub>2</sub> consiste à brûler le gaz et de jouer sur l'état de ce gaz, premièrement il va passer dans un dispositif pour éliminer toutes les impuretés après dans un autre dispositif pour passer de l'état gazeux à l'état liquide et évacuer toute la vapeur d'eau après dans un autre dispositif qui va le transformer en liquide dense (forme de neige), dans le dernier dispositif et à cause de la différence de température à l'intérieur du bâtiment il y a une fuite d'eau utilisée pour le refroidissement et les tuyaux de ce dispositif sont congelés (couverts d'une couche épaisse de CO<sub>2</sub> en forme de neige car ce dernier se transforme en glace dès qu'il rencontre l'air) ce qui influence sur la performance du système et augmente la probabilité d'endommagement des tuyaux et par la suite l'arrêt du système.



Figure V.02 : La congélation des tuyaux



Figure V.03: Fuite dans le système de production de CO2

#### V.2.3.4- Problème du système d'eau de service :

Le système d'eau de service permet de ramener l'eau potable pour le mélange des produits chimiques (la chaux, l'hypochlorite de sodium, le bisulfite de sodium...etc.), la conduite qui doit ramener l'eau se situe à une profondeur de 1,5m ce qui provoque un problème de localisation de fuite et de réparation, et à cause de l'importance de ces produits dans le fonctionnement de la station : dans le prétraitement, l'osmose inverse et dans la désinfection d'eau potable, ils ont changé la profondeur de la conduite presque sur sol pour faciliter la recherche et la réparation en cas de fuite.



Figure V.04 : La nouvelle conduite d'eau de service.

### V.2.3.5- Problèmes des rejets de la station :

Tous les rejets de la station sont évacués vers un réservoir d'effluent, où on effectue l'ajustement du PH afin qu'il soit compatible avec l'eau de mer mais même avec l'ajustement du PH, la salinité et la composition chimique de l'effluent qui regroupe tous les rejets et les produits chimiques utilisés représentent un danger pour l'environnement marin de la région de Fouka.



Figure V.05 : Le réservoir de traitement des effluents.

### V.3- Etude de performance de la station de dessalement d'eau de mer de Fouka :

Pour pouvoir étudier la performance de l'importe quelle étape il faut faire une comparaison entre les analyse d'eau à l'entrée du l'ouvrage et à la sortie en comparant à chaque fois les valeurs mesuré à la norme donné par l'organisation mondial de la santé (OMS).

Les données des résultats des analyses du dessalement de l'eau de mer pendant 5 jour , ils sont effectués au niveau de laboratoire de la station de dessalement d'eau de mer de Fouka.

#### V.3.1- Définition et principe de meure des paramètres de qualité :

Avant de commencer l'étude on va définir chaque paramètre des paramètres utilisé dans les analyses d'eau.

- **La température :**

La température joue un rôle très important dans le traitement des eaux. Sa variation peut affecter les caractéristiques physico-chimiques de l'eau.

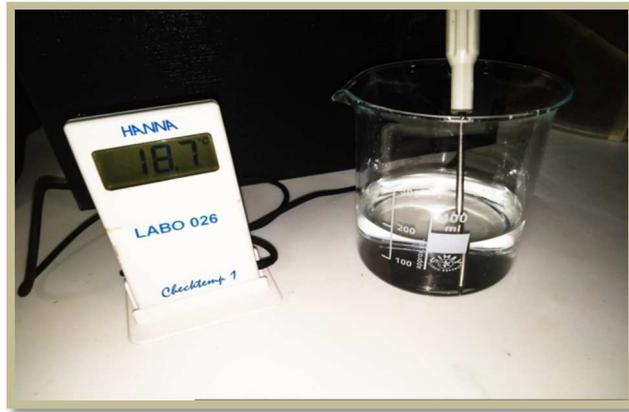


Figure V.06 : Le thermomètre

**Principe :**

La température est mesurée par un thermomètre digital (HANNA INSTRUMENT) et les valeurs obtenues sont estimées en  $^{\circ}\text{C}$ .

- **Le PH:**

Le pH correspond à la concentration d'ions hydrogène. Il mesure l'acidité ou la basicité d'une eau. Le pH interfère avec d'autres paramètres de la qualité dans les complexes réactions chimiques : dureté, alcalinité, turbidité, conductivité c'est pour ça c'est un paramètre très important donnant une idée sur l'équilibre de l'eau ainsi que sur la qualité de l'eau produite, il doit être étroitement surveillé aux cours de toute opération de dessalement.



Figure V.07 : Le pH mètre

**Principe :**

La mesure du potentiel chimique d'hydrogène consiste à plonger une électrode de PH reliée à un PH mètre dans un bécher contenant l'eau à analyser.

- **La conductivité:**

Elle mesure la capacité de l'eau à conduire le courant électrique. La conductivité permet d'apprécier le degré de minéralisation de l'eau dans la mesure où la plupart des matières

dissoutes dans l'eau se trouvent sous forme d'ions chargés électriquement. La conductivité varie proportionnellement avec les fluctuations de la température, elle s'exprime en  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

**Principe :** La mesure de la conductivité est effectuée grâce à deux électrodes de platine séparées l'une de l'autre de 1 cm, le tout est recouvert de noir de platine formant ainsi une cellule. Cette dernière est plongée dans le bêcher contenant l'eau à analyser.



**Figure V.08 : Le conductimètre**

- **Le TDS:**

Les solides dans l'eau se trouvent soit en solution ou en suspension, et se distinguent par le passage de l'échantillon de l'eau à travers un filtre de fibres de verre. Par définition, les matières en suspension sont retenues sur le dessus du filtre, et les solides dissous passent à travers le filtre avec de l'eau. Lorsque la partie filtrée de l'échantillon d'eau est placée dans une coupelle, puis évaporé, les solides dissous dans l'eau restent comme résidu dans la capsule d'évaporation. Cette matière est appelée matières totales dissoutes ou TDS.

**Principe :**

La conductivité est un paramètre qui a une relation directe avec la minéralisation elle-même en relation direct avec le TDS et la salinité de l'eau, alors elle peut entraîner selon le cas un gout salé, une accélération de la corrosion à des dépôts dans les canalisations.

$\text{TDS} = k * \text{Conductivité } (\mu\text{S}/\text{cm}) \text{ à } 25^\circ\text{C}$ .

Où le coefficient  $k$  dépend du type d'eau (permeat, eau de mer, concentrât) :

$K = 0.55$  pour du permeat.

$K = 0.70$  pour l'eau de mer.

$K = 0.75$  pour le concentrât.

- **La turbidité :**

La turbidité donne une idée sur la teneur en matière colloïdale d'origine organique ou minérale, liée à la transparence. Elle s'exprime en Nephometric Turbidity Unit, (NTU).



**Figure V.09 : Le turbidimètre**

### **Principe :**

Pour tout échantillon d'eau, la mesure de la lumière diffusée et de la lumière transmise permet la détection de matières non dissoutes.

- **Standard Density Index (SDI):**

C'est le pouvoir colmatant d'un liquide ou indice de colmatage, plus connu sous son abréviation de SDI, est considéré comme l'indicateur le plus classique dans le domaine de la filtration membranaire.

### **Principe :**

Détermination de l'encrassement d'une membrane de porosité 0,45  $\mu\text{m}$  et de 47 mm de diamètre par filtration de l'eau au travers de cette membrane à une pression de 2,1 bars. Filtration de l'eau en continue avec mesures à différents intervalles de temps et de volumes.

### **Mode de calcul :**

Le pouvoir encrassant est donné par la relation :

$$P (\%) = 100 \times (1 - t_0 / t)$$

Calculer P avec  $t = t_{15}$  :

Si  $P > 80 \%$  avec  $t = t_{15}$ , refaire le calcul avec  $t = t_{10}$ .

Si  $P > 80 \%$  avec  $t = t_{10}$ , refaire le calcul avec  $t = t_5$ .

L'indice de colmatage est donné par la relation :

$$IC = P (\%) / T$$

T = temps total de la mesure : 5, 10 ou 15 min selon le temps retenu.

### Valeurs repères:

<b>0 à 3</b>	Eau non colmatante peut être utilisée directement sans traitement spécifique
<b>3 à 6</b>	Eau peu colmatante nécessite l'utilisation d'un traitement physique: Préfiltres
<b>6 à 20</b>	Eau très colmatante Traitement d'eau plus poussé obligatoire.

- **Ion Calcium (Ca<sup>2+</sup>) :**

Le calcium est un élément principal dans le squelette (99%). Le calcium, élément essentiel de la dureté de l'eau, est un métal alcalino-terreux extrêmement répandu dans la nature et en particulier dans les roches calcaires sous forme de carbonates. Ses sels se rencontrent dans presque toutes les eaux naturelles.

-Concentration en calcium en mg /l = V x 8.016.

- Concentration en calcium en mg /l CaCO<sub>3</sub> = V x 20.04.

**Remarque :** en détermine le magnésium avec cette équation.

$$TH = Ca^{2+} + Mg^{2+} \rightarrow Mg^{2+} = TH - Ca^{2+} \text{ (mg /l)}$$

- **Le titre hydrotimétrique (TH):**

Il mesure la concentration en ions alcalino-terreux, le calcium et magnésium essentiellement, le titre hydrotimétrique de l'eau permet de quantifier une notion qualitative : la dureté de l'eau.

### Principe :

On fait agir en milieu neutre, pH= 6.7 ou 7, une solution à titrer de nitrate d'argent sur une prise d'essai connue de solution titrée de chlorure de sodium.

La réaction se fait en présence de chromate de potassium (indicateur colorée)

En premier lieu l'ions d'argent réagit avec l'ion chlorure pour former le précipite blanc « AgCl », ensuite ion argent réagit avec l'ion CrO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (chromate) pour former le précipite rouge brique Ag<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub> qui indique la fin de dosage.

### Calcul simplifié :

Concentration en chlorure en mg/l = (V- 0,2)x 7,0906.

Concentration en chlorure en mg /l CaCO<sub>3</sub> = (V- 0,2)x 10.

- **Le titre alcalimétrique complet (TAC):**

C'est la grandeur utilisée pour mesurer le taux d'hydroxydes, de carbonates et de bicarbonates d'une eau. Il exprime l'alcalinité totale de l'eau.

### Principe :

Les alcalino- terreux présents dans l'eau sont amenés à former un complexe du type chélate par le sel disodique de l'acide éthylène diaminotétracétique. La disparition des dernières traces d'éléments libres à doser est décelée par le virage d'un indicateur spécifique.

**Calcul simplifié :** TH en mg / l CaCO<sub>3</sub> = V x 20.

- **Le titre alcalimétrique (TAC) et (TA) :**

C'est la grandeur utilisée pour mesurer le taux d'hydroxydes, de carbonates et de bicarbonates d'une eau. Il exprime l'alcalinité totale de l'eau.

### Principe :

La première détermination sert à calculer le Titre Alcalimétrique (TA) la seconde à calculer le Titre Alcalimétrique Complet (TAC), ils sont basés sur la neutralisation d'un certain volume d'eau par un acide minérale dilué, en présence d'un indicateur coloré.

**Calcul simplifié :** T.A en mg/l CaCO<sub>3</sub> = V1 x 10.

T.A.C en mg / l CaCO<sub>3</sub> = V2x 10.

- **Indice de Langelier de saturation (LSI) :**

La méthode la plus simple pour le calcul de l'agressivité de l'eau est la « méthode de Langelier ». Il a établi un indice, appelé « **indice de saturation** ou **indice de Langelier** ».

L'eau est agressive si cet indice est négatif, elle est calcifiante si l'indice est positif et elle est à l'équilibre calcocarbonique si l'indice de saturation est nul.

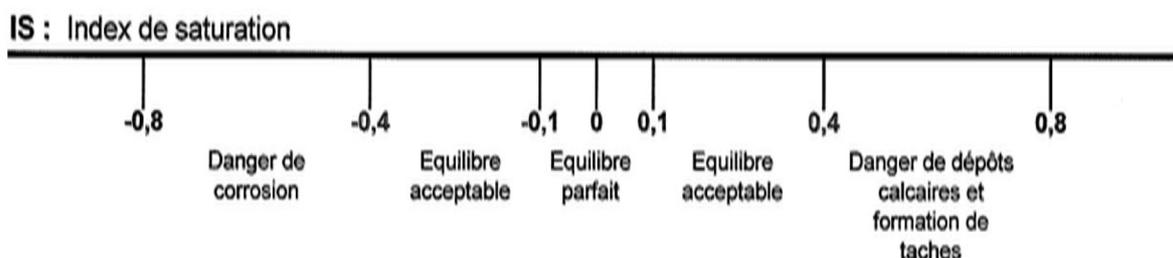
### Principe :

L'index de Langelier est un moyen puissant pour calculer la balance de l'eau et pour définir si une eau est corrosive ou incrustante.

Si IL > 0, l'eau est incrustante.

Si IL < 0, l'eau est considérée comme agressive et hautement irritante.

Une tolérance de ±0.4 est normalement acceptable.

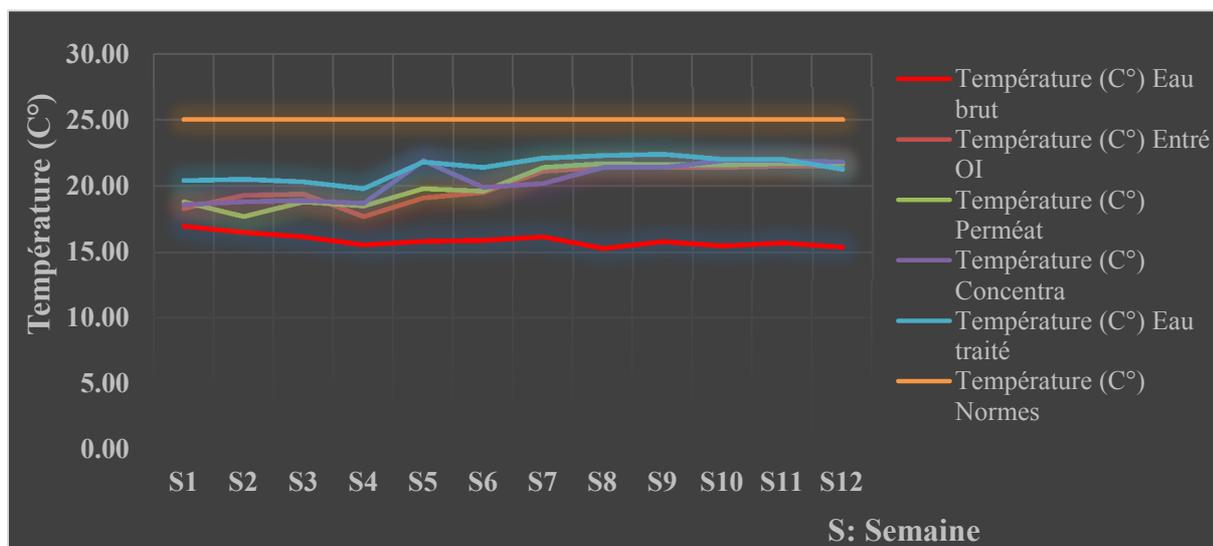


**V- 3 : Résultat des analyses physico-chimiques et leur discussion :**

**V. 3.1. Température :**

**Tableau V.01 : Résultats des analyses de la température**

Paramètre de prélèvement	Température (C°)				Normes
	Eau brut	Entré OI	Perméat	Eau traité	
S <sub>1</sub>	16,96	18,30	18,80	20,40	>25
S <sub>2</sub>	16,50	19,30	17,00	20,50	
S <sub>3</sub>	16,17	19,40	18,80	20,30	
S <sub>4</sub>	15,57	17,70	18,50	19,80	
S <sub>5</sub>	15,83	19,10	19,80	21,80	
S <sub>6</sub>	15,91	19,50	19,60	21,40	
S <sub>7</sub>	16,16	21,10	21,40	22,10	
S <sub>8</sub>	15,30	21,40	21,70	22,30	
S <sub>9</sub>	16,80	21,40	21,60	22,50	
S <sub>10</sub>	17,30	21,40	21,60	22,00	
S <sub>11</sub>	17,16	21,50	21,70	22,00	
S <sub>12</sub>	17,50	21,50	21,70	21,26	



**Figure V.10: Variation de la température en fonction de la période d’analyse**

**Discussion**

Pour ces températures on observe une légère variation (augmentation), en passant de l’eau de mer jusqu’à l’eau traitée et cela peut être expliqué par l’agitation des particules d’eau de processus du dessalement, mais cette augmentation reste toujours conforme à la norme de l’OMS.

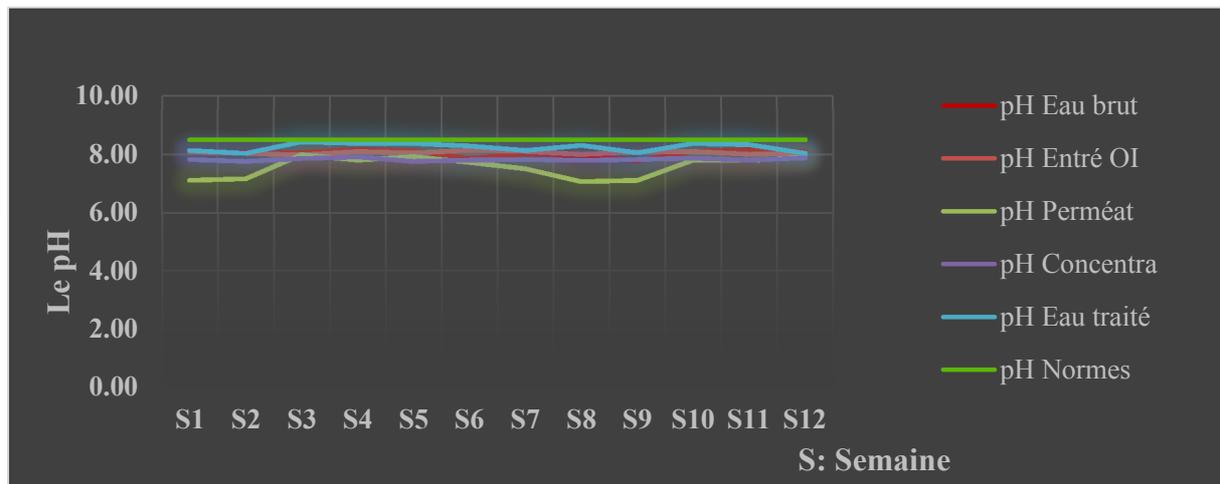
D'après la figure N°31, la température de l'eau brute (eau de mer) présente une variation allant de **15,30 C° à 17,50 C°**, et l'eau qui entrée à l'osmose inverse à une température varie entre **17,70C° et 21,50C°**, et pour la température de l'eau de perméat présent une variation allant de **17C° à 21,70 C°**, et l'eau traitée à une température qui varie entre **19,80C° à 22,50C°**.

- L'eau brute à une température variable selon la saison. Selon **Dégrement (2005)** ces variations, sont une conséquence directe du changement climatique d'une part et d'autre part pour la mer méditerranée.
- Dans notre étude la température relevée pour l'eau traitée répond aux normes(OMS), et légère hausse par apport à l'eau de perméat. Il est important de souligner que la température de l'eau à une influence sur les propriétés physiques, chimiques et microbiologiques, aussi toutes variation de la température de l'eau entraîne une modification de comportement des traitements physico-chimiques à s'avoir la chloration, la filtration et osmose inverse.

### V.3. 2. Le PH :

**Tableau V.02 : Résultats des analyses de Ph**

Paramètre de prélèvement	pH					Normes
	Eau brut	Entré OI	Perméat	Concentra	Eau traité	
S1	8,10	8,09	7,12	7,83	8,13	7 à 8,5
S2	8,05	8,04	7,17	7,76	8,04	
S3	8,07	7,98	7,99	7,86	8,43	
S4	8,17	8,10	7,80	7,91	8,37	
S5	8,11	8,05	7,93	7,76	8,38	
S6	7,87	8,15	7,73	7,81	8,29	
S7	8,01	8,10	7,51	7,83	8,13	
S8	7,97	8,00	7,07	7,79	8,31	
S9	7,78	8,09	7,12	7,83	8,06	
S10	8,10	8,10	7,80	7,87	8,38	
S11	8,17	8,00	7,79	7,80	8,33	
S12	8,10	8,04	7,90	7,88	8,04	



**Figure V.11: Variation de pH en fonction de la période d'analyse**

### Discussion

Le pH est un paramètre très important donnant une idée sur l'équilibre de l'eau ainsi que sur la qualité de l'eau produite, il doit être étroitement surveillé aux cours de toute opération de traitement.

Selon la **figure N°32**, nous remarquons que la variation des valeurs du pH se situe entre 7,78 à 8,17 pour l'eau brute. Dans le pH est légèrement basique.

Le pH de l'eau entrée osmose inverse reste presque dans les mêmes valeurs de pH de l'eau de mer (**7,18 à 8,17**), et cela peut être expliqué cette stabilité par l'absence d'une étape d'injection des produits chimiques de nature acide ( $FeCl_3$ ,  $Cl_2$ ,  $H_2SO_4$ ), qui abaisse le pH.

Après passage de cette eau de mer à travers les membranes d'osmose inverse, on a obtenu un perméat avec des valeurs allant de 7,12 à 7,99. Ce qui traduit une baisse de pH dû à la rétention des sels par la membrane.

D'après, **Zerluth et Gienger(2006)**, La valeur de pH de l'eau osmosée est très faible, et cela est dû, rappelant que le pH correspond à une concentration en ion  $H_3O^+$ .

Pour l'eau traité, nous remarquons que les valeurs de pH augmentent (8,04 à 8,43) par rapport à l'eau de perméat, cette augmentation du pH est due à l'ajout de la chaux et du  $CO_2$  lors de reminéralisation.

Toutes les valeurs mesurées pour l'eau traitée répondent aux normes (OMS) relatif à la qualité.

V.3. 3. La conductivité et la TDS :

V.3. 3.1. La conductivité :

Tableau V.03 : Résultats des analyses de la conductivité

Paramètre de prélèvement	Conductivité (µs/cm)				Normes
	Entré OI	Perméat	Concentra	Eau traité	
S1	54700	281	91200	754	2800µs/cm a 20C°
S2	55600	267	80300	761	
S3	56000	334	89100	742	
S4	56000	268	77000	736	
S5	55800	332	93700	755	
S6	55700	305	92500	701	
S7	56000	474	93000	616	
S8	55700	338	92200	579	
S9	54550	327	92200	427	
S10	56000	299	91500	697	
S11	55900	340	88500	760	
S12	54800	287	91000	680	

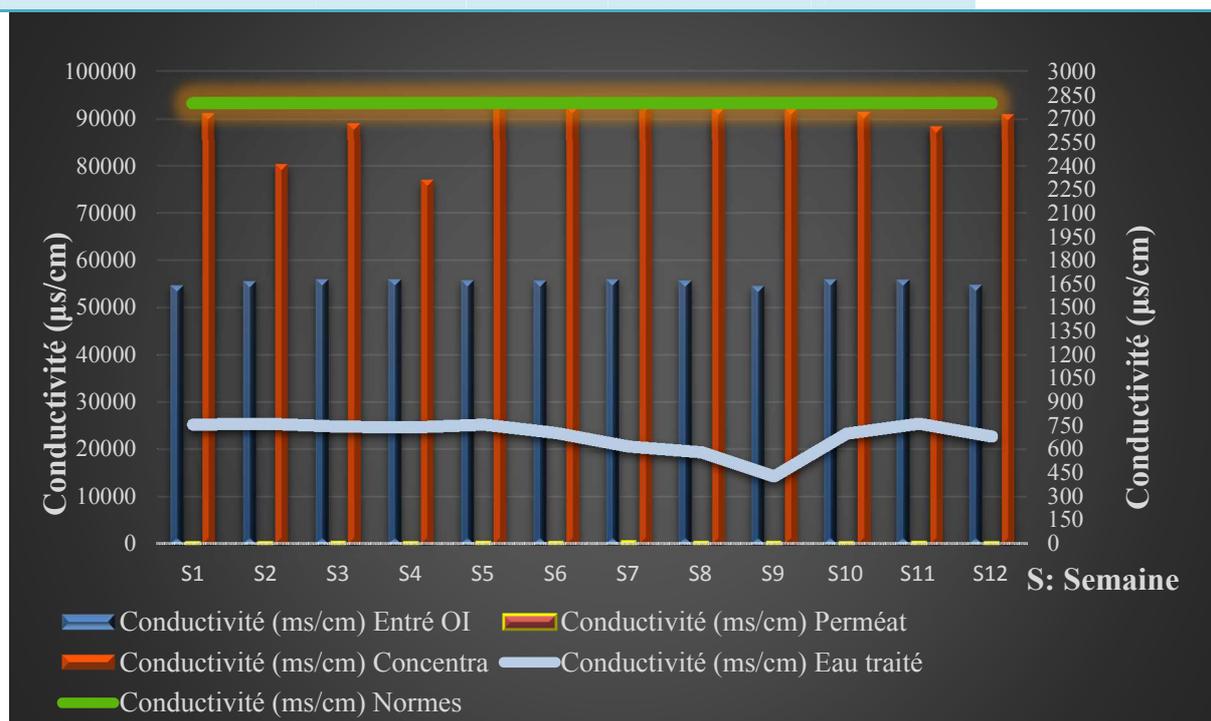


Figure V.12: Variation de la conductivité en fonction de la période d'analyse

V.3. 3.2. TDS :

Tableau V.04 : Résultats des analyses de TDS

paramètre de prélèvement	TDS (mg/l)				Norme
	Entrée OI (mg/l)	Eau perméat (mg/l)	Concentra (mg/l)	Eau traité (mg/l)	
S1	39380	154,55	65660	414,7	<b>150 à 500</b>
S2	40032	146,85	57816	418,55	
S3	40320	183,7	64152	402,1	
S4	40320	143,49	55440	404,8	
S5	40176	182,6	67460	415,25	
S6	40104	167,75	66600	385,55	
S7	40392	255	66960	385,55	
S8	40104	185,9	66384	318,45	
S9	39276	179,85	66384	234,85	
S10	40320	164,45	65880	383,35	
S11	40248	187	63720	418	
S12	39456	157,85	65520	374	

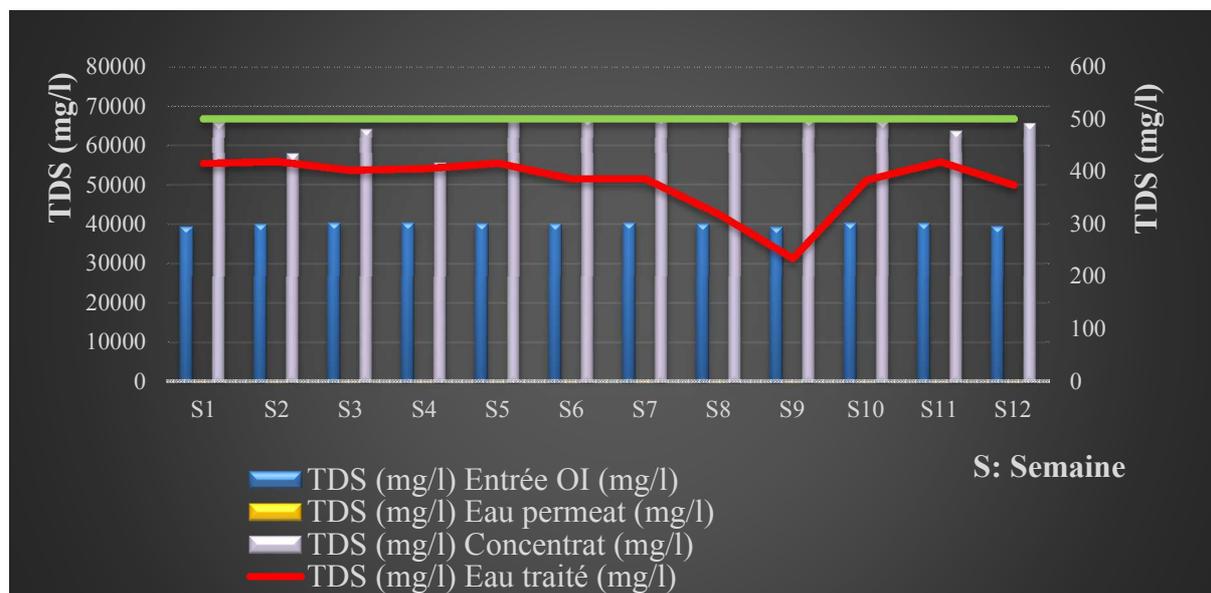


Figure V.13 : Variation de TDS en fonction de la période d'analyse

Discussion

La conductivité est un paramètre qui a une relation avec le TDS de l'eau. Il est tout à fait normal que les valeurs de la conductivité et le TDS de l'eau brute soient supérieures vu la teneur élevée de sel.

Selon **Rodier et al. (2005)**, une eau de minéralisation élevée possède une conductivité supérieure à 1000  $\mu\text{s}/\text{cm}$ .

Une eau de mer est une eau très minéralisée dû à la présence d'une quantité trop importante des sels d'où l'impossibilité de consommer cette eau.

Le passage de cette eau de mer par l'unité d'osmose inverse, permet l'élimination de plus de 97% des sels.

Donc la conductivité et le TDS, vont aussi considérablement diminuer initialement l'eau brute, avait une conductivité de 54550 à 56000  $\mu\text{s}/\text{cm}$ , et un TDS entre 39276 à 40392 mg/l.

La membrane d'osmose inverse qui a retenu les sels a permis de ramener la conductivité à des valeurs inférieure à 475  $\mu\text{s}/\text{cm}$ , et un TDS inférieure à 260mg/l, ce qui est traduit une eau à faible minéralisation, et ce qui est permet aussi de souligner la performance des membranes concernant l'élimination des sels.

Nous remarquons que la conductivité et le TDS sont plus élevées dans le concentra, ce qui est sont du probablement à la rétention des différents sels par les membranes d'osmose inverse, ce qui influe directement sur la conductivité et la minéralisation de ces effluents.

Les résultats des analyses de l'eau traitée, montre une variation entre 427 et 761  $\mu\text{s}/\text{cm}$ , et pour la quantité totale des sels minéraux dissous, montrant une variation entre 234,85 et 418,55mg/l.

Aussi, nous observons une augmentation lors du processus de reminéralisation. Il est à souligné que l'eau osmosée ne possède pas toutes les qualités requissent, pour être une eau potable.

Donc, elle doit subir des étroitement complémentaires (chaux et  $\text{CO}_2$ ), qui consistent à augmenter la conductivité, TDS jusqu'au niveau les rendant conformes aux normes (OMS).

V.3.4. La turbidité :

Tableau V.05: Résultats des analyses de la turbidité

paramètre de prélèvement	Turbidité (NTU)					Normes
	Eau brut	Entré OI	Perméat	Concentra	Eau traité	
S <sub>1</sub>	0,61	0,14	0,12	0,22	0,30	≈0
S <sub>2</sub>	0,42	0,14	0,13	0,11	0,30	
S <sub>3</sub>	0,33	0,11	0,11	0,28	0,49	
S <sub>4</sub>	0,37	0,17	0,14	0,23	0,33	
S <sub>5</sub>	0,55	0,13	0,13	0,22	0,24	
S <sub>6</sub>	0,42	0,12	0,10	0,19	0,42	
S <sub>7</sub>	0,42	0,15	0,12	0,10	0,24	
S <sub>8</sub>	0,70	0,11	0,14	0,23	0,23	
S <sub>9</sub>	0,42	0,13	0,08	0,10	0,33	
S <sub>10</sub>	0,33	0,11	0,10	0,19	0,24	
S <sub>11</sub>	0,40	0,11	0,11	0,20	0,40	
S <sub>12</sub>	0,33	0,14	0,12	0,11	0,42	

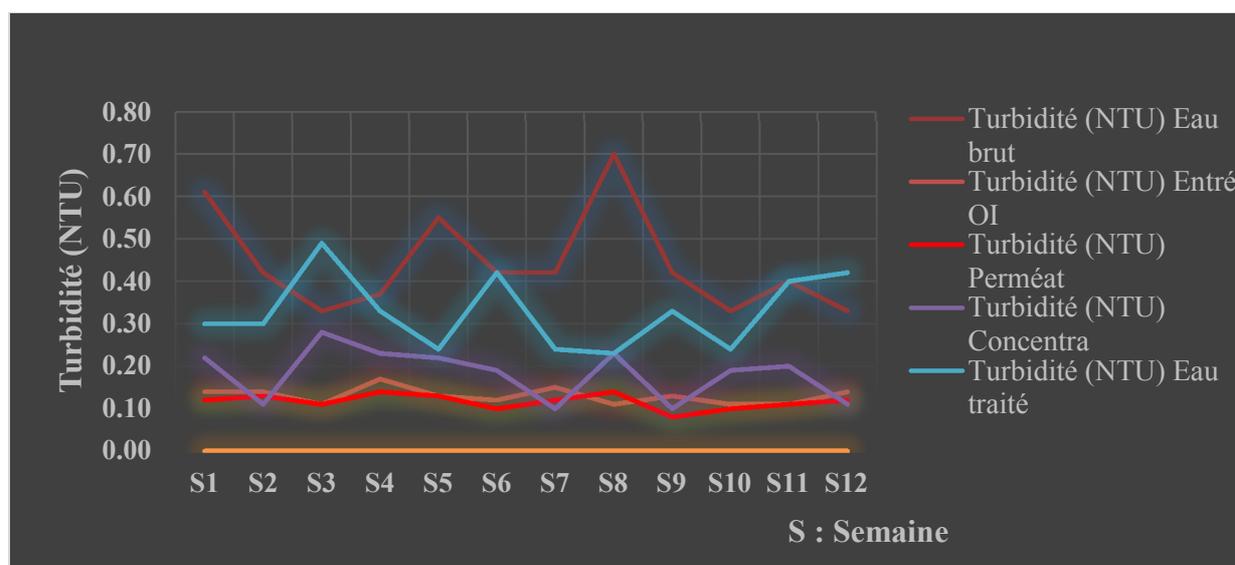


Figure V.14: Variation de la turbidité en fonction de la période d'analyse

Discussion

Selon **Rodier(2005)**, la turbidité est liée au contenu en matières solides non dissout dans l'eau. C'est à due la turbidité donne une idée sur la quantité des particules colloïdales et la matière en suspension.

D'après les résultats d'analyses, nous remarquons que les valeurs de la turbidité de l'eau brute est variée de 0,32 NTU à 0,55 NTU, à une exception, la turbidité de l'échantillon de la

S5, qui a atteint la valeur de 2,9 NTU. En raison de mouvement de la mer et au changement climatique, qui transportent une grande quantité de la matière en suspension (MES).

Pour assurer la protection des membranes contre le colmatage, une valeur de turbidité inférieure à 1 NTU, est obligatoire et doit être respecté.

Dans notre analyse, nous observons que les valeurs de la turbidité de l'eau brute sont faible. Ceci est due à la prise de l'eau brute qui se trouve à 845 m de la station, et a une profondeur de 10m.

Le passage de l'eau brute par les différents étapes de prétraitement (injection du coagulant, filtration sur filtre à cartouche) a permis de ramener la turbidité à des valeurs inférieures à 0,17 NTU, et donc il y a respect de la valeur de turbidité obligatoire avant le passage de l'eau à l'unité d'osmose inverse.

Les résultats d'analyses de concentra (l'eau de rejet), sont plus ou moins identiques, à ceux de l'eau de mer dans l'intervalle 0,1 NTU à 0,57 NTU, sa turbidité est très importante, qu'on peut interpréter par la présence de MES, des microorganismes échappés, des micro-filtres retenus par les osmoseurs et ceux qui ont proliférés et multipliés sur les membranes d'OI.

Pour ce qui est de la turbidité de l'eau traité, nous remarquons une certaine stabilité de la turbidité.

Les valeurs mesurées tournent autour de 0,23 NTU à 0,49 NTU. Avec le prétraitement, il y aura sûrement une diminution de la turbidité, mais avec l'ajout de lait de chaux, la turbidité aura tendance à augmenter légèrement, car si le pH augmente la solubilité des sels diminue.

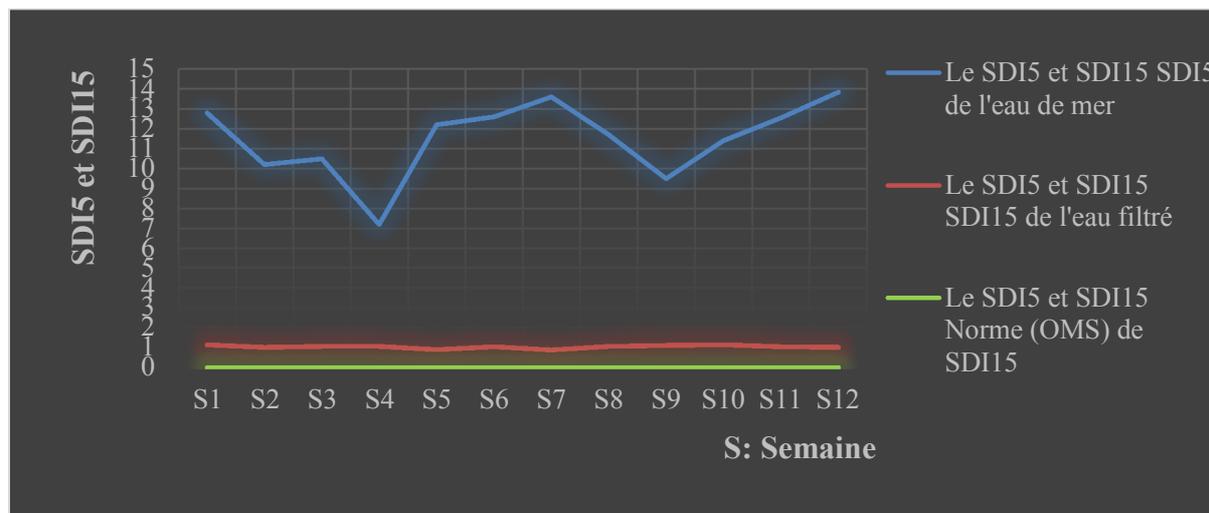
En somme, toutes les valeurs indiquent une eau de bonne qualité, puisqu'elles répondent aux normes (OMS).

### V.3.5. Le SDI<sub>5</sub> et SDI<sub>15</sub> :

**Tableau V.06 : Résultats des analyses de SDI**

Le SDI <sub>5</sub> et SDI <sub>15</sub>				
paramètre prélèvement	de	SDI <sub>5</sub> de l'eau de mer	SDI <sub>15</sub> de l'eau filtré	de Norme (OMS) de SDI <sub>15</sub>
S1		12,8	1,14	< 3
S2		10,2	1,02	
S3		10,5	1,07	
S4		7,2	1,07	

S5	12,2	0,91
S6	12,6	1,04
S7	13,6	0,88
S8	11,7	1,07
S9	9,5	1,11
S10	11,41	1,14
S11	12,55	1,04
S12	13,84	1,01



**Figure V.15: Variation de la dureté en fonction de la période d'analyse**

### Discussion

Le SDI est appliqué comme paramètre pour déterminer le potentiel d'encrassement de l'eau brute.

Il y a une relation entre la turbidité et le SDI<sub>5</sub>, le calcul du SDI d'eau de mer permet de choisir et de déterminer le mode de prétraitement (injection coagulant, floculant, filtration sur filtre à sable et filtre à cartouche) et le SDI<sub>15</sub> est déterminé pour l'eau filtrée afin d'établir un suivi des performances des prétraitements adaptés.

Les résultats des analyses d'eau de mer ont établi que les variations de SDI<sub>5</sub> allant de 7,22 à 13,84, liées à la variation de la qualité d'eau brute.

Le SDI<sub>5</sub> le plus élevé est obtenu pour la S<sub>5</sub>, date qui correspond également à la turbidité la plus élevée.

Les prétraitements de cette station de dessalement ont permis de ramener le SDI<sub>15</sub> à une valeur inférieure à 3, exigée pour assurer la protection des membranes contre l'encrassement.

rapide, étant donné que toutes les valeurs sont inférieures à ce seuil, donc cela traduit aussi les performances des prétraitements.

### V.3.6. La dureté calcique $\text{Ca}^{2+}$

Tableau V.07 : Résultats des analyses de la dureté calcique

paramètre de prélèvement	$\text{Ca}^{2+}$ (mg/l $\text{CaCO}_3$ )			Norme(OMS)
	Entrée OI (mg/l $\text{CaCO}_3$ )	Eau perméat (mg/l $\text{CaCO}_3$ )	Eau traité (mg/l $\text{CaCO}_3$ )	
S1	1202,4	0	56,1	75
S2	1102,2	6,012	53,35	
S3	1202,4	2,004	54,1	
S4	801,6	2,004	52,1	
S5	901,8	7,014	58,12	
S6	1102,2	4,008	52,1	
S7	1102,2	4,008	52,1	
S8	1102,4	0	46,09	
S9	901,8	2,004	58,11	
S10	1104,8	6,012	56,11	
S11	1200,2	7,014	54,1	
S12	1202,4	4,008	58,1	

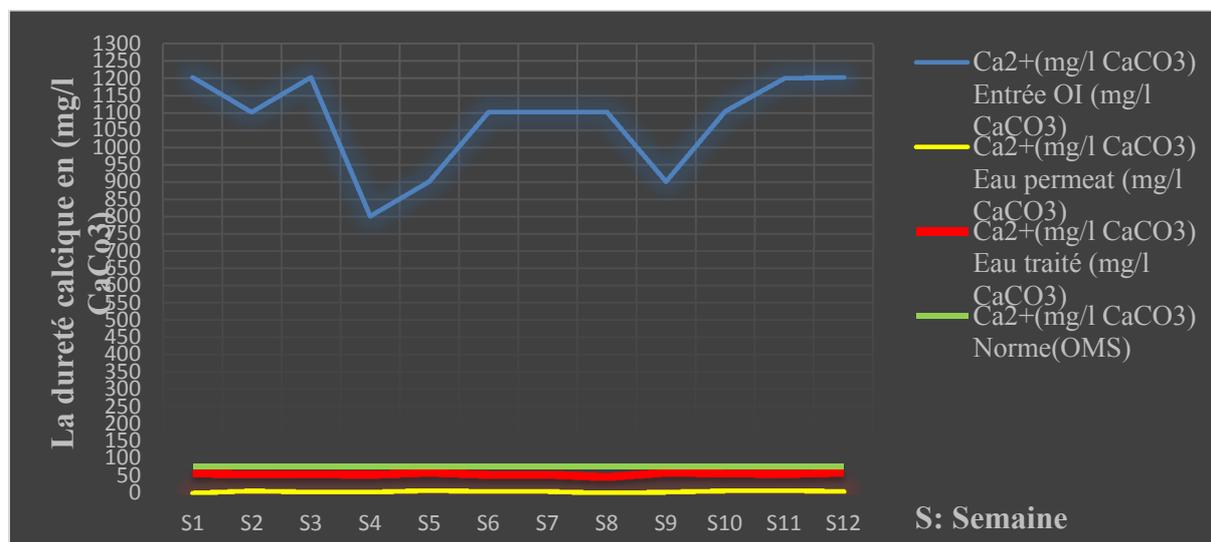


Figure V.16: Variation de la dureté calcique en fonction de la semaine

### Discussion

Selon le graphe bleu, l'eau entrée d'osmose inverse à une concentration en  $\text{Ca}^{2+}$  qui varie de 901,8 à 1202,4 mg/l  $\text{CaCO}_3$ , cela signifie que cette eau est trop dure.

Après le passage de cette eau à travers les membranes d'OI, on a obtenu des valeurs qui évoluent dans un intervalle de 2 à 7,018 mg/l CaCO<sub>3</sub>, cela traduit que les membranes d'OI ont atteint une performance d'élimination de 99,9% de Ca<sup>2+</sup> d'une part et d'une autre part une eau pauvre en calcium, qui risque de causer des maladies chez les consommateurs.

Donc il est nécessaire d'augmenter cette valeur pour respecter les normes. Est pour cela on passe l'eau de perméat par une étape de reminéralisation avec l'ajoute de la chaux qui est donne des valeurs convenable de calcium allant de 46,09 à 58,116 mg/l CaCO<sub>3</sub>.

Selon **Zerluth et Gienger (2006)**, dite que une eau de bonne qualité en terme de minéralisation globale, les concentrations en calcium allant de 100 à 200 mg/l CaCO<sub>3</sub>.

Ce qui n'est pas obtenu dans nos analyses de l'eau traitée, qui se voient pauvre en se reportant à la norme. Cela confirme encore le non équilibre de l'eau reminéralisé par la chaux.

### V.3.7. Le titre hydrométrique (TH) :

**Tableau V.08 : Résultats des analyses de la dureté totale**

paramètre de prélèvement	TH (mg/L CaCO <sub>3</sub> )			Normes(OMS)
	Entré OI	Perméat	Eau traité	
<b>S1</b>	7000	10	93	<b>100</b>
<b>S2</b>	7000	14	89	
<b>S3</b>	3750	12	92	
<b>S4</b>	6600	12	92	
<b>S5</b>	6600	10	88	
<b>S6</b>	6700	10	94	
<b>S7</b>	7200	12	76	
<b>S8</b>	7000	8	92	
<b>S9</b>	6400	14	82	
<b>S10</b>	6750	10	89	
<b>S11</b>	6600	12	77	
<b>S12</b>	7000	14	87	

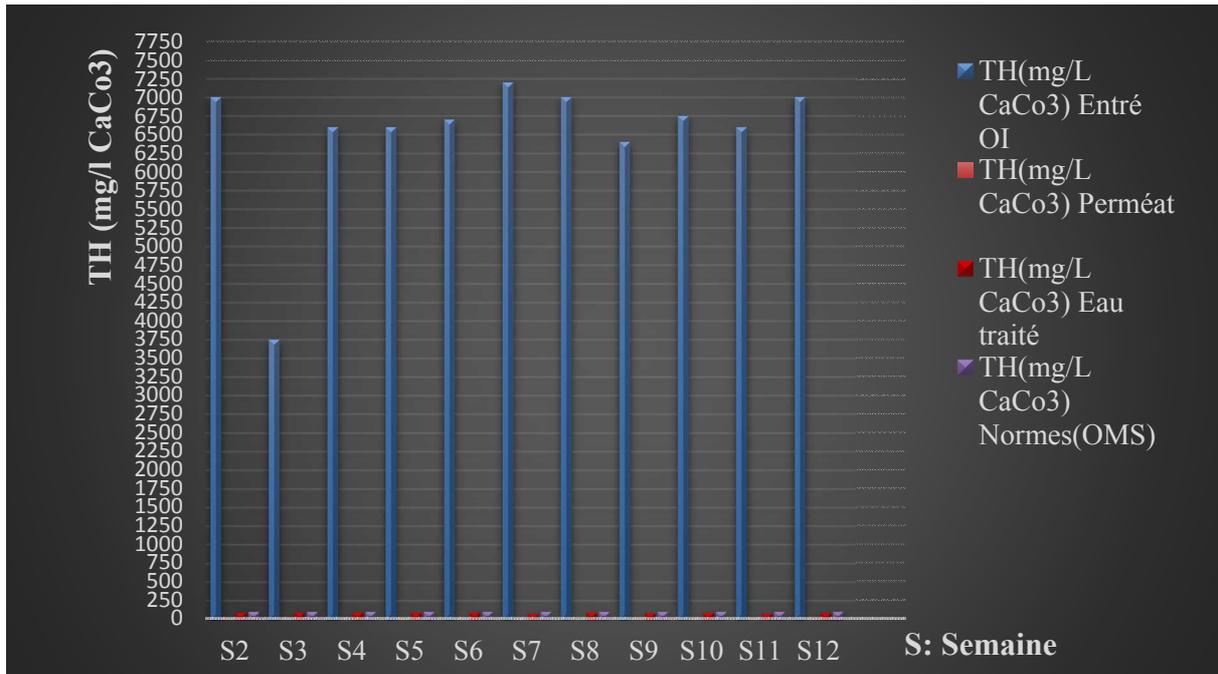


Figure V.17 : Variation de la dureté en fonction de la période d'analyse

### Discussion

Selon la **Figure N° 38**, la dureté totale de l'eau de mer présente des valeurs élevées allant de 3750 à 7200 mg/l CaCO<sub>3</sub>, qui se traduit par la présence des cations (magnésium, calcium).

D'après **Michel et Roger. (1999)**, les deux cations qui sont le magnésium et le calcium, sont très répandus dans l'eau de mer avec une prédominance pour les ions magnésium. La valeur élevée de TH dans l'eau de mer s'explique par sa correspondance à la présence des sels de calcium et magnésium.

Les résultats d'analyses montrent que la dureté de l'eau de perméat présente une variation allant de 8 à 14 mg/l CaCO<sub>3</sub>, cette dureté traduit une eau très douce qui risque de causer des problèmes de corrosion dans les réseaux de distribution d'eau potable, si elle est distribuée telle quelle est, cette eau ne peut pas former une couche protectrice de tartre, car cette couche se forme à TH ≤ 100.

Le passage de cette eau par la reminéralisation, permet d'obtenir une eau traitée avec des valeurs de calcium allant de 76 à 94 mg/l CaCO<sub>3</sub>.

V.3. 8. Les chlorures :

Tableau V.09 : Résultats des analyses des chlorures

paramètre de prélèvement	Cl-(mg/l)			Norme(OMS)
	Entrée OI (mg/l)	Eau permeal (mg/l)	Eau traité (mg/l)	
S1	21545,13	97,14	239,66	<b>200-600</b>
S2	21400,61	106,35	293,66	
S3	21002,16	99,26	247,46	
S4	20900,66	101,39	249,58	
S5	21700,95	101,39	251	
S6	21030,47	93,59	227,6	
S7	20908,68	125	207,75	
S8	21697,85	109,904	182,93	
S9	20988,18	133	130,11	
S10	21839,05	168	210,23	
S11	21530,5	134	205,14	
S12	20554,18	120,35	198,2	

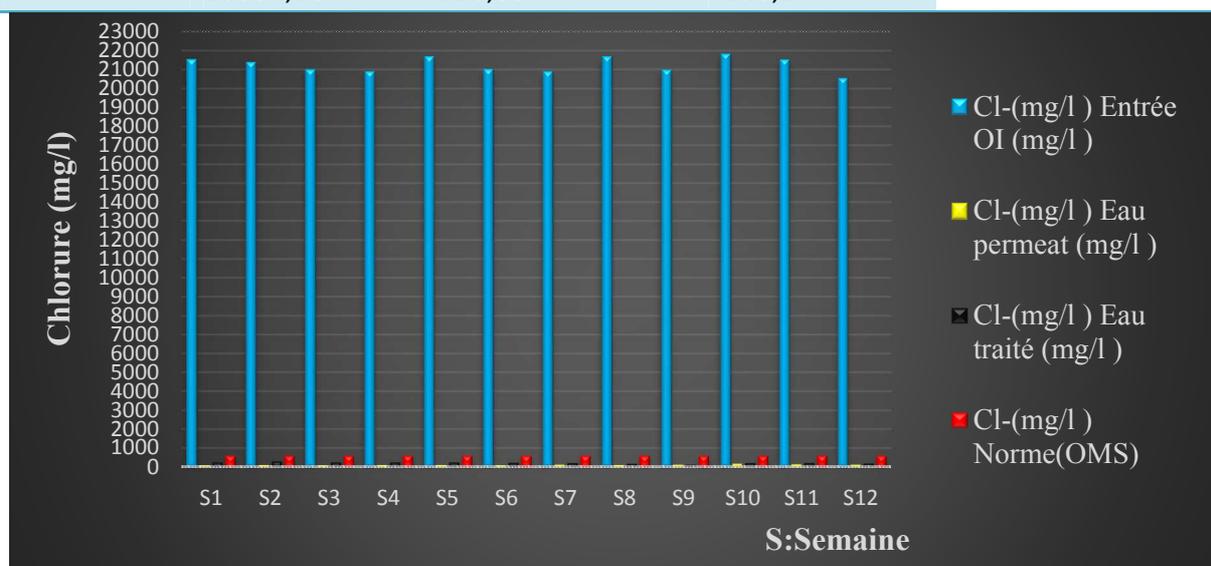


Figure V.18 : Variation de la dureté en fonction de la période d'analyse

Discussion

Les chlorures font parties des sels le plus important rentrant dans la composition chimique de l'eau de mer, cet ion est responsable du gout salé dans cette eau.

D'après le graphe d'eau de mer, nous remarquons que la concentration en chlorure est élevée, allant de 20900,66 à 21839,05 mg/l. tant que cet ion est liée aux cations majeurs

(calcium, magnésium et sodium), ces derniers combinés sont eux qui confèrent à l'eau de mer sa salinité.

Après le passage de cette eau à travers les membranes d'OI, le perméat obtenu à des concentrations en  $\text{Cl}^-$  inférieure à 168mg/l.

La très faible présence de chlorure dans l'eau osmosé est favorisée par la performance des membranes d'OI.

D'après les résultats d'analyses, nous remarquons que la concentration en chlorure d'eau du perméat varie de 93,59 à 168mg/l. à partir de la 1<sup>ère</sup> analyse jusqu'à la 6<sup>ème</sup> analyse, les variations son pratiquement stable entre 93,59 à 101,39mg/l. Mais après la 6<sup>ème</sup> analyse, les concentrations augmente jusqu'à 168mg/l, ce qui traduit un début de polarisation des membranes d'OI ;

Le passage de cette eau par le post de reminéralisation permet d'obtenir une eau traitée avec de chlorure allant de 130,11 à 251mg/l. Ces résultats qui respectent la norme (OMS). Sauf pour le 2<sup>ème</sup> et 5<sup>ème</sup> analyse qui dépassent 250mg/l en chlorure peuvent procurer à l'eau une saveur désagréable et en entrainer un problème de corrosion dans le réseau de distribution.

### V.3.9. TAC :

**Tableau V.10 : Résultats des analyses de l'alcalinité**

paramètre de prélèvement	TAC (mg/l $\text{CaCO}_3$ )				Norme
	Entrée OI (mg/l $\text{CaCO}_3$ )	Eau perméat (mg/l $\text{CaCO}_3$ )	Concentra (mg/l $\text{CaCO}_3$ )	Eau traité (mg/l $\text{CaCO}_3$ )	
S1	600	5	800	57	> 60
S2	650	5	800	55	
S3	800	5	900	59	
S4	1000	6,5	900	55	
S5	900	6,5	900	56	
S6	550	4	900	58	
S7	800	5	1000	57	
S8	700	4,5	750	58	
S9	1000	6	1000	62	
S10	900	6,5	850	56	
S11	850	5,5	950	58	
S12	750	4,5	800	56	

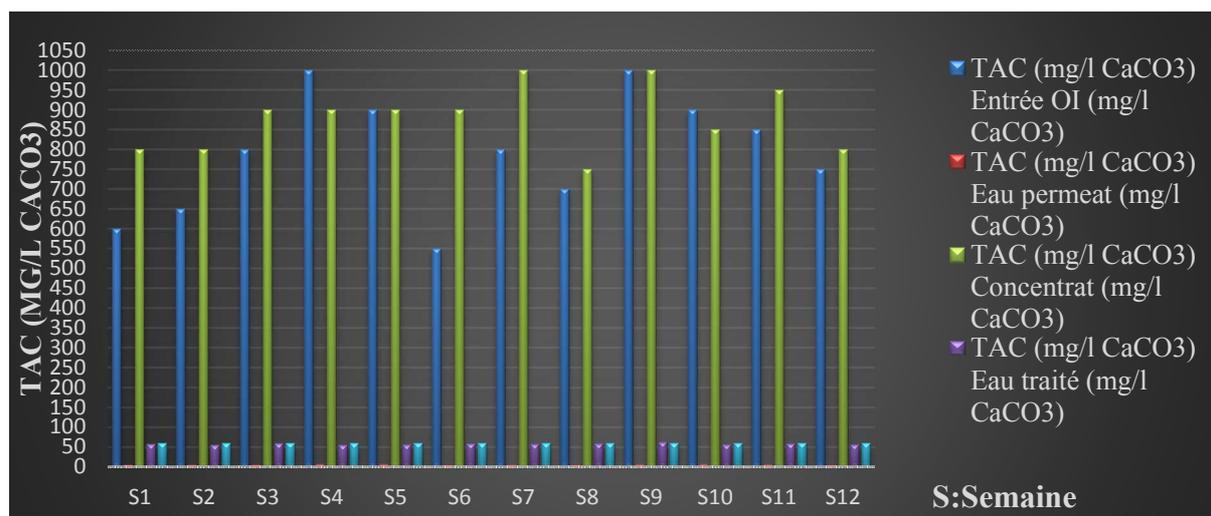


Figure V.19 : Variation de TAC en fonction de la période d'analyse

### Discussion

D'après la figure N°40, nous observons une forte alcalinité de l'eau entrée osmose inverse, allant de 550 à 1000 mg/l CaCO<sub>3</sub> qui est caractérisé par la présence d'une forte teneur des ions de bicarbonates, carbonates et hydroxydes.

Selon les résultats d'analyses de l'alcalinité de l'eau de perméat, nous remarquons une variation allant de 4 à 6,5 mg/lCaCO<sub>3</sub>, cette alcalinité traduit une eau agressive qui provoquera la corrosion des canalisations de distribution d'eau potable, ce qui explique le passage de cette eau par le poste de re- minéralisation (ajout de chaux et de CO<sub>2</sub>), a donné des valeurs de TAC de l'eau traitée allant de 55 à 62mg/lCaCO<sub>3</sub>.

Donc l'eau reminéralisée présente un TAC faible par rapport a une norme qui exige un minimum de 60 mg/l CaCO<sub>3</sub>, car les eaux douces doivent être reminéralisées de manière à leur conférer un pouvoir tampon évitant les variations brutales de pH d'une part et d'une autre part elles doivent permettre la formation de la couche protectrice vis-à-vis de la corrosion des canalisations de fer pour cela le TAC doit être >60mg/l CaCO<sub>3</sub>.

Mais selon l'industrie ces valeurs restent dans la limite fixée par le contrat d'achat.

• Comparaison entre l'eau traitée et la norme :

Tableau V.16 : La comparaison de l'eau traitée à la norme.

Paramètre	Unité	L'eau traitée	La norme
Température	C°	21.34	25
Ph		8.24	8.5
Conductivité	µs/cm	684	800
Turbidité	NTU	0.32	1
Ca <sup>2+</sup>	mg/l CaCO <sub>3</sub>	54.20	200
TH	mg/l CaCO <sub>3</sub>	87.58	100
Cl <sup>-</sup>	mg/l CaCO <sub>3</sub>	220.27	200
TAC	mg/l CaCO <sub>3</sub>	57.25	60
TDS	mg/l	379.59	1000

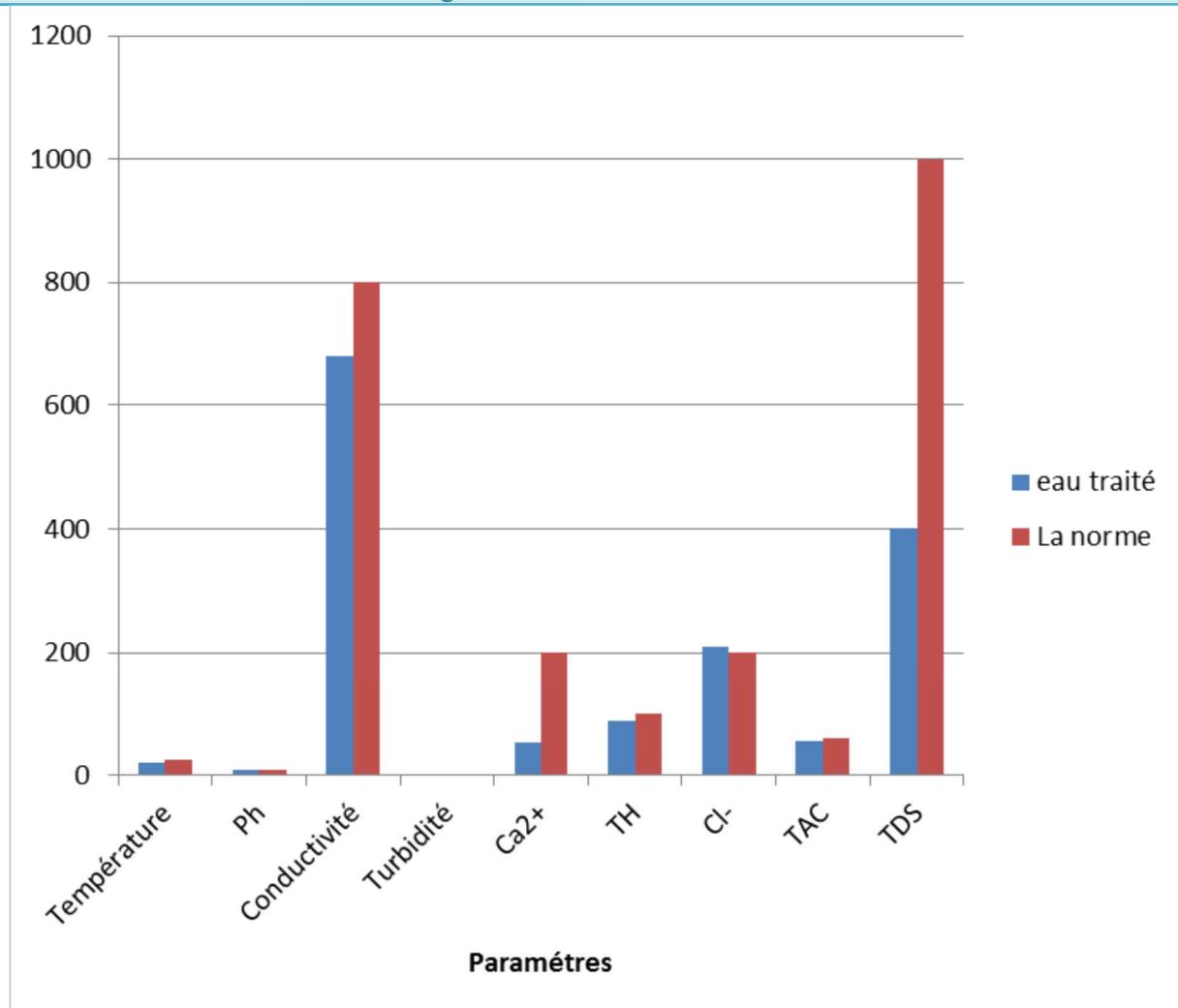


Figure V.20 : La comparaison de l'eau traitée à la norme.

### **V.4. Conclusion:**

Dans ce chapitre on a relevé tous les dysfonctionnements au sein de la station de dessalement de Fouka ainsi on a étudié la performance du prétraitement et du traitement par l'évolution des paramètres pendant 03 mois (juillet, Aout, septembre) en comparant ces valeurs à la norme fixée par l'OMS et enfin on a comparé l'eau traitée à la norme pour vérifier sa conformité aux normes de potabilité.



# Chapitre VI

## Impact environnementale du dessalement



**VI-1 : INTRODUCTION :**

Le dessalement de l'eau de mer constitue une solution compétitive pour pallier à la rareté de cette ressource. Les techniques de dessalement ont connus une amélioration continue permettant pour atteindre des coûts raisonnables et des débits plus importants. La maîtrise de l'énergie est un paramètre important dans le rendement de l'installation par la récupération de l'énergie et l'utilisation des formes d'énergie disponibles, non polluantes et très économiques comme le solaire thermique **(08)**.

Les paramètres évalués pour l'eau saumure rejetée en mer ont montrés des valeurs 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 éco systèmes et l'environnement marin. La diminution de la concentration en oxygène dissous d'après les résultats de cette étude a une conséquence sur la vie des espèces marines. **(10)**

**VI.2- Origine et type des rejets :****VI.2.1- Rejets atmosphériques :**

Les techniques utilisées pour le dessalement de l'eau sont très consommatrices en énergie, même si la tendance est à la baisse, notamment grâce au développement des technologies innovantes. Or, cette énergie est le plus souvent fournie par des combustibles fossiles qui présentent pour l'environnement l'inconvénient d'émettre des polluants atmosphériques, notamment du dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), des oxydes de soufre et d'azote et des particules solides. Il a ainsi été estimé que le système de production espagnol rejetait 680 grammes de CO<sub>2</sub> par mètre cube d'eau dessalée, ce qui, pour une production de plusieurs millions de mètres cubes par jour se traduirait par l'émission dans l'atmosphère de plusieurs milliers de tonnes de CO<sub>2</sub> par jour. Cette contribution à l'effet de serre est loin d'être négligeable dans le contexte actuel de lutte contre le réchauffement climatique. **(32)**

**VI.2.2- Les 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 flocculant, coagulant, antitartre et anticorrosion, 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. [1]

### VI.2.3- La saumure concentrée :

Une concentration élevée en sels des eaux rejetées et des fluctuations du degré de salinité peuvent être, à proximité de l'émissaire, une cause de mortalité parmi les organismes qui y sont sensibles. De plus, les rejets provenant des usines de dessalement ont une densité plus élevée que celle de l'eau de mer et peuvent se déposer au fond de la mer et avoir éventuellement des effets préjudiciables pour les communautés benthiques.



Figure VI .01: la conduite de saumure vers la mer [8]

## VI.3 : IMPACTS DES REJETS DE DESSALEMENT :

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.

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.

Toute une série de produits chimiques et d'additifs servent en effet, lors du dessalement, à prévenir ou combattre l'entartrage ou la prolifération de microorganismes dans les circuits, faute de quoi la bonne marche de l'exploitation serait entravée. **(21) et (27)**

### **VI-3-1 : Effets dus aux produits de la corrosion :**

Sont rejetés par les unités de dessalement et peuvent constituer une menace pour les organismes d'estuaire en raison de leur toxicité. Nous avons :

#### Les traces de métaux :

Le Ni, Mo, Fe, Cr, Zn, provenant de la dissolution de tuyauterie et système de condenseur de refroidissement et autres dépendants des alliages présents dans la ligne du process.

Ces métaux provoquent des stressés au niveau des communautés aquatiques et leurs effets seront plus marqués au niveau des habitats benthiques soumis à un enrichissement plus élevé de métaux trace. **(16)**

#### Le Cuivre :

A forte concentration, le Cuivre est très toxique et joue le rôle d'inhibiteur d'enzymes au niveau de l'organisme et peut entraîner le décès d'un nombre important d'espèces susceptibles. Pour le phytoplancton, le Cuivre inhibe la photosynthèse, limite l'absorption et l'assimilation du nitrate et l'adsorption du silicate. Au niveau des poissons d'estuaire, des changements apparaissent dans la physiologie de l'organisme, la reproduction et le développement. **(28)**

#### Le Fer :

Le Fer est contenu dans certains additifs entrants dans le processus de dessalement. En présence d'une forte salinité peut conduire à un accroissement de la turbidité qui risquera de perturber la photosynthèse. **(Rashad, 2007)**

### **VI-3-2 : 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 largement utilisés ont été les polymères de l'acide maléique pour empêcher l'apparition d'effets eutrophisants **(16)**

### **VI-3-3 : Effets des additifs antisalissure :**

Si le chlore est un agent antisalissure 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 (28) .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 (16)

#### **VI-3-4 : 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. (16)

#### **VI-3-5 : Impact de bruit :**

Une usine de dessalement par filtration membranaire est plus bruyante, et la majeure partie de ce bruit provienne des pompes haute pression et des turbines de récupération d'énergie qui présente un danger pour les travailleurs de la station. (27)

#### **VI-3-6 : La consommation énergétique par rapport aux autres alternatives de ressources en eau potable**

La consommation énergétique importante des usines de dessalement est l'un des principaux inconvénients de cette source alternative d'eau potable. Cette consommation est due, d'une part, au pompage à haute pression (deux tiers du total) et, d'autre part, au reste des rejets et impacts des usines de dessalement pompages de l'usine : pompage d'eau de mer, lavage des filtres et membranes, pompes vide cave, ponts roulants, éclairage, etc.), qui constituent l'autre tiers.

Au cours des dernières années, il y a eu une diminution de la consommation spécifique grâce au remplacement progressif de la distillation par l'osmose inverse, ainsi qu'au système de récupération de l'énergie des saumures. (21)

#### **VI-3-7 : 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. 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 pré- traitement de l'usine de dessalement.

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 qui représente une menace importante pour le phytoplancton et le zooplancton , 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. **(25)**

#### **VI-3-8 : Effets potentiels des rejets de saumures concentrées :**

Une variation de la salinité et/ou de la température due au rejet de saumure retentit aussi sur les habitudes migratoires du poisson le long des côtes. Si certaines espèces de poissons ressentent une variation de la salinité ou de la température, elles peuvent éviter la zone du panache et s'éloigner au large. Il s'ensuit que le poisson peut être forcé de nager sur une plus longue distance, de quitter la zone de plus grande disponibilité alimentaire et devenir davantage exposé aux prédateurs. Les impacts de ces modalités nouvelles sont incertains car notre connaissance de la migration du poisson le long des côtes reste limitée et que l'on ne sait pas avec certitude quelle est la taille du panache susceptible d'occasionner ces effets. **(19)**

La température d'effluent a une influence importante sur les propriétés physiques de l'eau de mer et peut détériorer sa qualité. La solubilité d'oxygène diminue avec l'augmentation de la température, 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. **(18) et (33)**

#### **VI-3-9 : Impacts des rejets de saumures sur l'écosystème marin :**

En ce qui concerne l'impact des saumures, il faut souligner que la salinité des saumures est comprise entre 68 et 90 g/l. Cette différence de salinité avec l'eau de mer explique les rejets et impacts des usines de dessalement, comportement du rejet hypersalin, la masse d'eau très dense forme une couche sur le fond marin et se déplace suivant les lignes de pente maximale. Le degré de stratification est tellement élevé que la dilution de cette masse d'eau avec la couche d'eau supérieure de salinité ambiante est très difficile, même avec un certain degré d'exposition hydrodynamique.

Le concentrât contient également les résidus des produits chimiques ayant servi aux prétraitements. Ils entraînent en particulier une acidification de l'eau (pH compris entre 6 et 6.5) ce qui a un impact sur la matière biologique, et en particulier sur les coraux. Si l'on utilise du métabisulfite de sodium pour la déchloration de l'eau d'alimentation ou en tant que traitement biocide, ce produit a un impact sur le phytoplancton en particulier. **(15)**

Les effets de ces rejets sur le milieu marin, comme l'ont démontré de nombreuses études, sont les suivants :

- Anoxie au niveau des fonds marins : la colonne d'eau se trouve divisée en deux : l'eau de mer constitue la couche supérieure et la saumure la couche inférieure. Dans des conditions de calme du milieu récepteur, avec un faible renouvellement des algues, la présence d'espèces

benthoniques, consommatrices d'oxygène, peut conduire à des périodes d'anoxie du fond marin. (18)

- Diminution de la lumière : la présence d'un fluide hypersalin modifie le coefficient de réflexion de la lumière filtrée, provoquant la formation d'un brouillard qui rend difficile le passage de la lumière, affectant ainsi la photosynthèse des espèces marines végétales.
- Affection des espèces marines: on a détecté des réductions significatives dans les communautés des échinodermes (utilisés comme bio indicateurs pour leur sensibilité) près de la zone de rejet. (18)
- Affection des fanerogames marines : la mer méditerranée est la zone du monde où le plus grand nombre d'études a été réalisé à ce sujet. On a détecté des effets négatifs sur les fanerogames marines. Notamment, en ce qui concerne la Posidonia océanique, on a détecté une augmentation de la mortalité des individus, apparition de nécrose sur les tissus et plus grande chute des feuilles. (27)

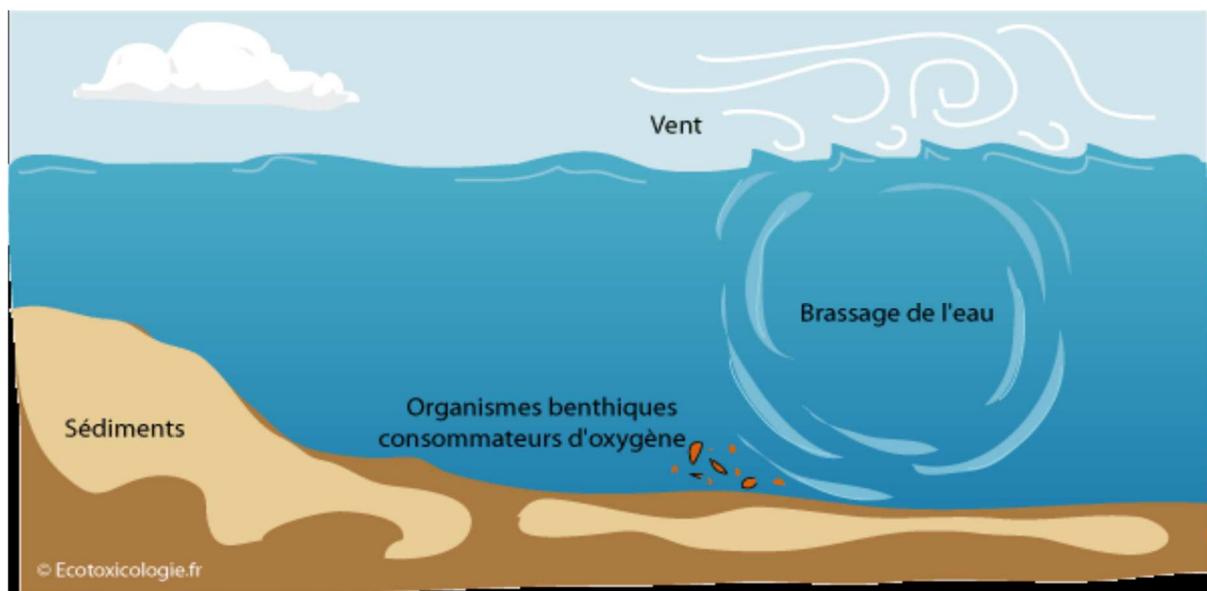
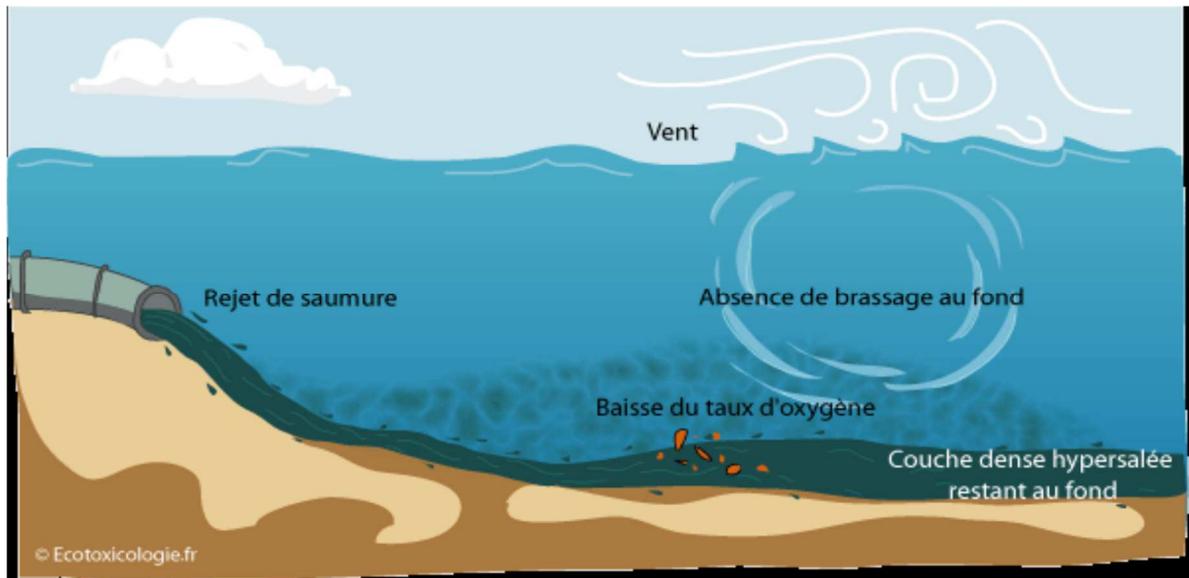


Figure VI.02 : Etat initial du milieu (pas de rejet de saumure) [3]



FigureVI.03:Etat du milieu après implantation de l'usine de dessalement (rejet de saumure) [3]

#### VI-4 : ELIMINATION DE LA SAUMURE :

L'élimination de la saumure est un vrai problème environnemental devant être pris en considération et étudié lors de l'implantation d'une unité de dessalement. Dans la plupart des cas, la manière la plus facile de se débarrasser du débit important de saumure (70 à 55% du débit d'alimentation) est de le décharger dans la mer grâce à une conduite. La concentration en saumure varie de 50 à 75 g/l et a une densité beaucoup plus élevée que l'eau de mer. De ce fait, la saumure tombe sur le sol sous-marin proche de la sortie de la conduite (effet panache) et forme ainsi une couche très salée pouvant engendrer des impacts négatifs sur la faune et la flore maritime ainsi que d'éventuelles activités humaines.

Les conditions de la mer : courant marin, vagues, eau calme ou agitée influe immédiatement sur la concentration des saumures au contact de la mer. (25)

Il existe deux concepts identifiés réalistes pour l'élimination de la saumure:

- **Mélange:**

Afin d'éviter l'effet panache, il est avantageux de placer la sortie de la conduite au niveau d'un courant fort, optimisant ainsi le mélange de la saumure et de l'eau de mer.

- **Dilution :**

La dilution de ces saumures dépend instantanément de leur dispersion dans le cas d'une mer agitée et de leur localisation dans le cas d'une mer calme. Comme par exemple, les saumures prennent beaucoup de temps pour se diluer quand la mer est calme. Ce qui influe directement sur le milieu aquatique.

Lorsqu'une limite maximale de décharge doit être respectée (ex. France: 10% au-delà de la salinité de la mer), une solution est de diluer la saumure avec une autre source d'eau en amont tel que:

- Eau fraîche naturelle (rivière) si l'installation est située près d'un delta.
- Effluent d'eau usée rejeté dans la mer
- L'eau de mer venant de la pompe d'alimentation, ce qui nécessite une capacité de prise d'eau de mer plus important.

#### **VI-5 : TECHNIQUES POUR MINIMISER LES IMPACTS DU DESSALEMENT SUR L'ENVIRONNEMENT :**

Les saumures fortement salines en contact avec la mer descendrait au fond de la mer et prolongeraient sur un rayon de centaines de mètres présentent une source continue et cumulative de pollution, qui aurait comme conséquence des détriments continus sur la vie aquatique à proximité (zone hyper saline). Pour réduire au minimum ces effets nuisibles des usines de dessalement de l'eau de mer ils proposent des remèdes pour débarrasser le surplus des saumures concentrées. **(05), (11) (20), (27), (31), (33)**

- Il est souhaitable de placer le point de décharge de saumure loin de la plage et des endroits rocheux qui sont riches en organismes à partir d'un émissaire sous marin, ou par incorporation des diffuseurs sur les tubes de décharges pour améliorer la dilution des saumures.
- Utilisation de l'eau déchargée de la centrale électrique pour la dilution des saumures concentrées (un taux élevé de dilution pourra réduire la tendance de dessalement au fond).
- Diriger les saumures vers une usine de production de sel. Cette solution présentera beaucoup d'avantages environnementaux et économiques.
- La décharge zéro au moyen d'un procédé d'évaporation des produits concentrés qui permet d'obtenir des résidus secs. Cette issue nécessitera une forte augmentation du capital d'investissement et de la consommation d'énergie.
- Utilisation des énergies renouvelables (solaires) pour fonctionner les usines de dessalement et essaient de produire un déversement nul de saumure dans la mer (usine de dessalement environnemental).
- La réalisation d'une cartographie sous-marine des habitats écologiques à protéger dans toute la région. Cette information doit être autant décisive que les contraintes sociales

ou économiques, au moment de choisir la parcelle où on situera l'usine de dessalement.

- Le choix adéquat du type de rejet, soit direct sur la côte soit par le biais d'un émissaire sous-marin : il faut tenir compte de l'importance de la vitesse et de l'angle de sortie du jet ou des diffuseurs d'eau, de la bathymétrie du fond marin, du régime des houles et courants marins, etc.
- Le rejet simultané de saumures avec les eaux de refroidissement d'une centrale thermique ou avec l'effluent d'une usine de traitement d'eaux résiduelles est une solution intéressante à adopter, dans la mesure du possible. **(25) et (27)**
- Rejet bien étudié aux endroits des embouchures des cours d'eau pour avoir une dilution et un équilibre naturel des différentes concentrations ambiantes naturelles.

### **VI.6- Conclusion :**

Dans ce chapitre on a évoqué les différents types du rejet et leur impact sur l'environnement. La comparaison de la qualité physico-chimique de la saumure et de l'eau de mer a montré l'augmentation de la salinité engendrée par le déversement de la saumure.

Pour le cas de la station de Fouka des efforts ont été consentis pour la protection de l'environnement, ainsi avant le rejet, la saumure est neutralisée et son pH ajusté à celui de l'eau de mer. D'autre part, l'installation d'un émissaire par diffusion pour assurer une meilleure dilution de la saumure et limiter les impacts de la station sur l'environnement.

### **CONCLUSION GENERALE :**

Cette étude, bien que limitée dans le temps, nous a permis de réaliser certains objectifs concernant le fonctionnement de la station de dessalement d'eau de mer de Fouka wilaya de Tipaza en particulier sur la performance du procédé de dessalement par osmose inverse.

Dans cette étude on a donné une fiche bibliographique sur le dessalement et leurs procédés en générale et plus précisément la méthode d'osmose inverse que fait l'objet de notre étude.

Ensuite on a fait un diagnostic des différentes étapes : prétraitement, unité d'osmose inverse, et poste traitement et relever tous les dysfonctionnements.

Mais malheureusement ; a cause de la situation pour l'instant on ne peut pas adapter le stage au sein de station ; alors on a juste récupère les résultats des échantillons de 3 mois et faire une comparaison entre les résultats des eaux traiter par apport la norme.

En fin on a relève les impacts de dessalement et précisément la méthode d'osmose inverse et la station de fouka sur l'environnement et essayé de proposer des solutions adéquates aux problèmes rencontrées.

### Bibliographie

- 01-** ALAIN Maurel, (2001), « Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres », éditions Technique & Documentation.
- 02-** ALAIN Maurel, (2006), « Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres », 2<sup>ème</sup> éditions, 286 P.
- 03-** ARNOULT et FOURNIER, (1999), Dessalement de l'eau de mer.
- 04-** ANNIK Bouroche et MICHELE le Bars, (1994), « Techniques de séparation par membranes : vocabulaire français-anglais », P 60.
- 05-** BALASUBRAMANIAN.P, (2013), A brief review on best available technologies for reject water (brine) management in industries, J. Environ. Sci. 3 (2013) 2010–2018.
- 06-** Article : Le Journal de l'Eau et de l'Environnement -----ique et technique scienti Revue semestrielle
- 07-** Contrat EPC, Construction d'une usine de dessalement d'eau de mer de Fouka, 2005.
- 08-** BENMOUSSAT. A, AMARA. S, (2007), « Etude sur la distillation thermo –solaire à simple effet, site d'Adrar, Proceedings ICRESD\_07, Tlemcen, May », 108p, Vol.I 2
- 09-** Usine de dessalement de Fouka-Algérie. Project Number: 0172543000-45ED-3-0001\_R08 Acciona.
- 10-** National Eau et Environnement (NEE), étude d'impact sur l'environnement de la réalisation et l'exploitation de l'usine de dessalement d'eau de mer de FOUKA.
- 11-** BLENINGER .T, .JIRKA.G.H, (2010), « Environmental Planning, Prediction and Management of Brine Discharges from Desalination Plants, Final report, MEDREC Project: 07-AS-003, Muscat, Sultanate of Oman »
- 12-** BUSHNAK.A, (2012), « Évaluation des meilleures technologies disponibles pour le dessalement en zones rurales/locales. Rapport final, Gestion Intégrée Durable de l'Eau – Mécanisme de Soutien (SWIM - SM) »
- 13-** CHEKROUD Med Rida, (2014), « Etude des performances de la station de dessalement de la wilaya de Skikda », Thèse d'ingénieur d'état
- 14-** Centre de développement des énergies renouvelables (CDER), 2009

## Références bibliographiques

---

- 15-** COOLEY .H, GLEICK.P.H and WOLFF.G, (2006), «Desalination, with a grain of salt», A California Perspective: Pacific Institute for Studies in Development, Environment and Security: Oakland, California.
- 16-** HOEPNER. DANIS.P, (2003), «Dessalement de l'eau de mer». Techniques de l'Ingénieur, traité Génie des procédés, J2 700.
- 17-** ETTORIA, (2011), « Vieillesse chimique de membranes d'osmose inverse», Thèse de Doctorat, l'université de Toulouse, Toulouse, 240P.
- 18-** FERNANDEZ-TORQUEMADA.Y, SANCHEZ-LIZASO.J.L, (2013), « Effects of salinity on seed germination and early seedling growth of the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanic* (L.) Delile, Estuarine, Coastal and Shelf Science», Volume 119, p. 64-70.
- 19-** T.LATTEMANN.S, (2003) « Chemical impacts from seawater desalination plants: A case study of the northern Red Sea Desalination», 152 (2003) 133–140.
- 20-** JENKINS.S.A and al, (2013), «Management of brine discharge to coastal water, recommendations of science advisory panel», Southern California coastal water research project, Tech Rpt.694
- 21-** MAUREL. A., (2006), «Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres», 2e édition TEC&DOC286p
- 22-** MERICQ.J.P, (2009), «Approche intégrée du dessalement d'eau de mer»
- 23-** MARCHAND.D, LAMENT.A , MOUCHET.P, LESOIL.M, BAIG.S , ROVEL.J.M, MAZOUNIE.P ,BOURDELET.J.C, BONNELEY.V , HESSE.C , Hanbry.J.C , MOLES.J , NICOL.R et ANGEL.M, (2005), «Mémento technique de l'eau 10<sup>ème</sup> édition», Tome III, édition DEGREMONT, paris. 932P.
- 24-** MEHDIM, (Juin 2006), «optimisation des systèmes de dessalement par osmose inverse : conception, paramètres de fonctionnement et simulation numérique», Thèse de Doctorat, Ecole Nationale Polytechnique d'Alger, Alger, 187P.
- 25-** NRC, (2008), «Desalination: A National Perspective, Committee on Advancing Desalination Technology, Water Science and Technology Board, Division on Earth and Life Studies, National Research Council of the National Academies»

## Références bibliographiques

---

- 26- PHILIPPE Aptel, (2003) « Techniques de l'ingénieur », (OI, NF, UF) application en traitement des eaux, W4120
- 27- PNUE, (2001), « dessalement de l'eau de mer dans les pays méditerranéens: évaluation des impacts sur l'environnement et lignes directrices proposées pour la gestion de la saumure », UNEP (DEC)/ MED WG.183/Inf.6, Athènes.
- 28- RASHAD.D, (2007), « Desalination Plants: Potential impacts of brine discharge on marine life, Final Project, The University of Sydney, Australia ».
- 29- REMINI.B, « La problématique de l'eau en Algérie du nord », ed 2005.
- 30- ROVEL.J.M., (2012), « Dessalement de l'eau de mer, Technique de l'Ingénieur ».
- 31- SWIFT, A.H.P, LU.H, (December 2002), « zero Discharge Waste Brine Management for Desalination Plants », University of Texas El Paso, El Paso, TX, DRDP. Report No. 89.
- 32- TAIBI Sarah, (2015), « Etude des performances de la station de dessalement des eaux de mer par osmose inverse de FOUKA wilaya de Tipaza », Thèse d'ingénieur d'état, 124p
- 33- UNEP/MAP, (2003), « dessalement de l'eau de mer en méditerranée évaluation et lignes directrices, MAP Technical Reports Séries No », 139, Athens.
- 34- ZAMICHE.S, (2014), « présentation du projet de dessalement de FOUKA », 2014.
- 35- 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, P78-86.

### Web graphie

- [1] [www.A.D.E.dz](http://www.A.D.E.dz)
- [2] [www.A.N.R.H.dz](http://www.A.N.R.H.dz)
- [3] [www.ecotoxicologie.fr](http://www.ecotoxicologie.fr)
- [4]-[www.eldjazaircom.dz](http://www.eldjazaircom.dz)
- [5] [www.google earth.com](http://www.google earth.com)

