

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou  
Faculté des Sciences Biologiques et Sciences Agronomiques  
Département d'Agronomie



# MEMOIRE

De fin d'étude pour l'obtention du diplôme de Master II

Spécialité : Traitement Et Valorisation Des Ressources Hydriques

Thème :

DIAGNOSTIQUE ET AMELIORATION  
DU FONCTIONNEMENT DE LA  
STATION DE DESSALEMENT DE  
TIGZIRT

Présenté par : M<sup>elle</sup> LAMINE Naima

M<sup>elle</sup> HARIKENCHEIKH Lynda

Soutenue le : 29/06/2017

Soutenu publiquement, devant le jury d'examen composé de:

M<sup>me</sup>. BOUDIAF NAIT KACI. M

M.C.A

U.M.M.T.O

Présidente

M<sup>r</sup>. METAHRI. M S

M.C.A

U.M.M.T.O

Encadreur

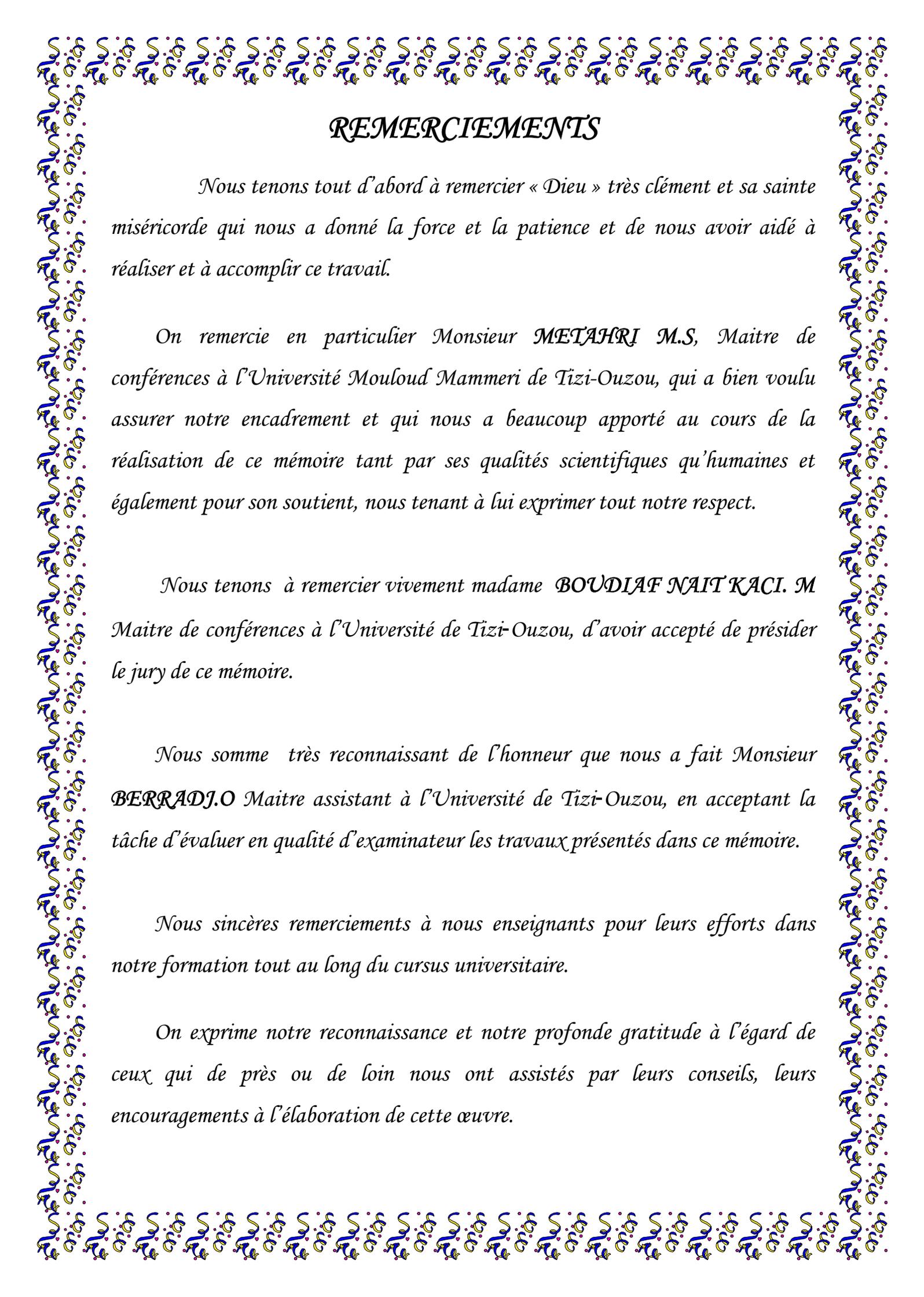
M<sup>r</sup>.BERRADJ. O

M.A.A

U.M.M.T.O

Examineur

Promotion : 2016/2017



## REMERCIEMENTS

*Nous tenons tout d'abord à remercier « Dieu » très clément et sa sainte miséricorde qui nous a donné la force et la patience et de nous avoir aidé à réaliser et à accomplir ce travail.*

*On remercie en particulier Monsieur **METAHRI M.S**, Maitre de conférences à l'Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, qui a bien voulu assurer notre encadrement et qui nous a beaucoup apporté au cours de la réalisation de ce mémoire tant par ses qualités scientifiques qu'humaines et également pour son soutien, nous tenant à lui exprimer tout notre respect.*

*Nous tenons à remercier vivement madame **BOUDIAF NAIT KACI. M** Maitre de conférences à l'Université de Tizi-Ouzou, d'avoir accepté de présider le jury de ce mémoire.*

*Nous somme très reconnaissant de l'honneur que nous a fait Monsieur **BERRADJ.O** Maitre assistant à l'Université de Tizi-Ouzou, en acceptant la tâche d'évaluer en qualité d'examineur les travaux présentés dans ce mémoire.*

*Nous sincères remerciements à nous enseignants pour leurs efforts dans notre formation tout au long du cursus universitaire.*

*On exprime notre reconnaissance et notre profonde gratitude à l'égard de ceux qui de près ou de loin nous ont assistés par leurs conseils, leurs encouragements à l'élaboration de cette œuvre.*

## DEDICACES

*Je dédie ce modeste Travail*

*A l'âme de mon père*

*A ma chère mère*

*A mes frères*

*A ma sœur*

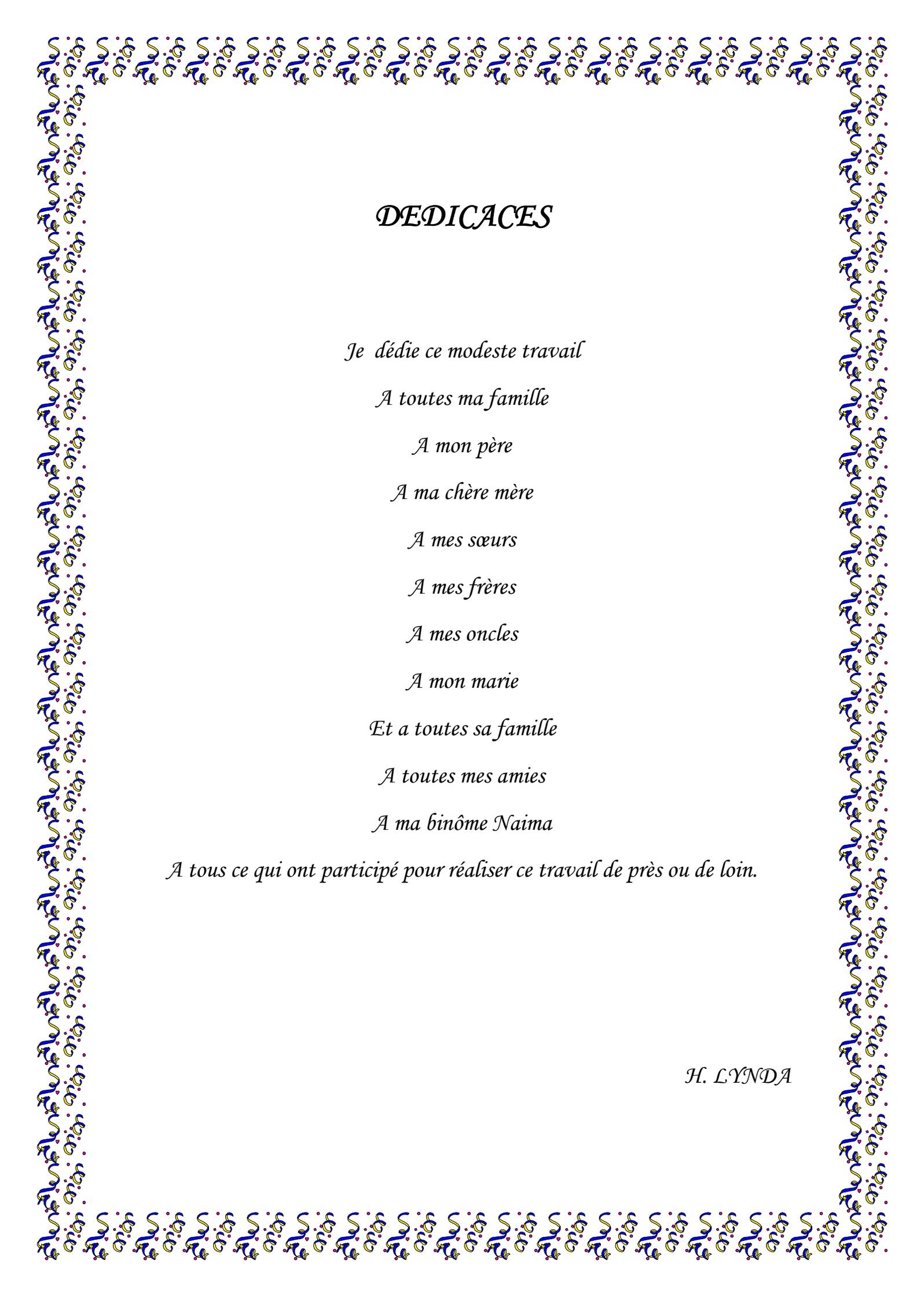
*A toute la famille*

*A toutes mes amies*

*A toute la promotion TVRH 2016/2017*

*Bien faible témoignage d'affection et d'amour.*

*L. Naima*



## DEDICACES

*Je dédie ce modeste travail*

*A toutes ma famille*

*A mon père*

*A ma chère mère*

*A mes sœurs*

*A mes frères*

*A mes oncles*

*A mon marie*

*Et a toutes sa famille*

*A toutes mes amies*

*A ma binôme Naima*

*A tous ce qui ont participé pour réaliser ce travail de près ou de loin.*

*H. LYNDIA*

## Liste des abréviations

Ch : charge hydraulique

CV : compression de vapeur

D : diamètre

H : hauteur

MED : Distillation a multiples effets

MES : matières en suspension

MSF : Multi-Stage Flash distillation

NTU : Unité néphélogétrie de turbidité

OI : osmose inverse

OMS : organisation mondiale de la santé

Ph : potentiel hydrogène

PSU :PracticalSalinity Unit

Q : débit

S : surface

TA : Titre alcalimétrique

TAC : Titre alcalimétrique complet

Ts : temps séjour

V : volume

## Liste des figures

<b>Figure 1</b> : les divers procédés de dessalement.....	16
<b>Figure 2</b> : schéma générale d'une installation de dessalement.....	17
<b>Figure 3</b> : schéma de principe d'un système d'évaporateurs multiples effets (MED).....	18
<b>Figure 4</b> : principe de fonctionnement d'un système par détente étagées (MSF) .....	20
<b>Figure 5</b> : schéma de principe d'une unité d'évaporation simple-effet avec compression de vapeur .....	21
<b>Figure 6</b> : principe de l'osmose et de l'osmose inverse .....	25
<b>Figure 7</b> : mécanisme de transfert de matière .....	26
<b>Figure 8</b> : éléments constitutifs d'une unité d'osmose inverse.....	27
<b>Figure 9</b> : module d'osmose inverse à enroulement spiral.....	28
<b>Figure 10</b> : module des membranes .....	31
<b>Figure 11</b> : distillation solaire .....	36
<b>Figure 12</b> : capacité de dessalement mondial en m <sup>3</sup> /j et % .....	38
<b>Figure 13</b> : capacités cumulatives MSF, MED et OI dans la mer Méditerranée en m <sup>3</sup> / j .....	39
<b>Figure 14</b> : prise d'eau.....	50
<b>Figure 15</b> : dessableur .....	50
<b>Figure 16</b> : décanteur lamellaire.....	51
<b>Figure 17</b> : pompes de refoulement.....	51
<b>Figure 18</b> : filtre à charbon et de filtre à sable .....	52
<b>Figure 19</b> : microfiltration .....	53
<b>Figure 20</b> : l'osmose inverse .....	53
<b>Figure 21</b> : dessableur de forme circulaire avec une arrivée d'eau périphérique et un déversoir central .....	57

## Liste des tableaux

<b>Tableau 1</b> : concentrations des éléments principaux pour une eau de mer de salinité de 35%... 3	3
<b>Tableau 2</b> : concentration des différents éléments mineurs dont la concentration est supérieure au $\mu\text{g/l}$ se trouvant sous forme dissoute, colloïdale ou en suspension 4	4
<b>Tableau 3</b> : salinité de différentes mers fermées ou peu ouvertes ..... 5	5
<b>Tableau 4</b> : viscosité relative $\eta/\eta_0$ de l'eau de mer en fonction de la température et de la salinité ..... 6	6
<b>Tableau 5</b> : paramètres physico-chimique (OMS, 1986) ..... 8	8
<b>Tableau 6</b> : paramètre microbiologique (OMS 1986) ..... 9	9
<b>Tableau 7</b> : paramètres toxicologiques (OMS 1986) ..... 9	9
<b>Tableau 8</b> : relation entre la conductivité et la minéralisation ..... 11	11
<b>Tableau 9</b> : détermination de la minéralisation à partir de la conductivité ..... 12	12
<b>Tableau 10</b> : dureté des eaux ..... 12	12
<b>Tableau 11</b> : comparaison des Caractéristiques des différents procédés de distillation ..... 21	21
<b>Tableau 12</b> : consommation électrique de filières de production d'eau potable ..... 37	37
<b>Tableau 13</b> : stations réalisées par LINDE-KCA ..... 41	41
<b>Tableau 14</b> : stations réalisées par HYDRO-TRAITEMENT ..... 41	41
<b>Tableau 15</b> : bilan de production de LINDE-KCA ..... 42	42
<b>Tableau 16</b> : bilan de production HYDRO-TRAITEMENT (2003-2008) ..... 42	42
<b>Tableau 17</b> : les grandes stations de dessalement en Algérie ..... 42	42
<b>Tableau 18</b> : les besoins d'AEP pour la population de Tizirt ..... 48	48

# SOMMAIRE

Introduction .....	1
<b>Chapitre I : Propriétés de l'eau de mer et paramètres de potabilité</b>	
Introduction .....	3
I.1. Propriétés des eaux de mer .....	3
I.1.1.Composition de l'eau de mer .....	3
I.1.1.1. Les éléments principaux .....	3
I.1.1.2. Autres éléments minéraux.....	3
I.1.1.3. Matières organiques .....	4
I.1.2. Salinité .....	5
I.1.3. pH de l'eau de mer.....	5
I.1.4. Autres propriétés de l'eau de mer .....	6
I.1.4.1. Viscosité de l'eau de mer.....	6
I.1.4.2. Densité de l'eau de mer.....	7
I.2. Caractéristiques des eaux marines et saumâtres .....	7
I.2.1. Les eaux marines.....	7
I.2.2. Les eaux saumâtres .....	7
I.3. Paramètres de qualité de l'eau potable.....	8
I.3.1. Normes de potabilité .....	8
I.3.2. Paramètres globaux de qualité .....	10
I.3.2.1. Paramètres organoleptiques .....	10
I.3.2.2. Paramètres physiques.....	10
I.3.2.3. Paramètres chimiques .....	11
I.3.2.4. Paramètres bactériologiques .....	14
I.3.2.5. Autres paramètres .....	14
Conclusion.....	15
<b>Chapitre II : Principales technologies de dessalement de l'eau de mer</b>	
Introduction .....	16
II.1. Classification des divers procédés de dessalement.....	16
II.1.1. Procédés thermiques .....	17
II.1.1.1. Distillation à simple effet .....	17
II.1.1.2. Distillation a multiples effets (MED) .....	18
II.1.1.3. Distillation à détente étagées (Multi-Stage Flash distillation MSF).....	19

II.1.1.4. Distillation par compression de vapeur (CV).....	20
II.1.1.5. Perspectives de la distillation .....	21
II.1.2. Procédés membranaires .....	22
II.1.2.1. Filtration .....	22
II.1.2.2. Microfiltration .....	23
II.1.2.3. Ultrafiltration .....	23
II.1.2.4. Nanofiltration.....	23
II.1.2.5. Electrodialyse .....	23
II.1.2.6.Osmose inverse.....	25
II.1.2.6.1. Schéma général d'une installation d'osmose inverse .....	26
II.1.2.6.2. Choix des paramètres de fonctionnement.....	29
II.1.2.6.3. Consommation de l'énergie.....	30
II.1.2.6.4. Qualité de l'eau traitée par osmose inverse .....	30
II.1.2.6.5. Paramètres influençant le fonctionnement d'un système d'osmose inverse .....	30
II.1.2.6.6. Paramètres influençant sur les membranes.....	32
II.1.2.6.7. Avantages des procédés à membranes.....	35
II.1.3. Autres procédés de dessalement .....	35
II.1.3.1. Congélation.....	35
II.1.3.2. Echange d'ions .....	36
II.1.3.3. Distillation solaire.....	36
II.1.4. Consommation énergétique d'une usine de dessalement.....	37
II.2. Dessalement dans le monde et en Algérie .....	38
II.2.1. La croissance prévue du marché de dessalement dans le monde .....	38
II.2.2. Dessalement dans La mer Méditerranée.....	38
II.2.3. Dessalement en Algérie .....	40
II.2.4. Les stations de dessalement en Algérie .....	41
II.2.4.1. Stations monoblocs.....	41
II.2.4.2.Bilan de production des stations .....	41
II.2.5. Les avantages et les inconvénients de dessalement de l'eau de mer en Algérie .....	42
II.2.6. Aboutissement du dessalement du dessalement dans le pays.....	43
II.2.7. Soulagement de la demande en eau .....	44
Conclusion.....	45

## **Chapitre III : Diagnostique et fonctionnement de la station de dessalement de Tizirt**

Introduction .....	46
III.1. Présentation générale de la commune de Tizirt.....	46
III.1.1. Situation géographique de la commune .....	46
III.1.2. Climat .....	46
III.1.3. Répartition de la population à Tizirt et évaluation de leur besoins d’AEP .....	47
III.2. Présentation et diagnostique de la station .....	49
III.3. Les étapes de dessalement de la station.....	49
III.3.1. Prétraitement .....	49
III.3.2. La prise d’eau ou la crépine .....	49
III.3.3. Le dessableur .....	50
III.3.4. Le décanteur lamellaire .....	51
III.3.5. Le troisième bassin.....	51
III.3.6. Le filtre à sable et à charbon actif .....	52
III.3.7. La microfiltration .....	52
III.3.8. L’osmose inverse.....	53
III.3.9. Post-traitement .....	54
III.3.9.1. Chloration de l’eau traitée .....	54
III.3.9.2. Neutralisation de l’eau traitée.....	54
III.3.9.3. Système de stockage de l’eau traitée.....	54
III.4. Contrôle continu de différents paramètres de fonctionnement de la station .....	54
III.5. Système de distribution de l’eau traitée .....	54
III.6. Suggestion particulière .....	55
III.7. Dimensionnement du dessableur.....	55
III.7.1. Calcul du débit nominal de la station pour un taux de conversion de 40% .....	56
III.7.2. Calcul de la surface du dessableur .....	56
III.7.3. Calcul du volume du dessableur.....	57
III.7.4. Calcul de la hauteur du dessableur .....	57
III.7.5. Calcul du diamètre du dessableur.....	57
III.8. Reminéralisation de l’eau produite par l’osmose inverse .....	58
Conclusion.....	59
Conclusion générale .....	60
Références bibliographiques.....	61

### Introduction générale

Dans la région méditerranéenne, comme dans le monde, la croissance démographique et l'intensité de l'activité socio-économique font de l'eau douce une ressource de plus en plus rare. L'exploitation des ressources en eau en est arrivée à un degré qui épuise les disponibilités en ressources naturelles conventionnelles dans certains pays méditerranéens, et d'autres pays ne seront probablement pas loin d'y parvenir ultérieurement. Selon les estimations la demande totale dans la région, qui était de 300 milliards de mètres cubes par an en 1990, est augmentée de 32 % en 2010 et augmentera de 55 % d'ici à 2025, pour atteindre plus de 460 milliards de mètres cubes. (Lattemann, 2010)

En Algérie la mobilisation des ressources en eau depuis l'indépendance a été axée en premier lieu sur les ressources souterraines. L'accroissement rapide de la demande en eau dans les secteurs de l'irrigation, de l'industrie ainsi que les besoins incompressibles de la population ont amené les pouvoirs publics à mobilisé de plus en plus des ressources superficielles. Mais la mobilisation des eaux souterraines au nord du pays a atteint son seuil maximal, d'où une surexploitation des nappes superficielles et la détérioration de la qualité de l'eau. L'Algérie est un pays qui possède des ressources hydriques limitées pour des raisons climatiques capricieuses, caractérisées par une pluviométrie irrégulière oscillant entre 100 et 600 mm/an et enregistrant un déficit hydrique estimé à 20% sur cinq ans au début des années 2000 (UNEP/MAP, 2003). Le dessalement se représente comme une solution efficace face au sérieux problème de pénurie d'eau.

Toutefois, l'Algérie a lancé ces dernières années, un programme ambitieux d'installations de stations de dessalement pour faire face à des problèmes d'alimentation en eau qui s'accroissent par l'explosion démographique, le développement industriel et agricole ainsi que la sécheresse. Le dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres par osmose inverse a connu un avancement remarquable par rapport aux autres procédés.

La pénurie et la demande croissante d'eau n'a pas épargné Tizirt, une des communes de la wilaya de Tizi Ouzou qui souffre d'un stress hydrique d'environ 170 m<sup>3</sup> /j, pour renforcer l'alimentation en eau potable (AEP) les autorités ont fait construire une usine de dessalement à procédé d'osmose inverse.

A travers cette modeste contribution nous, nous proposons de remédier aux contraintes de fonctionnement de l'usine de dessalement de Tizirt et de la remettre à plein régime et

d'améliorer son rendement. Ces contraintes se résument aux arrêts récurrents dues aux dimensions du dessableur, qui immobilise le fonctionnement à plein temps et voire le rendement réduit d'environ 60%.

Notre étude est composée de deux parties distinctes :

- La partie bibliographique qui traite les généralités sur l'eau de mer (composition et paramètres de potabilité) ainsi que les principales technologies de dessalement (procédés thermiques et membranaires).
- La partie expérimentale, qui est composée de la présentation de la commune et de la station de Tizirt, suivi des étapes de traitement de cette usine avec des suggestions d'amélioration des rendements à travers le redimensionnement de l'ouvrage du dessablage qui empêche le bon fonctionnement et en fin une proposition de reminéralisation de l'eau produite par cette usine.

## Introduction

Selon l'origine une eau peut prendre diverses compositions, l'eau de mer est une solution complexe qui contient de l'eau et de sels, ainsi que de diverses substances en faibles quantités. Si plus de deux tiers des 94 éléments chimiques naturels sont présents dans l'eau de mer, la plus part sont en faible quantité et difficilement décelables. Ainsi elle présente aussi plusieurs paramètres de potabilité et des propriétés différentes.

### I.1. Propriétés des eaux de mer

#### I.1.1. Composition de l'eau de mer

##### I.1.1.1. les éléments principaux

Si la masse totale des sels peut varier, le rapport des concentrations des différents éléments est stable. Cette constante des proportions est souvent appelée loi de Marcet ou de Dittmar. Les éléments principaux, c'est-à-dire ceux qui contribuent d'une façon notable à la masse de sels dissous dans les océans, représentent 11 éléments différents.

Leurs concentrations sont données dans le tableau suivant :

**Tableau 1** : concentrations des éléments principaux pour une eau de mer de salinité de 35 g/l (Piley et Skirrow, 1995)

Eléments	Concentration (g/l)	Eléments	Concentrations (g/l)
Chlorure (Cl <sup>-</sup> )	19 353	Sodium (Na <sup>+</sup> )	10 160
Sulfate (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	2712	Magnésium (Mg <sup>2+</sup> )	1 249
Bicarbonate (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	142	Calcium (Ca <sup>2+</sup> )	413
Bromure (Br <sup>-</sup> )	67	Potassium (K <sup>+</sup> )	387
Fluorure (F <sup>-</sup> )	1	Strontium (Sr <sup>2+</sup> )	8
Bore	4		

##### I.1.1.2. Autres éléments minéraux

L'eau de mer contient de nombreux autres éléments à des concentrations beaucoup plus faibles (tableau 2). Ces éléments malgré leur faible concentration, ont une importance certaine dans des processus biologiques et organiques. Ils peuvent se trouver sous différentes formes (dissous, colloïdaux ou en suspension).

**Tableau2** : Concentration des différents éléments mineurs dont la concentration est supérieure au  $\mu\text{g/l}$  se trouvant sous forme dissoute, colloïdale ou en suspension.

Eléments	Concentrations en $\mu\text{g/l}$	Eléments	Concentrations en $\mu\text{g/l}$
Li	170	Cu	3
Al	10	Zn	10
Si	3 000	As	3
P	70	Rb	120
Ti	1	Mo	10
V	2	I	60
Mn	2	Ba	30
Fe	10	U	30
Ni	2		

(Source : Chambre Syndicale de la Recherche et de la Production du Pétrole et Gaz naturel)

Un litre d'eau de mer contient entre 30 et 40 g de sels alors que les matières en suspension représentent quelques dizaines de mg par litre (mis à part aux embouchures de certains fleuves particulièrement chargés en matériaux terrigènes). Ces particules peuvent être finement divisées augmentant ainsi grandement les surfaces réactionnelles, ce qui peut avoir une importance notable sur les propriétés physicochimiques de l'eau de mer.

### I.1.1.3. Matières organiques

Les basses concentrations de matières organiques dans l'eau de mer rendent leur analyse chimique très compliquée. Les composants sont difficiles à isoler car dilués dans un milieu contenant beaucoup d'autres éléments à de plus fortes concentrations. Par convention, on sépare par filtration sur des filtres de  $0,5 \mu\text{m}$  les matières dissoutes des matières organiques particulaires. Parmi les matières organiques dissoutes, on trouve des chlorophylles et caroténoïdes, de la vitamine B<sub>12</sub>, des monosaccharides, des aminoacides. Les matières organiques particulaires sont principalement constituées d'animaux et végétaux du zooplancton (ou leurs résidus). Elles peuvent représenter de 10 à 60% de la matière en suspension.

### I.1.2. Salinité

La salinité est le caractère essentiel de l'eau de mer. La présence de sel dans l'eau modifie certaines propriétés (densité, compressibilité, point de congélation, température de maximum de densité). D'autres (viscosité, absorption de la lumière) ne sont pas influencées de manière significative.

Enfin, certaines sont essentiellement déterminées par la quantité de sel dans l'eau (conductivité, pression osmotique).

Un aspect important de l'eau de mer est que si la concentration totale des sels dissous varie en fonction du lieu, la proportion des composants les plus importants reste à peu près constante.

La salinité observée dans les différentes océans ou mers du globe résulte d'un équilibre entre évaporation, pluie et apports des fleuves (salinité faible) d'une part et d'échanges d'eau avec les autres mers ou océans auxquels ils sont reliés d'autre part. Elle est donc de l'ordre de 35g/l et c'est cette valeur qui est considérée comme salinité standard de l'eau de mer. Des variations plus au moins importantes autour de cette valeur moyenne existent en fonction du bilan précipitation-évaporation. (Alain.M, 2001)

La salinité se mesure en PSU (Practical Salinity Unit), unité reposant sur la conductivité de l'eau de mer, équivalente au pour mille ou encore au g/Kg. (Eric.G, 2001)

La salinité peut être très différente dans le cas des mers fermées ou peu ouvertes sur les masses océaniques comme l'illustre le tableau3.

**Tableau 3** : Salinité de différentes mers fermées ou peu ouvertes

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

### I.1.3. pH de l'eau de mer

L'eau de mer est faiblement alcaline et son pH moyen est de 8.2 avec des variations entre 7 et 8,4.

Les variations de pH ont une certaine analogie avec celle de l'oxygène dissous. Ceci s'explique en considérant l'activité photosynthétique de certains organismes : une forte

## Chapitre I : Propriétés de l'eau de mer et paramètres de potabilités

production d'oxygène s'accompagne d'une diminution de la teneur en CO<sub>2</sub> et par conséquent d'une augmentation du pH, l'oxydation de la matière organique diminue la teneur en oxygène de l'eau en produisant du CO<sub>2</sub> et par conséquent abaisse le pH.

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

Le pH des eaux de mer décroît avec une augmentation de température. Pour une eau de chlorinité de 19.5‰ et de pH=8, une élévation de température de 1°C, entre 10°C et 20°C, diminue le ph de 0,0109.

De même une augmentation de pression de 100 bar produit une diminution du ph de l'ordre de 0,02 (pour un ph de 8,3). (R.A.Horne, 1969)

### I.1.4. Autres propriétés de l'eau de mer

#### I.1.4.1. Viscosité de l'eau de mer

La viscosité décroît rapidement en fonction de la température et dépend également de la salinité. Cette dernière caractéristique est prise en compte dans l'équation suivante :

$$\eta = \eta_0 (1 + A\sqrt{C} + BC)$$

$\eta_0$  étant la viscosité du solvant à l'état pur

C'est la concentration du soluté

A et B sont des coefficients dépendant du soluté

Suivant la nature des ions, le coefficient B peut prendre des valeurs positives ou négatives et rendre plus ou moins fluide le solvant (les ions ayant tendance à former des ions complexes augmentent la viscosité).

**Tableau 4 :** Viscosité relative  $\eta/\eta_0$  de l'eau de mer en fonction de la température et de la salinité. (Philippe. et Jean-Claude, 2001)

Température °C	5/1000 S	10/1000 S	22/1000 S	30/1000 S	40/1000 S
0	1.009	1.017	1.032	1.056	1.054
5	0.855	0.863	0.877	0.891	0.905
10	0.738	0.745	0.785	0.772	0.785
15	0.643	0.649	0.662	0.675	0.688
20	0.568	0.574	0.586	0.599	0.611
25	0.504	0.510	0.521	0.533	0.545
30	0.454	0.460	0.470	0.481	0.491

### **I.1.4.2. Densité de l'eau de mer**

Rapport de la masse volumique de l'eau de mer à celle de l'eau distillée à une température de 4°C. La densité des océans est en moyenne de l'ordre de 1.035 à 1.036. Elle varie avec la salinité, la température et la pression.

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

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

La caractéristique la plus importante des eaux de mer est leur salinité, c'est-à-dire leur teneur globale en sels (chlorures de sodium et de magnésium, sulfates, carbonates). La salinité moyenne des eaux des mers et océans est de 35 g/l (27,2 g/l de NaCl, 3,8 g/l de MgCl<sub>2</sub>, 1,7 g/l MgSO<sub>4</sub>, 1,26 g/l CaSO<sub>4</sub>, 0,86 g/l K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>).

Cette salinité peut être différente dans le cas de mers fermées :

- mer Méditerranée : 36 à 39 g/l,
- mer Rouge : environ 40 g/l,
- mer Caspienne : 13 g/l,
- mer Morte : 270 g/l,
- Golfe Arabo-Persique : 36 à 39 g/l.

Le pH moyen des eaux de mer varie entre 7,5 et 8,4 : l'eau de mer est un milieu légèrement basique.

#### **I.2.2. Les eaux saumâtres**

Une eau saumâtre est une eau dont la teneur en sel est sensiblement inférieure à celle de l'eau de mer. La concentration totale de sel dissous y est généralement comprise entre 1 et 10 g/L alors qu'elle est (en moyenne) de 35 g/l pour l'eau de mer. Les pays anglo-saxons considèrent qu'une eau est saumâtre à partir d'un degré de salinité compris entre 0,05 % et 1,8 %, ou dans certains cas jusqu'à 3 %. Une eau faiblement chargée en sel est qualifiée d'eau douce. Les étendues d'eau saumâtre naissent généralement d'un épanchement consécutif à la rupture d'une digue maritime. (Viviane.R, 2003)

C'est par erreur que l'on utilise ce terme pour caractériser une eau sale, opaque, parfois croupissante.

### I.3. Les paramètres de qualité de l'eau potable

#### I.3.1. Normes de potabilité :

En générale, on adopte les normes de l'OMS (organisation mondiale de santé, Genève 1986). Ces normes sont assez tolérante vis de certains critères. Il importe à chaque développement.

Les normes de qualité d'une eau potable sont données dans les tableaux suivants :

**Tableau 5 :** Paramètres physico-chimique. (OMS, 1986) et (Degremont, 1989)

Paramètres	Unités	Niveau guide	Concentration maximale admissible
Température	0°C	12	25
pH	Unité pH	6,5-8,5	8,5
Conductivité	µs/cm	400	1250
Chlorures	mg/l	25	200
Sulfates	mg/l	25	250
Calcium	mg/l	100	/
Magnésium	mg/l	30	50
Sodium	mg/l	20	200
Potassium	mg/l	10	12
Ammonium	mg/l	0,05	0,5
Nitrites	mg/l	0,01	0,1
Nitrates	mg/l	25	50
Fer	mg/l	50	200
Fluor	mg/l	400	5000
Chlore résiduel	mg/l	100	250
Argent	mg/l	/	10
Phosphore	mg/l	700	1500
Bicarbonates	mg/l	/	/
Dureté (TH)	D°F	35	/
	mg/l CaCO <sub>3</sub>	350	/

**Tableau 6 :** Paramètres microbiologiques (OMS 1986) et (Degremont, 1989)

Paramètre	Eau non traitée au captage	Eau traitée à la distribution
Germes totaux 37°C	5/ml Germes totaux 37°C	2/ml
Germes totaux 22°C		
Coliformes	100/ml	/
Escherichia coli	3/ml	0/100ml
Streptocoques fécaux	0/100ml	0/100ml
Clostridium sulfito-réducteurs	2/20ml	0/20ml
Salmonelles	0	0/5ml
Vibrions cholérique	0	0

**Tableau 7 :** Paramètres toxicologiques (OMS 1986) et (Degremont, 1989)

Paramètre	Unités	Teneur maximale admissible(TMA)
Arsenic	Mg/l	50
Cadmium	Mg/l	5
Cyanure	Mg/l	50
Cuivre	Mg/l	50
Chrome	Mg/l	50
Mercure	Mg/l	1
Plomb	Mg/l	50
Sélénium	Mg/l	10
Phénols	Mg/l	0,5
Nickel	Mg/l	0,5
Antimoine	Mg/l	10
Détergents	Mg/l	100

Pour apprécier la potabilité d'une eau, il convient de déterminer ses caractéristiques physico-chimiques et bactériologiques.

### **I.3.2. Paramètres globaux de qualité :**

On distingue quatre paramètres principaux :

#### **I.3.2.1. Paramètres organoleptique :**

##### **a. La couleur :**

La couleur est due à la présence de matières organiques dissoutes ou colloïdales. Une eau colorée n'est pas agréable pour les usages domestiques et en particulier pour la boisson, car elle provoque toujours un doute sur la potabilité.

##### **b. L'odeur et le goût :**

Une eau potable de bonne qualité a un bon goût et ne présente pas l'odeur. La saveur dépend essentiellement de la qualité et la nature des corps dissous.

Toute odeur est signe de pollution ou de la présence de matière organique en décomposition. A l'état naturel, une concentration de la minéralisation, introduit un goût plus ou moins accentué dans l'eau, si par exemple l'eau renferme une grande quantité de chlore, elle aura une saveur saumâtre.

Si elle contient de forte quantité de sels de magnésium l'eau aura un goût amer, les mauvais goûts de l'eau ne sont pas graves du point de vue de l'hygiène, mais ils sont désagréables pour l'emploi de cette eau comme boisson.

#### **I.3.2.2. Paramètres physiques :**

##### **a. Température :**

Il est important de connaître la température de l'eau avec une bonne précision. On effectue, celle-ci joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout des gaz, dans la dissociation des sels dissous donc sur la conductivité électrique, dans la détermination de pH, pour la connaissance de l'origine de l'eau et des mélanges éventuels...etc.

L'eau de boisson a une bonne fraîcheur si sa température varie entre 8°C et 12°C. (Gramer, 1992).

La température des eaux superficielles est influencée par la température de l'air d'autant plus que leur profondeur est faible. (Degremont, 1984)

##### **b. Turbidité :**

La turbidité de l'eau est liée à sa transparence. Elle donne une idée de la teneur en matières en suspension. Les eaux troubles chargées de substances finement divisées (grains de silice, matières organiques, limons...).

## Chapitre I : Propriétés de l'eau de mer et paramètres de potabilités

L'appréciation de ces matières mesure son degré de turbidité, celle-ci sera d'autant plus faible que le traitement de l'eau sera plus efficace, la mesure de la turbidité a donc un grand intérêt dans le contrôle du traitement des eaux de surface. (Rodier, 1984)

Pour la sécurité de l'eau de boisson, il faut une turbidité inférieure à 5 NTU (Unité néphélogéométrie de turbidité). Elle est mesurée avec un turbidimètre.

### c. Matières en suspensions :

Les matières en suspension sont celles qui ne sont ni solubilisées ni à l'état colloïdal, mais comportent des composés organiques et minéraux. Ce sont les matières dont la densité est supérieure à celle de l'eau. Elle augmentant la turbidité de l'eau et diminuent sa transparence.

Des teneurs élevées peuvent empêcher la pénétration de la lumière, diminuer l'oxygène dissous et limiter alors le développement de la vie aquatique. (Pesson, 1980)

Les normes en vigueur préconise que les matières en suspension doivent être absentes dans l'eau destinée à la consommation humaine.

### I.3.2.3. Paramètres chimique :

#### a. Le pH :

Le pH indique le caractère acide ou basique de l'eau, une connaissance exacte de pH est essentielle dans le domaine de la qualité physique et chimique des ouvrages (corrosivité, entartrage). (Gomella et Guerre, 1978)

Pour les eaux naturelles le Ph est compris entre 6 et 8, il est mesuré avec un pH-mètre. En effet, un pH trop élevé modifie les traitements physico-chimiques et biologiques des eaux.

#### b. La conductivité :

La conductivité est un indice de l'abondance des ions dans l'eau. La mesure de la conductivité permet d'avoir très rapidement une idée sur la concentration de l'eau en sels dissous.

Une conductivité élevée traduit soit des pH anormaux, soit le plus souvent une salinité élevée. Elle est mesurée avec un conductivimètre.

**Tableau 08** : Relation entre la conductivité et la minéralisation. (Rodier, 1984)

Conductivité ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )	Appréciation de la minéralisation
Conductivité <100	Minéralisation très faible
100<conductivité<200	Minéralisation faible
200<conductivité< 333	Minéralisation moyenne accentuée
333<conductivité<666	Minéralisation moyenne
666<conductivité<1000	Minéralisation importante
Conductivité>1000	Minéralisation excessive

## Chapitre I : Propriétés de l'eau de mer et paramètres de potabilités

Trois techniques peuvent être utilisées pour la déminéralisation d'une eau potable :

- l'électrodialyse ;
- l'osmose inverse ;
- la distillation.

### c. Salinité :

La salinité d'une eau correspond à la teneur globale en cations et en anions, elle s'exprime en mg/l. Les eaux de mer sont caractérisées par une salinité très importante. La mesure de la conductivité est influencée par le pH, la salinité, la valence des ions et le degré d'ionisation.

Il existe des relations empiriques pour déterminer la minéralisation d'une eau à partir de la mesure de sa conductivité, comme le montre le tableau :

**Tableau 09** : Détermination de la minéralisation à partir de la conductivité. (Rodier, 1984)

Conductivité ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )	Minéralisation (mg/l) à 20°C
Conductivité < 50	$1,365079 \times \text{conductivité}$
$50 < \text{conductivité} < 166$	$0,947658 \times \text{conductivité}$
$166 < \text{conductivité} < 333$	$0,769574 \times \text{conductivité}$
$333 < \text{conductivité} < 833$	$0,758544 \times \text{conductivité}$
$833 < \text{conductivité} < 10000$	$0,850432 \times \text{conductivité}$
Conductivité > 10000	

### d. La dureté :

La dureté d'une eau ou le litre hydrotimétrique est une mesure globale de la concentration en sels dissous de l'eau en calcium et en magnésium, en excès, les sels dissous dans l'eau forment un composé insoluble avec le savon qui perd ainsi une partie de son pouvoir détersif et ne mousse que difficilement.

✓ **dureté totale** : Titre hydrotimétrique (TH) :

En pratique, on considère souvent que la dureté totale d'une eau destinée à la consommation est égale à la somme de la dureté magnésienne. (Degremont, 1989)

Une eau à titre hydrotimétrique élevé est dite « dure », dans le cas contraire, il s'agit d'une eau pour l'usage domestique. On peut utiliser des eaux titrant jusqu'à 500 mg/l de « dure », dans le cas contraire, il s'agit d'une eau pour l'usage domestique.

**N.B** : 1°F (degré français) = 10mg/l de  $\text{CaCO}_3$ .

**Tableau 10** : Dureté des eaux (Degremont, 1989)

°F	0-3	3-15	15-30	>30
<b>Eau qualifiée</b>	Très douce	Douce	Dure	Très dure

**La dureté carbonatée :** Titre hydrométrique complet (T.A.C) :

Il indique globalement la teneur en carbonates contenus dans l'eau, elle s'exprime en mg/l de CaCO<sub>3</sub>.

✓ **Titre alcalimétrique simple (T.A) :**

Il permet de connaître la teneur en ions hydroxydes OH<sup>-</sup> et la moitié de la teneur en carbonates CO<sub>3</sub><sup>-</sup> et un tiers environ des phosphates présents. (Degremont, 1978).

**e. Oxygène dissous :**

L'oxygène est un élément constitutif de l'eau, sa solubilité est en fonction de la température, de la pression partielle dans l'atmosphère et de la salinité.

La teneur de l'oxygène dans l'eau dépasse rarement les 10 mg/l. Elle est en fonction de l'origine de l'eau, les eaux superficielles pouvant contenir des quantités relativement importantes proches de la saturation. Par contre les eaux profondes n'en contiennent que quelques milligrammes par litre, l'eau saturée d'air à 20°C et sous la pression normale contient 9,1 mg/l d'oxygène. Il est mesuré avec un oxymètre. (Rodier, 1984)

**f. Eléments minéraux :**

✓ **Calcium (Ca<sup>++</sup>) :**

C'est un métal alcalino-terreux extrêmement répandu dans la nature et en particulier dans les roches calcaires sous forme de carbonates.

Composant majeur de la dureté, le calcium est généralement l'élément dominant. Il existe surtout à l'état d'hydrogénocarbonates.

✓ **Magnésium (Mg<sup>++</sup>) :**

Le magnésium est l'un des éléments les plus répandus dans la nature, il constitue environ 2,1% de l'écorce terrestre élément indispensable pour la croissance, il intervient comme élément plastique dans l'os et comme élément dynamique dans les systèmes enzymatiques et hormonaux. Le magnésium intervient dans l'équilibre du système nerveux.

Le magnésium constitue un élément significatif de la dureté de l'eau, à partir d'une concentration de 100 mg/l et pour des sujets sensibles, le magnésium donne un goût désagréable à l'eau. Les teneurs en magnésium sont obtenues par la différence entre la dureté totale et la dureté calcique.

✓ **Sodium et Potassium (Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>) :**

Le sodium est plus fréquent que le potassium, il provient des échanges de bases qui s'effectuent au niveau de certains minéraux. Il n'existe pas de danger dans l'absorption de quantités relativement importantes, sauf pour certaines maladies hypertendues.

Les engrais représentent la principale source de potassium (nitrate de potassium). Ces deux éléments sont dosés par spectrophotométrie d'émission. (Tardat-Henry et Beurry, 1984)

### ✓ **Chlorures ( $\text{Cl}^-$ ) :**

Les chlorures existent dans toutes les eaux à des concentrations variables. Une présence excessive de chlorure ( $\text{Cl}^-$ ) dans l'eau la rend corrosive pour les réseaux de distribution et nocive pour les êtres humains et les plantes. Une forte fluctuation des chlorures dans le temps peut être considérée comme indice de pollution. (Tardat-Henry et Beurry, 1984)

Les chlorures sont dosés en milieu neutre par une solution titrée de nitrate d'argent, en présence de chromate de potassium.

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

Les eaux naturelles contiennent pratiquement des sulfates en proportion très variable. Les sulfates proviennent des matières d'origine animale (urines), leur présence résulte également de la légère solubilité des sulfates de calcium des roches gypseuses et de l'oxydation des sulfures dans les roches (pyrite). (Bontaux, 1983)

A de fortes concentrations, les sulfates dans l'eau peuvent provoquer des troubles gastro-intestinaux (en particulier chez l'enfant). (Degremont, 1989)

### **I.3.2.4. Paramètres bactériologiques :**

Une eau d'alimentation ne doit renfermer aucun germe pathogène. (Degremont, 1984)

On ne peut déclarer une eau comme potable que lorsque les tests microbiologiques sont négatifs, c'est-à-dire, qu'il n'y a aucun danger pour la santé humaine.

Un ensemble de micro-organismes peuvent se développer dans l'eau, ils sont d'origines diverses, la présence de germe fécaux dans l'eau peut suspecter la présence de germes pathogènes d'où le risque sur la santé humaine. Les germes tests à rechercher sont les suivants :

- ✓ Coliformes et Escherichia Coli ;
- ✓ Entérocoques fécaux, Streptocoques fécaux ;
- ✓ Colstridium et Sulfito-Réducteur.

### **I.3.2.5. Autres paramètres :**

- Paramètres de pollution (ammonium, nitrites, nitrates...)
- Eléments indésirables (fer, manganèses...)
- Eléments toxiques (plomb, chrome, cyanure...)
- Micropolluants organiques (phénols, hydrocarbures...)
- Halogénures (fluorure, bromures...).

## **Chapitre I : Propriétés de l'eau de mer et paramètres de potabilités**

---

### **Conclusion :**

Les eaux de mer présentent des caractéristiques et des propriétés différentes de celles des eaux de surface ou des eaux souterraines mais leurs paramètres de potabilité sont les mêmes.

La reconnaissance du caractère potable de l'eau exige au préalable, la détermination analytique des paramètres de qualité, dont les valeurs doivent être conformes à celles indiquées par les normes établies par les organismes chargés de veiller à la protection de la santé publique.

### Introduction

La crise d'eau potable annoncée pour les années 2000-2020 relance fortement l'intérêt de développer rapidement des techniques de dessalements moins chers, plus simples, plus robustes, plus fiables, si possible moins consommatrices d'énergie et respectant l'environnement. (Philippe et Jean-Claude, 2001)

Plusieurs méthodes permettent la séparation de l'eau de mer en eau douce contenant une faible concentration des sels dissouts, et une solution concentrée en sels. On citera notamment la distillation, l'osmose inverse, la congélation et électrodialyse. Cependant, les technologies utilisées actuellement, à l'échelle industrielle, sont celles basées sur la distillation et l'osmose inverse. (Mandri, 2011)

### II.1. Classification des divers procédés de dessalement

Le dessalement de l'eau de mer est un processus qui permet de supprimer les sels de l'eau salée ou saumâtre. Plusieurs procédés de dessalement ont été mis sur le marché mondial ; le choix d'utilisation de chacun d'eux est relatif à la disponibilité de la source d'énergie qui fait fonctionner l'appareillage de dessalement, les principales techniques de dessalement mondialement connues sont : (Maurel, 2006)

- Les procédés thermiques qui se basent sur le principe de l'évaporation de la successive condensation.
- Les procédés membranaires qui utilisent les capacités de certaines membranes à retenir les particules dissoutes dans l'eau.

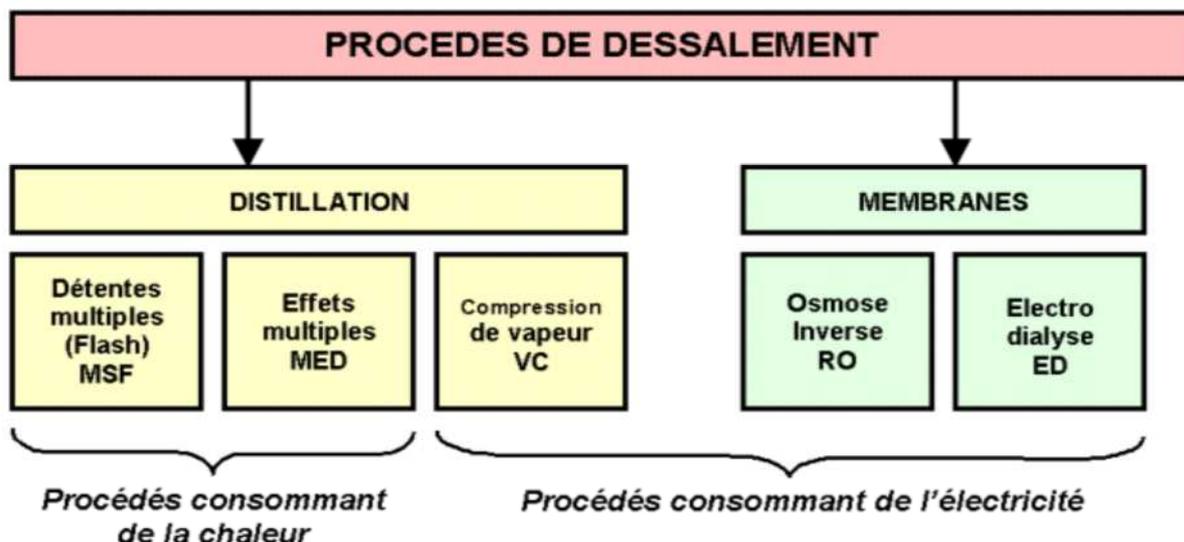
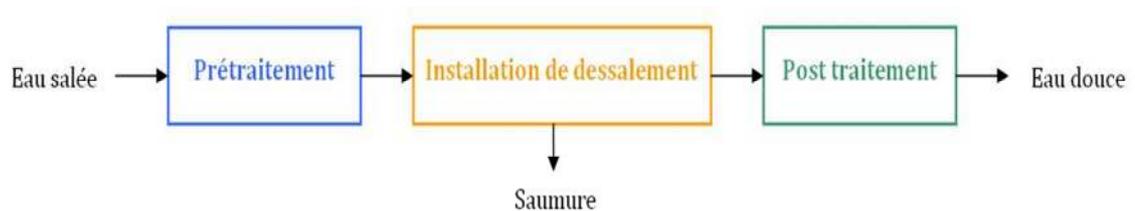


Figure1 : Les divers procédés de dessalement (Maurel, 2006).

Quel que soit le procédé de séparation du sel de l'eau envisagé, toutes les installations de dessalement comportent 4 étapes : (Maurel, 2006)

- Une prise d'eau de mer avec une pompe et une filtration grossière,
- Un prétraitement avec une filtration plus fine, l'addition de composés biocides et de produits anti-tarte,
- Le procédé de dessalement lui-même,
- Le post-traitement avec une éventuelle reminéralisation de l'eau produite.



**Figure2 :** Schéma générale d'une installation de dessalement

### II.1.1. Les procédés thermiques

Les techniques de dessalement de l'eau de mer les plus utilisées la distillation ou dessalement thermique. L'eau de mer est chauffée jusqu'à évaporation, seules les molécules d'eau s'échappent, laissant en dépôt les sels et les autres substances. La vapeur d'eau est condensée pour obtenir de l'eau douce. Ce principe de dessalement très simple est utilisé depuis longtemps.

Le principe fondamental mis en œuvre dans les procédés de distillation est le fait que la température d'ébullition de l'eau diminue avec la pression. Il s'agit dans tous les cas de distillation sous vide qui permet de travailler à des températures inférieure à 120°C. (Méricq, 2009) et (UNEP/MAP, 2003)

#### II.1.1.1. Distillation à simple effet

Un faisceau tubulaire, alimenté par un fluide chauffant est plongé dans l'eau de mer à la partie basse d'une enceinte étanche et sous vide. Le fluide chauffant provoque alors une évaporation de l'eau de mer.

La vapeur ainsi formée est condensée sur un faisceau tubulaire, placé dans la partie haute de l'enceinte et dans le quel circule l'eau de mer froide. L'eau distillée condensée du faisceau et est recueillie dans une goulotte d'où elle est pompée pour des usages divers. La température d'ébullition de l'eau de mer varie avec la pression donnée, il est important de

noter que, pour une pression donnée, il existe un écart entre la température d'ébullition de l'eau pure et celle d'une eau saline. (Danis, 2003)

### II.1.1.2. Distillation à multiples effets (MED)

Ce procédé est basé sur le principe de l'évaporation, sous pression réduite, d'une partie de l'eau de mer préchauffée à une température variant entre 70 et 80°C. (Viviane, 2003)

On utilise la distillation à multiples effets pour améliorer le rendement thermique du cycle évaporation-condensation. La chaleur de condensation de la vapeur produite dans une première chambre d'évaporation réchauffe une seconde chambre à une pression et température plus faible et ainsi de suite.

L'eau de mer chauffée dans le premier effet, vaporisant une fraction d'eau l'eau de mer, une partie de cette vapeur est condensée par le faisceau tubulaire ou circule l'eau de mer froide.

L'autre partie de la vapeur est renvoyée dans l'effet suivant, maintenu à une pression plus faible que la première. De même, une partie de la saumure chauffée dans le premier effet est également utilisée pour chauffer l'eau de mer dans le second. A chaque effet, l'eau distillée est envoyée dans un collecteur. (Danis, 2003)

L'énergie requise est principalement l'énergie thermique à fournir à la chaudière produisant le fluide de chauffage pour le premier effet. On peut cependant utiliser des chaleurs résiduelles en couplant le procédé MED à des usines de production d'électricité ou des usines rejetant produisant les eaux résiduelles à des températures de l'ordre de 80°C. il faut également de l'énergie électrique pour les pompes de circulation et la production de vide.

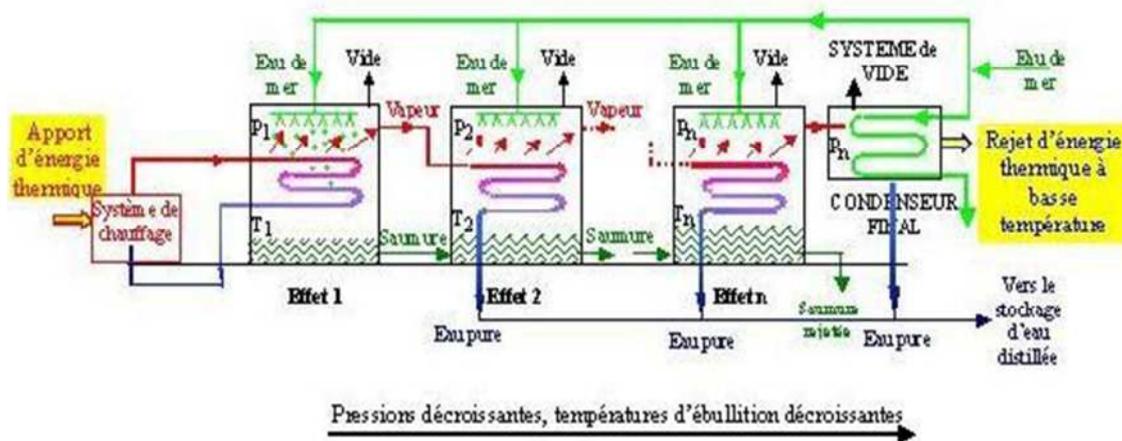


Figure 3 : Schéma de principe d'un système d'évaporateurs multiples effets (MED).

### II.1.1.3. Distillation à détonées étagées (Multi-Stage Flash distillation MSF)

## **Chapitre II : Principales technologies de dessalement de l'eau de mer**

---

La distillation est la plus vieille de toutes les technologies de dessalement. Processus de distillation MSF à détente étagée a été employée pendant beaucoup d'années et est maintenant le plus grand secteur dans l'industrie de dessalement. Le processus de MSF produit 56% en tout d'eau douce par rapport aux autres technologies de dessalement. (Hussain., 2003)

MFS n'a pas eu une grande efficacité mais une énorme capacité. Il est considéré comme une énergie intensive.

Même si ce n'est pas la technologie de dessalement la plus performante, MSF est la plus populaire.

La principale raison c'est sa grande fiabilité, sa flexibilité d'opération et influence relativement une baisse de salinité causée par le sel (tartres) dans les échangeurs de chaleur. (P.Fiorini et E.Sciubba, 2005)

La conception typique d'une installation de MSF se compose d'une section de rejet de chaleur, d'une section d'entrée de la chaleur et d'une section de récupération de la chaleur entre eux. L'eau de mer brute est examinée et chlorée avant d'entrer aux étapes successives. Elle sera pompée dans des tubes de condensateur d'une étape à une autre, alors que la saumure chaude coule au fond de ces étapes dans la direction opposée.

La saumure passe partiellement (flash) en vapeur lors d'entrée dans la prochaine étape et se condense dans le tube externe du condensateur. Lorsque la température de la saumure diminue de l'étape à l'autre, la détente dans l'étape suivante est réalisée par le chauffage global à basse pression. Dans la section d'entrée de la chaleur, la vapeur du réchauffeur est ajoutée et se condense dans le tube du condensateur.

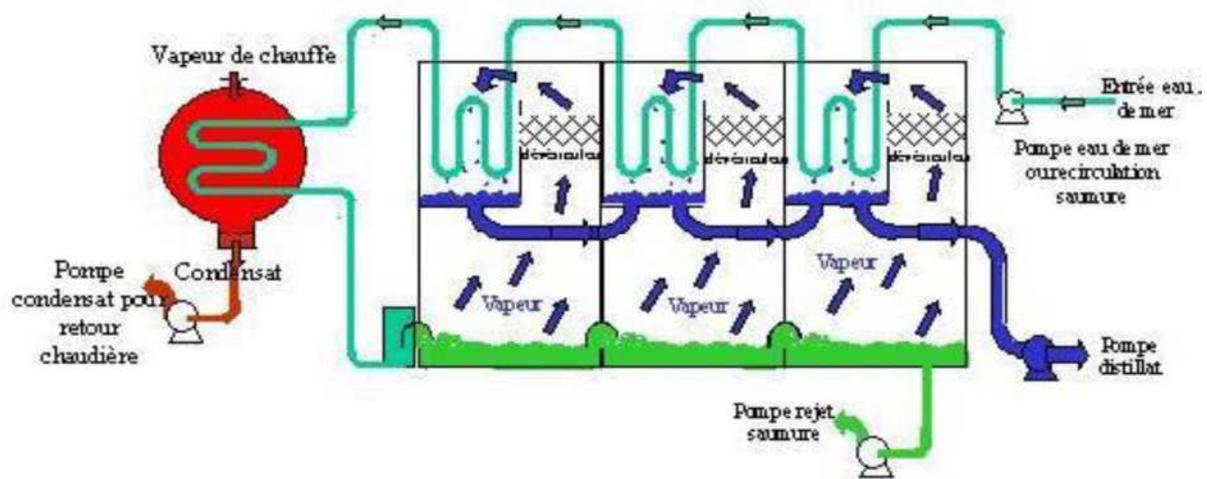
A la dernière étape, la saumure est divisée en jet recyclé et en jet d'échappement, qui est rejeté à la mer. Le jet recyclé est combiné avec la nouvelle alimentation et réintroduit à la section de récupération de la chaleur. La partie de réutilisation de saumure augmente l'extraction d'eau douce et réduit simultanément la consommation des produits chimiques en prétraitement de l'usine. (EL Dessouky, 2000)

Entre le rejet de chaleur et la section de récupération de la chaleur, l'eau entrante est également divisée en jet de décharge et en jet d'alimentation. La décharge sert seulement au

## Chapitre II : Principales technologies de dessalement de l'eau de mer

refroidissement. Les produits chimiques résiduels sont présents dans l'échappement de la saumure de la dernière étape. Puisque la saumure rejetée est habituellement mélangée avec deux fois la quantité d'eau de refroidissement. La salinité, la température et les concentrations en produits chimiques seront diminuées avant la décharge à la mer.

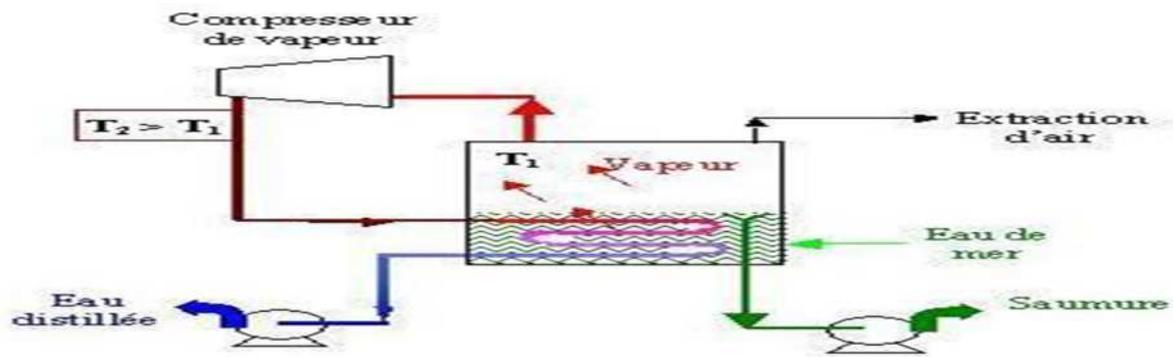
En raison de l'opération du chauffage d'eau de mer, la conception du processus doit tenir en compte les problèmes qui résultent de cet environnement dur et les différentes étapes de prétraitement sont généralement nécessaires pour augmenter la durée de vie des installations de MSF. (Heitmann, 1990)



**Figure 4 :** Principe de fonctionnement d'un système par détente étagée (MSF)  
(UNEP/MAP, 2003)

### II.1.1.4. Distillation par compression de vapeur (CV)

L'eau de mer à dessaler est portée à ébullition dans une enceinte thermique isolée. La vapeur produite est aspirée par le compresseur qui élève sa température de saturation. Cette vapeur traverse ensuite un faisceau tubulaire placé à la base de l'enceinte et se condense en provoquant l'ébullition de l'eau salée. (Rovel, 2012)



**Figure 5 :** Schéma de principe d'une unité d'évaporation simple-effet avec compression de vapeur.

**Tableau 11 :** Comparaison des Caractéristiques des différents procédés de distillation (UNEP/MAP, 2003)

	<b>MSF</b>	<b>MED</b>	<b>MVC</b>
Température de tête °C	120	70	70
Source d'énergie principale	Vapeur	Vapeur, eau chaude	Electricité
Consommation thermique kWh/m <sup>3</sup>	70-80	50-70	—
Consommation électrique kWh/m <sup>3</sup>	3.5	1.5	8-14
Capacité par ligne m <sup>3</sup> /j	5000-70000	500-12000	10-25000

### II.1.1.5. Perspectives de la distillation

Les perspectives de développement de la distillation pour le dessalement de l'eau de mer sont importantes, nous citerons les points fort de ce procédé :

- Les performances et les coûts de la distillation sont pratiquement indépendants de la salinité de l'eau de mer à traiter ;
- Les procédés de distillation ne nécessitent pas de prétraitement sophistiqué de l'eau de mer : une filtration classique et une chloration pour éviter la prolifération d'organismes marins sont généralement suffisantes ;
- La salinité de l'eau produite par distillation est très réduite (de 5 à 30 mg/l), on peut même atteindre 1mg/l, grâce à l'utilisation de séparateurs performants dans les évaporateurs ;

- Une grande partie de l'énergie nécessaire est constituée par l'énergie à bas niveau (température comprise entre 80 et 110°C) que l'on peut obtenir dans certains cas à des couts très faibles ;
- Unité de distillation moins sensible aux problèmes de colmatage ;
- Site disposant d'énergie dégradé a cout très faible ;
- Obtention d'une eau pure pour l'industrie qui atteint 5 à 30ppm de salinité

La distillation meme si elle comporte quelques inconvénients ou meme si coute assez chère est un procédé couramment utilisé pour le dessalement de l'eau de mer. C'est aussi un des plus connus et un des plus simples à reproduire. Cette technique restera longtemps en première place dans la catégorie dessalement de l'eau de mer jusqu'à la découverte d'un procédé plus performant et moins couteux.

### II.1.2. Les procédés membranaires

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 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. (Jamaly et *al.*, 2014) et (PNUE, 2001)

#### II.1.2.1. Filtration

La filtration est un procédé de séparation permettant de séparer les constituants d'un mélange qui possède une phase liquide et une phase solide au travers d'un milieu poreux.

L'utilisation d'un filtre permet de retenir les particules du mélange hétérogène qui sont plus grosses que les trous du filtre (porosité). Le liquide ayant subi la filtration se nomme filtrat, et ce que le filtre retient se nomme un résidu ou retenait.

Il existe deux techniques principales de filtration :

- La filtration frontale, la plus connue, consiste à faire passer le fluide à filtrer perpendiculairement à la surface du filtre. Les particules étant retenues par le filtre, cette technique est limitée par l'accumulation des particules à sa surface, qui finissent peu à peu par le boucher (le colmatage).

- La filtration tangentielle, consiste à faire passer le fluide tangentiellement à la surface du filtre. C'est la pression du fluide qui permet à celui-ci de traverser le filtre et le bouchage s'effectue ainsi beaucoup moins vite.

Suivant la taille des pores du filtre on peut nommer différemment la filtration :

### **II.1.2.2. Microfiltration**

C'est un procédé de séparation solide-liquide à travers des membranes poreuses dont le diamètre des pores est compris entre 0,1 et 10  $\mu\text{m}$ . Elle utilise une différence de pression comme force motrice et permet la rétention des bactéries et des particules en suspension. (Allgeier, 2001).

### **II.1.2.3. Ultrafiltration**

L'ultrafiltration est une filtration où le liquide traverse une membrane semi-perméable grâce à une différence de pression. Les particules en solution ou en suspension de haut poids moléculaire sont retenues tandis que l'eau et les molécules de faible poids moléculaire passent à travers la membrane. Elle utilise des membranes dont les diamètres des pores sont compris entre 1 et 100 nm. Ce processus de séparation est utilisé dans l'industrie pour purifier et/ou concentrer des solutions de macromolécules (10<sup>3</sup>-10<sup>6</sup> gr/mol) notamment les protéines. (Allgeier, 2001).

### **II.1.2.4. Nanofiltration**

La nanofiltration est un procédé de séparation effectué sur une membrane semiperméable par l'application d'une différence de pression qui est la force motrice. Elle permet la séparation de composants ayant une taille en solution voisine de celle du nanomètre d'où son nom. Elle a été surtout utilisée dans l'adoucissement de l'eau (enlèvement des ions bivalents, en l'occurrence le calcium et le magnésium responsables de la dureté). (Chellam et Jacangelo, 1997).

### **II.1.2.5. Electrolyse**

L'électrolyse est une technique qui assure l'extraction des ions contenus dans une solution. L'appareil qui l'effectue, un électrolyseur, est composé de nombreux compartiments séparés par des membranes alternativement anioniques et cationiques. Lors de l'action du champ électrique, la membrane anionique autorise le passage des anions et la membrane cationique autorise le passage des cations. Les cations sortent du premier compartiment en franchissant la membrane cationique et sont bloqués dans le deuxième compartiment par la membrane anionique. Les anions sortent aussi du premier compartiment

en franchissant la membrane anionique et sont bloqués dans le deuxième compartiment par la membrane cationique. Le premier compartiment a sa concentration en sel dissous qui diminue. C'est un compartiment de dilution. Le deuxième compartiment augmente en sels dissout c'est un compartiment de concentration. Donc un compartiment en dilution le suivant est en concentration et ainsi de suite. Une électrode à chaque extrémité de l'appareil assure le passage du courant. A la fin du traitement on récupère à la fois de l'eau douce et du saumure. L'électrodialyse est surtout utilisée pour le dessalement de l'eau de mer.

### **❖ Les membranes d'électrodialyse (Maurel, 2006)**

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 ( $\text{SO}_3^-$ ).
- Les membranes échangeuse d'anions qui sont perméables uniquement aux anions et dont le groupement fonctionnel est en général un groupement ammonium quaternaire ( $\text{NR}_3^+$ ).

On distingue trois types d'électrodialyse :

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

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

#### **a. L'électrodialyse dite conventionnelle**

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

#### **b. L'électrodialyse à membrane bipolaire**

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

### c. L'électrolyse à membranes

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

#### II.1.2.6. 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.

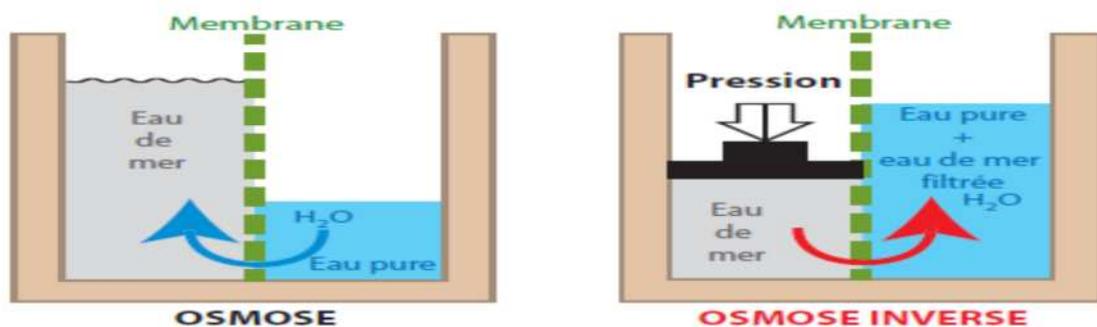


Figure 6 : Principe de l'osmose et de l'osmose inverse (Bushnak, 2012).

#### ❖ Osmose inverse Procédé de choix (Maurel, 2006)

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

- 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

### ❖ 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 :

- 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.

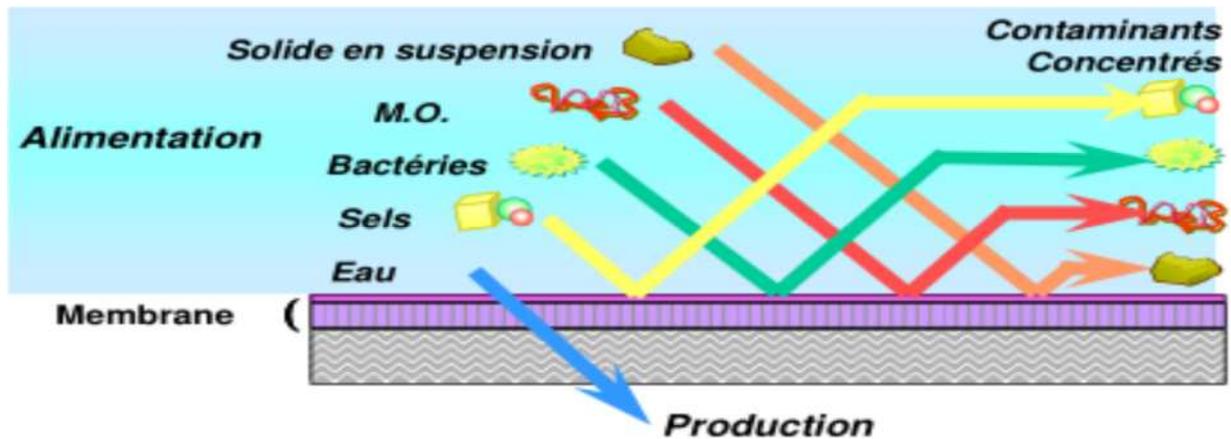
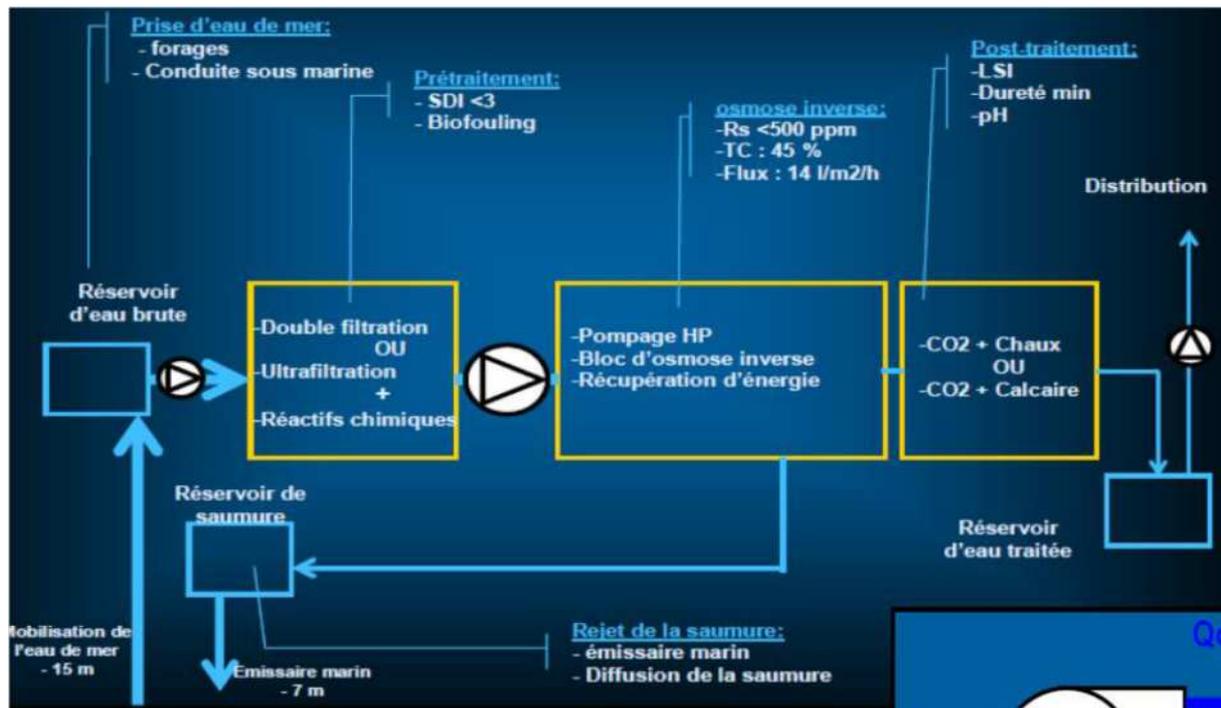


Figure 7: Mécanisme de transfert de matière (Maurel, 2006)

#### II.1.2.6.1. Schéma général d'une installation d'osmose inverse

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

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



**Figure 8 :** Éléments constitutifs d'une unité d'osmose inverse (Lattemann, 2010)

### ➤ Le prétraitement

Il est essentiel dans le procédé d'osmose inverse parce que les surfaces des membranes doivent rester propres. Tous les solides en suspension sont donc éliminés et l'eau est traitée afin d'éviter la précipitation des sels ou le développement de micro-organismes.

L'étape de prétraitement comprend une filtration très fine (maintenant à l'aide des membranes de nano filtration) et un traitement acide (ou l'addition d'autres produits chimiques) qui empêche le développement des micro-organismes. La pompe à haute pression fournit la pression nécessaire pour faire passer l'eau douce à travers la membrane.

### ➤ Membranes d'osmose inverse

#### Les membranes

Est appelée membrane tout matériau qui mis sous la forme de parois minces a la propriété d'opposer une résistance sélective au transfert des différents constituants d'un fluide et donc de permettre la séparation de certains des éléments composant ce fluide.

La membrane est constituée d'une surface plane dont la perméabilité est sélective. Son objectif principal est d'éliminer le sel. Elle assure également la rétention des composants indésirables dans l'eau (micro algues, bactéries, certains virus, microorganismes, micropolluants), supprime la turbidité (eaux troubles), limite les sous-produits de désinfection et permet la production d'une eau épurée.

### Caractérisations des membranes :

La caractérisation d'une membrane revient à mesurer les paramètres suivant :

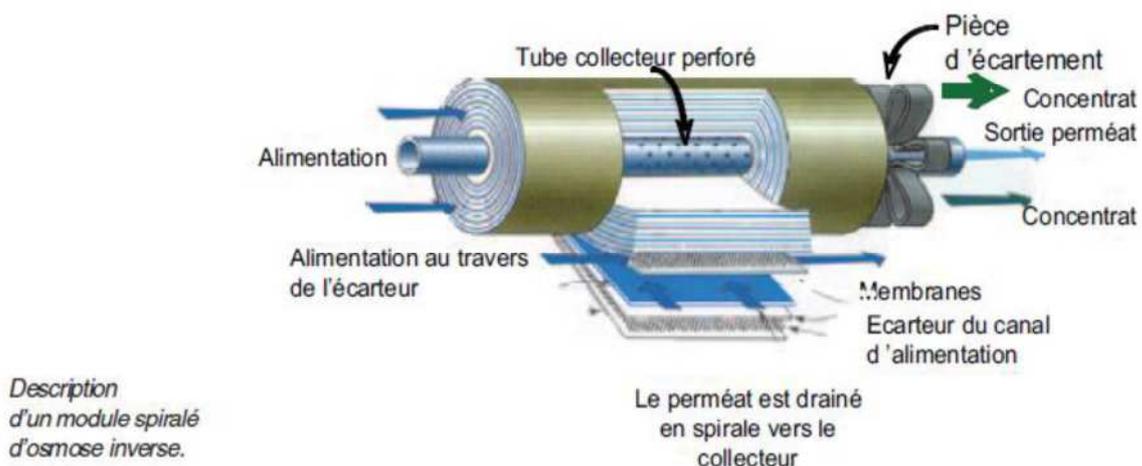
- la distribution des tailles des pores
- la perméabilité à l'eau
- la sélectivité de la membrane

#### ➤ Les modules des membranes d'OI :

Actuellement quatre types de modules sont commercialisés et les membranes les plus couramment utilisées pour le dessalement de l'eau de mer sont la membrane à fibre creuse et la membrane de type spirale

#### • Modules spirales

Les modules de type spiralés sont constitués d'une membrane plane et des espaceurs qui sont enroulés sur un tube destiné à recueillir le perméat, de manière à former des canaux permettant l'écoulement du perméat et de la solution.



**Figure 9:** Module d'osmose inverse à enroulement spiral (Rovel, 2012)

#### • Modules à fibres creuses

Les modules à fibres creuses sont constitués de paquets de minuscules tubes capillaires poreux, les ions sont rejetés lorsque l'eau traverse les parois des tubes et le perméat est recueilli l'intérieur du canal centrale de fibres, les saumures se concentrent à l'extérieur des fibres contenues dans un réservoir.

#### • Modules tubulaires

Ce type de module est constitué de tubes métalliques ou plastiques sur lesquels est fixée la membrane semi-permeable. Le diamètre du tube est de 5 à 15 mm. En générale l'eau de mer sous pression circule à l'intérieur du tube et l'eau douce produite est récupéré à l'extérieur du tube, le tube est soit poreux, soit perforé de trous permettre l'évacuation du perméat.

- **Modules plans**

Ce type de module qui est le plus simple, est aussi le plus ancien. Il peut se présenter soit sous forme de plaques unitaires, soit sous forme de cartouches, un des paramètres importants est la distance entre membranes :

- faible épaisseur : nécessite de pré-filtration et difficulté de nettoyage.
- forte épaisseur : volume mort important et énergie de pompage élevée.

### II.1.2.6.2. Choix des paramètres de fonctionnement (Maurel, 2006) et (Rovel, 2012)

- ❖ **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.

### **II.1.2.6.3. 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.

### **II.1.2.6.4. 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.

### **II.1.2.6.5. Les paramètres influençant le fonctionnement d'un système d'osmose inverse**

(Maurel, 2006), NRC (2008) et (Rovel, 2012)

#### **a) le vieillissement des membranes :**

La productivité des membranes diminue avec le temps, cette diminution est due au compactage et au vieillissement des membranes, pour prédire la baisse des performances des membranes on peut se baser sur :

- une diminution du flux de 7% par an.
- une augmentation du passage en sels de 10% par an.

### b) Le dimensionnement :

Un bon dimensionnement du système d'osmose inverse permet d'optimiser son exploitation, par diminution des risques de colmatage rapide ; le bon dimensionnement permet aussi de diminuer le compactage naturel des membranes

### c) condition d'exploitation :

Un système d'OI doit fonctionner le plus possible en continu afin d'éviter les arrêts et les démarrages brusques qui entraînent des cycles répétés de compression et de relâchement des membranes ce qui accélère leur vieillissement il faut aussi éviter les coups de bélier qui endommagent la couche active des membranes, ce qui se caractérise par l'empreinte des espaceurs sur la surface visible des membranes.

On peut aussi constater le vieillissement ou le mauvais fonctionnement des membranes en surveillant l'évolution de la perte de charge tout au long des éléments.

Le procédé d'OI semble être la technologie du futur pour le traitement de l'eau .En effet, ce procédé non polluant permet de produire une qualité constante quel que soit la qualité de l'eau brute.

### La durée de vie d'une membrane :

La durée de vie d'une membrane dépend évidemment de ses qualités chimiques et ses conditions d'emploi :

- pression de fonctionnement
- température
- pH
- qualité du pré traitement



Figure 10: Module des membranes (Rovel, 2012)

### II.1.2.6.6. Les paramètres influençant sur les membranes

La membrane est le point clef des installations par osmose inverse. Or la séparation membranaire possède un talon d'Achille : le colmatage de la membrane.

#### ❖ Que peut-il causer l'encrassement des systèmes d'osmose inverse?

Quatre différents types d'encrassement sont identifiés:

- Encrassement par les particules ;
- Biofouling (encrassement biologique) ;
- Encrassement Organique ;
- Colmatage.

#### a) Biofouling :

- Défini comme l'accumulation des bactéries, y compris sur la surface due à l'attachement et la croissance bactérienne.
- L'accumulation de biomasse/ formation du biofilm à tel niveau que des problèmes opérationnels surviennent, est appelée. «**Biofouling** » (Maurel, 2006).
- Le Biofouling dans les systèmes d'Osmose Inverse et nanofiltration est causé par les bactéries, sont partout. Même dans l'eau potable. La taille d'une Bactérie est petite entre 0.1–10  $\mu\text{m}$ (Maurel, 2006).
- Les Bactéries ont tendances pour adhérer aux surfaces, y compris les surfaces membranaires. Elle produisent des substances polymères extra cellulaire (Polysaccharides, Protéines, Glycoprotéines, Lipoprotéines, autres macromolécules), ces substances sont à l'extérieur des cellules et agissent comme une "colle".

#### Compréhension du problème :

- La raison fondamentale du biofouling est la présence de la nourriture dans l'eau d'alimentation .La bactérie dans l'eau à besoin de la matière organique pour survivre et se multiplier. Quand un excès de nourriture est disponible le nombre des bactéries augmente. (Jamaly et al., 2014) ;
- Le chlore oxyde la matière organique et la transforme en matière organique assimilable, et ces matières formés par chloration de l'eau brute ;
- En effet, le Chlore réagit avec la matière organique naturelle tel que l'acide humique pour former du carbone organique assimilable / biodégradable ;
- Le Chlore coupe les molécules larges de l'acide humique en petits morceaux, qui sont assimilables (peuvent être mangés) par les bactéries ;

- La nourriture peut être introduite par : l'acide sulfurique contaminée ou l'acide Chlorhydrique, due au nettoyage insuffisant des citernes de stockage ou acide utilisé ailleurs ;
- Les séquestrant qui sont biodégradables (les acides poly carboxyliques, Les acides poly maléiques, Les acides poly acryliques, Les phosphorâtes). (Jamaly et *al.*, 2014)

**b) L'encrassement organique:** Il peut être provoquée par la matière organique naturelle; acides humiques due à:

- L'adsorption ou la réaction chimique avec le matériau de la membrane
- Précipitation due au changement du pH dans l'eau d'alimentation (dose d'acide) dépassant la solubilité due à la concentration dans les saumures« Produits de pétrole, Polymères organiques utilisés dans le prétraitement »

**c) L'entartrage :**

Les composés inorganiques faiblement solubles présents l'eau brute, voient leurs concentrations augmenter dans la saumure (concentrât). La précipitation peut avoir lieu quand la solubilité va être dépassée

**Exemples :**

- Carbonate de calcium Sulfate de calcium ;
- Silice (SiO<sub>2</sub>) Sulfate de baryum ;
- Sulfate de strontium.

**Comment éviter l'entartrage:**

- Ne pas dépasser la solubilité d'aucun composé.

Cette approche limite le taux de conversion, ce qui engendre un prétraitement plus important et une perte d'eau et d'énergie.

- Dosage d'un acide pour éliminer la super saturation.
- ❖ Ceci est applicable seulement pour le carbonate de calcium.
- ❖ Dosage d'un séquestrant (en combinaison avec un acide)
- ❖ Le séquestrant permet un taux de super saturation Sr significatif des composés inorganiques faiblement solubles. (Maurel, 2006)

**d) L'encrassement par particules:**

- Les particules en suspension et colloïdales ex:
  - ↳ argile \*Matières organiques
  - ↳ Coagulants « Fe (OH) <sub>3</sub>, Al (OH) <sub>3</sub> »

- ↳ Algues \*Bactérie, sans multiplication
- ↳ fer (II) adsorbé et oxydé en  $\text{Fe}(\text{OH})_3$
- ↳ Manganèse (II) adsorbé et oxydé en  $\text{Mn}_3\text{O}_4$   $\text{MnO}_2$

### e) Colmatage des membranes :

- Le dépôt de matières entraîne la formation d'une couche à la surface de la membrane ce qui a pour conséquence de réduire le débit de filtration et donc les Performances de l'opération. Le colmatage est responsable dans trois quarts des cas du vieillissement de la membrane.
- Le colmatage est un des problèmes les plus importants que l'on rencontre lors de la mise en œuvre des techniques à membranes.
- Il peut être défini comme une diminution de débit de perméat au cours du temps qui associée en générale à une variation de la sélectivité.
- Les dépôts qu'ils rencontrent peuvent être de nature très diverses :
  - ✓ Les sels minéraux (carbonate de calcium, sulfate de calcium, sulfate de magnésium).
  - ✓ Les hydroxydes (hydroxyde de fer).
  - ✓ Les matières organiques (protéine, gels divers).
  - ✓ Les films biologiques provenant de développement, bactérien.
  - ✓ La concentration top élevée (soit la concentration moyenne, soit les surconcentrations local dues aux phénomènes de polarisation).
  - ✓ La présence des matières en suspension qui se déposent sur les membranes par suite de conditions hydrodynamiques favorables (vitesse faible).
  - ✓ La réaction d'adsorption entre certaines molécules et les matériaux membranaires
  - ✓ Moyens de prévention du colmatage :
  - ✓ Les moyens de prévention doivent être adaptés à la nature de phénomène qui est à l'origine de colmatage. (Jamaly et al, 2014) et (Maurel, 2006)

### Nettoyage des membranes :

Le choix des solutions de nettoyage dépend, d'une part, de la nature des dépôts qui sont à l'origine du colmatage et d'autre part, de la nature des membranes : il faut en effet dissoudre des dépôts sans détériorer ces dernières. (Maurel, 2006) et (Rovel, 2012).

- On comprend dans ces conditions que chaque fournisseur de membrane préconise pour chaque cas une solution de nettoyage fonction de la nature de la membrane et de la nature du dépôt.

- Quand les membranes sont encrassées une pression plus élevée est nécessaire pour maintenir les flux (capacité).
- Pour éviter un encrassement irréversible les fabricants des membranes recommandent de nettoyer chimiquement les membranes quand la pression augmente de 10-15%

### **Nettoyage par contre pression:**

Cette procédure appelée en anglais « back flushing » consiste à employer une pression dirigée du circuit de perméat vers le circuit de concentrât. Un volume contrôlé et perméat traverse la membrane en sens inverse et, dans de nombreux cas, élimine une partie des dépôts, l'efficacité de ce nettoyage dépend beaucoup d'une part de type de dépôt, et d'autre part de la fréquence et de l'amplitude des impulsions de la pression appliquée à contre-courant.

### **Les produits chimiques utilisés pour le nettoyage des membranes :**

- Acide citrique pour éliminer le fer ;
- Soude caustique avec EDTA (pH=10, non acétate cellulose) pour éliminer la matière organique et le biofouling ;
- Produits Commerciaux (détergents).

### **II.1.2.6.7. Avantages des procédés à membranes :**

Avant tout, ils permettent de diminuer par 3 ou 4, les consommations énergétiques par rapport au dessalement thermique. Toutefois, les chercheurs travaillent à améliorer certains points: gérer les résidus (concentrât) pour améliorer le bilan environnemental,

- Augmenter le rendement : le volume d'eau pompée est 2 à 3 fois supérieur au volume d'eau potable produite par le dessalement ;
- maîtriser les phénomènes de colmatage ;
- réduire les coûts de fonctionnement.

## **II.1.3. Autres procédés de dessalement**

### **II.1.3.1. 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 mer jusqu'à environ ( $-2^{\circ}\text{C}$ ), 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 décahydraté à la tendance à participer pour produite de l'eau au-dessous de cette température. (Maurel, 2006)

### II.1.3.2. Echange d'ions

Certaines résines, insolubles, ont la propriété d'échanger certains de leurs ions avec ceux des sels dissous dans la solution (eau de mer) avec laquelle on met ces résines en contact. On utilise les résines ainioniques pour échanger les anions de la solution par des ions  $\text{OH}^-$  et les résines cationiques qui permettent de remplacer les cations  $\text{Na}^+$  par des ions  $\text{H}^+$ . ce procédé est plutôt utile pour déminéraliser l'eau de faible teneur en sel. (Maurel, 2006)

### II.1.3.3. Distillation solaire

On utilise surtout la distillation solaire pour obtenir des petites quantité d'eau douce. Cette méthode est fréquemment utilisée dans les iles grecques et en Polynésie par l'énergie solaire globale qui atteint le sol dans les régions tropicales et équatoriales et qui est d'environ  $58.6 \text{ KJ (m}^2 \cdot \text{min)}$  et un évaporateur solaire constitué d'un bac pour contenir l'eau à faire évaporer et pour absorber l'énergie solaire, une toiture de verre ou de matière plastique ainsi que deux rigoles destinées à recevoir l'eau douce produite. L'énergie rayonnante de fiable longueur d'onde traverse la toile de verre, absorbée en grande partie par l'eau et par le fond du bac pour etre convertie en énergie thermique produisant ainsi de l'eau douce qui s'infiltrer vers les rigoles se trouvant latéralement au bec. (Maurel, 2006)

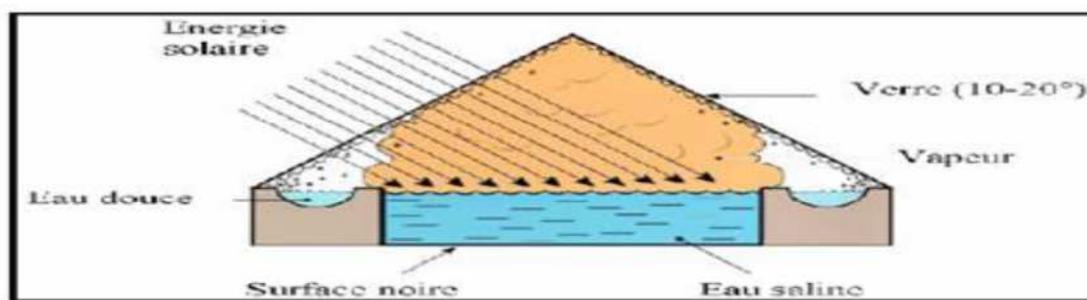


Figure 11 : Distillation solaire (Maurel, 2006)

### II.1.4. Consommation énergétique

#### Consommation énergétique d'une usine de dessalement

Pour le calcul de la consommation énergétique de l'usine, nous prendrons en compte les éléments suivants :

- Pompes de captage
- Pompes Hautes Pression (HP)
- Autres sources (éclairage, ventilation, ...)
- Récupérateurs d'énergies (échangeurs de pression, turbines, ...)

Moyennes de consommation énergétique de procédés de traitement de l'eau :

Il existe des valeurs moyennes calculées par Veolia Environnement et présentées dans le Tableau :

**Tableau 12 :** Consommation électrique de filières de production d'eau potable (UNEP/MAP, 2003)

Filière de production d'eau potable	Consommation Electrique (Wh/m <sup>3</sup> d'eau potable)
Traitement conventionnel	50-150
Traitement membranaire (UF ou MF)	100-200
Traitement membranaire avancé d'eau de surface ou de nappe	250-700
Dessalement d'eau saumâtre (NF ou OI)	600-1500
Dessalement d'eau de mer avec système de récupération d'énergie (OI)	3000-5000
Dessalement d'eau de mer sans système de récupération d'énergie (OI)	5500-8000
Dessalement thermique (distillation)	>6000
Réutilisation d'eau usée	250-1500
Traitement des boues	5-15

Pour le procédé de dessalement d'eau de mer par osmose inverse (OI) avec système de récupération d'énergie, la consommation moyenne d'électricité est de 3 à 5 kWh/m<sup>3</sup> d'eau produite.

### II.2. Dessalement dans le monde et en Algérie

#### II.2.1. La croissance prévue du marché de dessalement dans le monde

La capacité installée des stations de dessalement dans le monde a augmenté à un taux moyen de 12% par an au cours des cinq dernières années, et on prévoit que le taux de croissance de la capacité va augmenter encore plus loin. Fondée sur une analyse pays par pays, impliquant des projets de dessalement et des données officielles sur l'approvisionnement en eau et de la demande, des agences à travers le monde, la capacité installée pourrait plus que doubler à 98 Mm<sup>3</sup> / j en 2015. (UNEP/MED, 2002a)

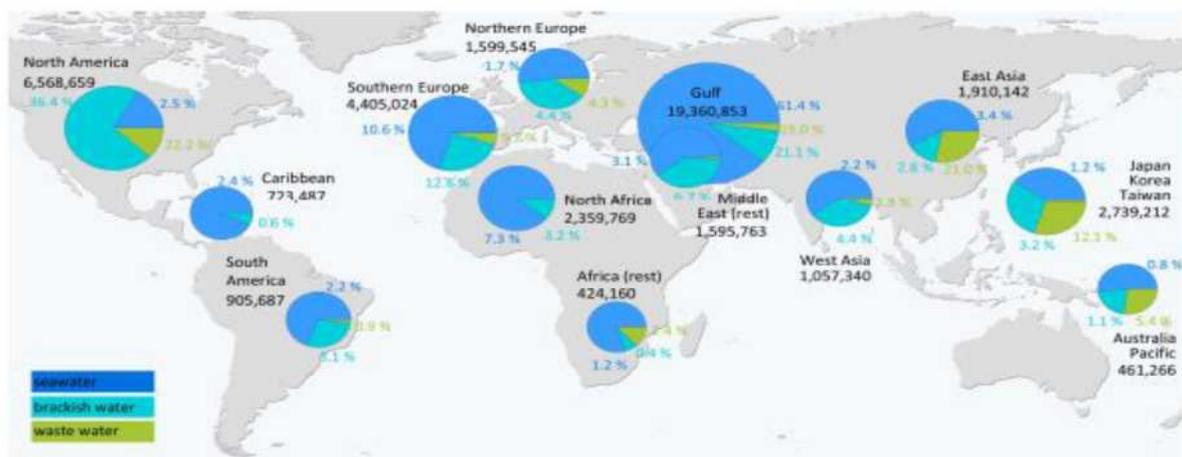


Figure 12 : Capacité de dessalement mondial en m<sup>3</sup> / j et %.

Par exemple, la capacité installée en Europe du Sud est 4.405.024 m<sup>3</sup> / j. Ce chiffre comprend tous les types de sources d'eau. Représente la production en dessalement en Europe du Sud. Les chiffres à droite du schéma circulaire donnent la contribution à la production mondiale, à savoir la capacité de dessalement de l'eau de mer en Europe du Sud représente 10,6% de la capacité mondiale de dessalement. (Lattemann, 2010)

#### II.2.2. Le dessalement dans La mer Méditerranée

En Méditerranée, la production totale de dessalement de l'eau de mer est d'environ 4,0 Mm<sup>3</sup> / j (14% de la capacité mondiale de dessalement (figure II.5). L'Espagne, avec environ 8% de la production totale du monde (2,2 Mm<sup>3</sup> / j), est le troisième plus grand producteur d'eau dessalée à l'échelle mondiale et le plus grand dans la région. Cependant, environ 25% de la capacité espagnol est situé sur les îles Canaries dans l'océan Atlantique, et «seulement» environ 65% en Méditerranée. (Lattemann, 2010) Le programme espagnol AGUA permettra

## Chapitre II : Principales technologies de dessalement de l'eau de mer

d'accroître encore l'approvisionnement en eau sur la côte méditerranéenne par l'augmentation de la capacité de dessalement, de 1,4 Mm<sup>3</sup> / j (2005) à plus de 2,7 Mm<sup>3</sup> / j (1 000 hm<sup>3</sup> / an) jusqu'en 2010. Bien que les processus thermiques (MSF et MED) dominent dans la mer Rouge du Golfe, le processus principal dans la Méditerranée est le dessalement de l'eau de mer par l'osmose inverse OI (SWRO). En 2002, à la fois les installations d'OI et de distillation avaient encore de parts de marché égales dans la Méditerranée. (UNEP/MED, 2002b) Aujourd'hui, le procédé d'OI représente 70% de la production en Méditerranée et pour 99% de la production espagnole en Méditerranée. Les installations de distillation se trouvent encore en Libye et l'Italie (en ordre décroissant de priorité), mais de nouvelles usines dans ces pays sont aussi des installations souvent en OI. Un grand exemple sur l'évolution dans le domaine de dessalement actuellement qui est en Algérie, marché le plus dynamique de dessalement de l'Afrique du Nord, où aussi la première grande usine d'OI (200 000 m<sup>3</sup> / j) a été ouverte en Février 2008. C'est la première dans une série d'autres grands projets qui augmentera la capacité de dessalement du pays à 2 Mm<sup>3</sup> / j en 2008 et à 4 Mm<sup>3</sup> / j d'ici 2020. Sur la côte méditerranéenne, deux grandes installations d'OI sont mises en service avant 2010- l'usine d'Ashkelon avec une capacité de 330 000 m<sup>3</sup> / j qui est aussi celle des plus grands projets de dessalement d'eau de mer par OI (SWRO) dans le monde, et l'usine de Palmachin (83 270 m<sup>3</sup> / j). (Lattemann, 2010) et (UNEP/MAP, 2003)

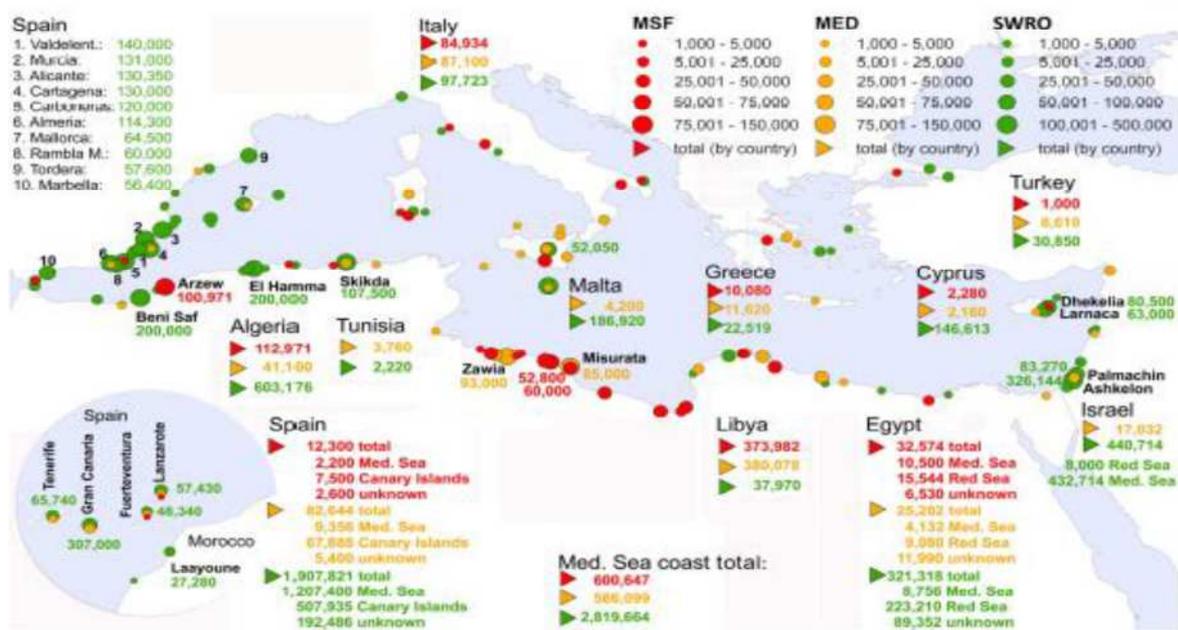


Figure 13 : Capacités cumulatives MSF, MED et OI dans la mer Méditerranée en m<sup>3</sup> / j.

(Lattemann, 2010).

### II.2.3. Dessalement en Algérie

L'expérience algérienne en matière de dessalement des eaux est étroitement liée au développement de l'industrie et tout particulièrement de l'industrie pétrolière et sidérurgique. Le recours au dessalement en vue d'un usage destiné exclusivement à l'alimentation de la population en eau potable est quasi-inexistant. Une seule expérience a été tentée dans une situation où il n'existait aucune autre solution. Il s'agit de l'unité de déminéralisation d'Ouled Djellaba dans la Wilaya de Biskra (Sud- Est Algérien).

En 1964, trois petits blocs de 8 m<sup>3</sup>/h chacun ont été installés au complexe Gaz liquéfié d'Arzew (ville côtière à l'ouest du pays). Le procédé utilisé est la distillation à multiple effet.

En 1969, une autre installation a vu le jour à Arzew avec une capacité de production de 4560 m<sup>3</sup>/j. Le procédé utilisé est le multi stage flash. (Amitouche et Remini, 2014)

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

Algérienne des Eaux (entreprise nationale) qui a amorcé la première expérience en matière de dessalement de l'eau de mer par la réalisation de 23 stations monobloc, d'une capacité totale de 57.500 m<sup>3</sup>/j , dans le cadre d'un programme d'urgence, dans les wilayas de Tlemcen, Oran, Tipaza, Alger, Boumerdès, Skikda et Tizi-Ouzou et 14 grandes stations d'une capacité totale de 1.940.000 m<sup>3</sup>/j sont mises en service en 2003 et 2005. (Algerian of Water, 2012)

Des autres stations sont mises en service dans les années 2009, 2010 et 2011. Il s'agit notamment des stations de Skikda (100 000 m<sup>3</sup>/j), Beni Saf (200 000 m<sup>3</sup>/j), Souk Tlata et Honaine à Tlemcen (200 000 m<sup>3</sup> /j de chacune), Mostaganem (200 000 m<sup>3</sup>/jour), Fouka et Oued Sebt à Tipaza (respectivement 120 000 m<sup>3</sup>/j et 100 000 m<sup>3</sup>/j) et Cap Djinet à Boumerdès (100 000 m<sup>3</sup>/j). Des autres stations sont, également, en cours de réalisation à la wilaya de Chlef (200 000 m<sup>3</sup>/j), El Tarf (50 000 m<sup>3</sup>/j) et la plus importante station est celle de Magtaâ, à Mostaganem, avec une capacité de production de 500 000 m<sup>3</sup>/j. (Mozas et Ghosn, 2013)

La production en eau dessalée sera, selon les experts, passe de 500 000 m<sup>3</sup>/jour en 2008 à 1 100 000 m<sup>3</sup>/jour en 2009 et 2 260 000 m<sup>3</sup>/jour en 2011 pour atteindre 4 million m<sup>3</sup>/j en 2020. (Lattemann, 2010) et (Moustiri, 2011)

## Chapitre II : Principales technologies de dessalement de l'eau de mer

### II.2.4. Les stations de dessalement en Algérie

#### II.2.4.1. Stations monoblocs

20 petites stations de dessalement d'eau de mer pour une capacité de 53 000 m<sup>3</sup>/j ont été réalisées et réparties à travers 08 wilayas. Cette opération a fait l'objet d'une passation de deux marchés.

08 stations du tableau II.1, sur 05 sites d'une capacité globale de 22 500 m<sup>3</sup>/j ont été réalisées par l'entreprise Allemande LINDE-KCA.

**Tableau 13 :** stations réalisées par LINDE-KCA (Algerian of Water, 2012)

N°	Wilaya	Site	Commune	Capacité (m <sup>3</sup> /j)
01	Tlemcen	Ghazaouet	Ghazaouet	2 500
02		Ghazaouet II	Ghazaouet	2 500
03	Tipaza	Bou-Ismaïl	Bou-Ismaïl	5 000
04	Alger	Champ de tir	Zeralda	2 500
05		Champ de tir II	Zeralda	2 500
06		Palme Beach	Staouali	2 500
07		La Fontaine	Ain Benian	2 500
08		La Fontaine	Ain Benian	2 500
total	8 stations			22 500

11 stations sur 07 sites d'une capacité globale de 30 500 m<sup>3</sup>/j ont été réalisées par l'entreprise Algérienne HYDRO-TRAITEMENT données dans le tableau suivant :

**Tableau 14 :** Stations réalisées par HYDRO-TRAITEMENT (Algerian of Water, 2012)

N°	Wilaya	Site	Commune	Capacité (m <sup>3</sup> /j)
01	Alger	La Fontaine 3	Ain Benian	2 500
02		Cap Caxine	Hammamet	2 500
03		Bateau Cassé1	Bordj El kifane	2 500
04		Bateau Cassé2	Bordj El kifane	2 500
05		Bateau Cassé3	Bordj El kifane	2 500
06		Reghaïa plage	Reghaïa	2 500
07	Boumerdes	Corso	Corso	5 000
08	Skikda	Larbi B.M'hidi1	Larbi B.M'hidi	2 000
09		Larbi B.M'hidi2	Larbi B.M'hidi	3 000
10		Larbi B.M'hidi3	Larbi B.M'hidi	2 500
11		Larbi B.M'hidi4	Larbi B.M'hidi	2 500
12	Tizi-Ouzou	Tigzirt	Tigzirt	2 500
Total	12 stations			30 500

#### II.2.4.2. Bilan de production des stations

Pour faire ressortir le rendement des stations monoblocs, nous avons suivi l'évolution de leur production annuelle pendant la période (2003-2008).

## Chapitre II : Principales technologies de dessalement de l'eau de mer

Evolution de la production 2003-2008 :

**Tableau 15** : bilan de production de LINDE-KCA (Algerian of Water, 2012)

Année	Production (m3)		Rendement (%)
	Prévue	Réelle	
2003	1 175 000	745 201	63%
2004	6 757 500	4 231 197	63%
2005	8 212 500	4 565 538	56%
2006	8 212 500	5 549 549	68%
2007	8 212 500	3 983 824	49%
2008	8 235 000	3 906 642	47%
<b>Total</b>	<b>40 805 000</b>	<b>22 981 951</b>	<b>56%</b>

**Tableau 16** : bilan de production HYDRO-TRAITEMENT (2003-2008) (Algerian of Water, 2012)

Année	Production (m3)		Rendement (%)
	Prévue	Réelle	
2003	3 932 500	756 205	19%
2004	6 775 000	1 292 332	19%
2005	8 201 000	2 848 555	35%
2006	10 057 000	5 046 091	50%
2007	19 772 500	9 586 323	48%
2008	21 045 000	8 855 731	42%
<b>Total</b>	<b>61 570 000</b>	<b>28 385 237</b>	<b>40%</b>

**Tableau 17** : Les grandes stations de dessalement en Algérie (Algerian of Water, 2012)

	Station	Wilaya	Capacité m3 /j	Mise en Service
<b>01</b>	Kahrama Arzew	Oran	90 000	3 <sup>ème</sup> trimestre 2005
<b>02</b>	Hamma	Alger	200 000	3 <sup>ème</sup> trimestre 2007
<b>03</b>	Skikda	Skikda	100 000	3 <sup>ème</sup> trimestre 2007
<b>04</b>	Beni Saf	Ain Timouchent	200 000	4 <sup>ème</sup> trimestre 2007
<b>05</b>	Mostaganem	Mostaganem	200 000	1 <sup>er</sup> trimestre 2008
<b>06</b>	Douaouda	Alger Ouest	100 000	1 <sup>er</sup> trimestre 2008
<b>07</b>	Sidnaouchaa	Telemcen	200 000	2 <sup>ème</sup> trimestre 2008
<b>08</b>	Honain	Telemcen	200 000	2 <sup>ème</sup> trimestre 2008
<b>09</b>	Cap Blanc	Oran	200 000	3 <sup>ème</sup> trimestre 2008
<b>10</b>	El-Taref	El-Taref	50 000	3 <sup>ème</sup> trimestre 2008
<b>11</b>	Ténès	Chlef	200 000	3 <sup>ème</sup> trimestre 2008
<b>12</b>	Magtaâ	Mostaganem	500 000	4 <sup>ème</sup> trimestre 2014
<b>Total</b>	<b>12 stations</b>		<b>2 200 000</b>	

**II.2.5. Les avantages et les inconvénients de dessalement de l'eau de mer en Algérie :**

## **Chapitre II : Principales technologies de dessalement de l'eau de mer**

---

Le dessalement de l'eau de mer est un moyen moderne pour avoir de l'eau. C'est l'une des techniques les plus utilisées pour permettre de produire de l'eau non conventionnelle. (N.Saber, 2004)

Les principaux avantages du procédé de dessalement sont :

- L'Algérie dispose d'un littoral de 1200 Km.
- L'utilisation de l'eau de mer qui est une ressource pratiquement non polluante et inépuisable.
- La population ainsi que l'industrie à grande consommation d'eau se trouvant à la proximité de la mer.
- Le domaine de dessalement de l'eau de mer a connu ces dernières années une avancée technologique remarquable grâce au développement de différents procédés (osmose inverse).
- Une importante demande en eau se situe à proximité de la côte ce qui réduit d'avantage les prix de revient 'eau.

L'un des grands avantages de dessalement d'eau de mer est la sécurisation de l'alimentation en eau (potable ou industrielle) des différents consommateurs, car cette ressource n'obéit pas aux aléas climatiques et elle permet donc de produire d'une manière permanente les quantités voulues, des quantités journalières qui dépassent les 200 000 m<sup>3</sup>/j. (N.SABER, 2004)

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

- Les installations de dessalement coutent cher et elles se caractérisent par leur grande consommation énergétique ;
- Ces installations dégagent des gaz à effet de serre, ce qui provoque le réchauffement climatique ;
- Elles détruisent les zones côtières ;
- Elles bouleversent les écosystèmes, car elles rejettent des déchets appelés saumure (de l'eau fortement salée), certaines espèces ou végétations sont très sensible à la salinité ;
- Présence de traces de métaux lourds échappés des installations.

Les rejets associés aux unités de dessalement comme les eaux provenant du nettoyage (filtres à sable, membranes et dépôts) contaminent le milieu. (N.Saber, 2004)

### **II.2.6. Aboutissement du dessalement dans le pays**

L'implantation d'usine de dessalement, selon la démarche utilisée par l'Algérie EnergyCompany, a plusieurs aspects, nous citons notamment :

### ➤ **Economique :**

- Non-recours a la garantie de l'état pour le montage de ces projets ;
- Participation étrangère majoritaire dans le capital de la société de projet ;
- Participation à l'absorption du déficit en eau au niveau national ;
- Libérer les quantités d'eau utilisées par la population et l'industrie à l'agriculture, ce qui nous permettra d'améliorer les rendements et, par voie de conséquence, l'autosuffisance alimentaire ;
- Création d'emploi pendant la réalisation et pendant l'exploitation de ces usines.

### ➤ **Social :**

- Rendre l'eau disponible d'une manière permanente pour satisfaire les populations ;
- Amélioration de la qualité de vie de la population et l'hygiène ;
- Participation au bien-être de la population.

### ➤ **Technologiques :**

- Transfert des technologies de dessalement évident ;
- Amélioration de la recherche et du développement dans ce domaine en vue d'atteindre d'autres performances.

### ➤ **Environnemental :**

- Préserver nos réserves d'eau albiennes et, par voie de conséquence, préserver l'avenir des générations futures.

Améliorer le cadre de vie ainsi que celui de l'environnement car la technique utilisée maîtrise les différentes émissions qui peuvent provenir de ces usines. (N.Saber, 2004)

### **II.2.7. Soulagement de la demande en eau**

Du fait que les stations de dessalement seront installées tout au long du littoral, l'eau potable livrée par ces stations peut être utilisée pour couvrir les besoins des régions côtières et, par conséquent, les autres ressources non conventionnelles seront mobilisées pour satisfaire la demande se situant à l'intérieur du pays.

D'autre part, le dessalement d'eau de mer est une source inépuisable qui permet d'avoir une alimentation continue en eau de consommation (domestique et industrielle). (N.Saber, 2004)

### **Conclusion**

Nous avons pu constater que de nombreux facteurs influent sur la rentabilité de ces techniques, tels que : la concentration en sel de l'eau à traiter, le climat des régions où les usines sont installées. Toute fois à grande échelle, l'osmose inverse reste la méthode la plus rentable car elle est moins coûteuse que la distillation ou que l'électrodialyse et qu'elle permet de traiter une plus grande quantité d'eau.

A titre d'exemple dans notre pays le dessalement des eaux de mer reste une solution sûre, vu la sécheresse qui sévit ces dernières années. Mais ses avantages et inconvénients doivent être évalués en termes de coûts et bénéfices, sociétaux et environnementaux, et comparés aux autres procédés de production d'eau douce.

## **Chapitre III : Diagnostique et fonctionnement de la station de dessalement de Tizirt**

---

### **Introduction**

Sur le pourtour de la méditerranée, une partie non négligeable de la production d'eau douce est assurée par des installations d'osmose inverse. Les plus grosses usines sont situées en Espagne et en Algérie. Pour faire face à la sécheresse qui sévit ces dernières années et à la demande croissante en eau, notre pays compte plusieurs stations de dessalement parmi lesquelles on peut citer celle qui se situe à la wilaya de Tizi-Ouzou dans la commune de Tizirt.

### **III.1. Présentation générale de la commune de Tizirt :**

#### **III.1.1. Situation géographique de la commune :**

Tizirt qui veut dire « ilot » en kabyle, est une zone côtière située à 125 Km à l'est d'Alger, à 120 Km à l'ouest de Bejaia et à 38 Km au nord du chef-lieu de la wilaya de Tizi-Ouzou.

La ville de Tizirt constitue la première porte régionale de Tizi-Ouzou du côté de la mer méditerranéenne.

La commune de Tizirt est délimitée :

- Au nord : par la mer Méditerranéenne.
- Au sud : par la commune de Makouda.
- A l'est : par la commune d'Iflissen :
- A l'ouest : par la commune de Mizrana.

#### **III.1.2. Climat :**

La Commune de Tizirt jouit d'un climat méditerranéen humide, caractérisé par un hiver froid et humide, et un été chaud et sec.

Les pluies s'étalent du mois d'octobre jusqu'au mois d'avril avec un maximum en décembre (109,8 mm) et du mois de mai à septembre avec un maximum de 35,8mm.

- **Les températures :**

Moyennes pentadaires des températures maximales C° :

## Chapitre III : Diagnostique et fonctionnement de la station de dessalement de Tizirt

Mois	Janv	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
<b>Moyenne</b>	17	17,2	18,8	20,0	22	26	30,9	30,6	28,7	25	19	17,6

Moyennes pentadaire des températures minimales C° :

Mois	Janv	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
<b>Moyenne</b>	5,5	6,6	6,8	8,9	11	15	18,4	19	17	15,4	9,4	7,5

La présence de la mer et de la végétation contribuent l'adoucissement des températures moyennes qui sont de l'ordre de 22C°, alors que la moyenne minimale est de 11,45C°, la moyenne maximale atteint 22,87C°.

- **Les précipitations :**

Pluviométrie mensuelle :

Mois	Janv	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
<b>Moyenne</b>	77	84	53	63	52	8,0	5,0	9	21,4	85	106,0	7,5

Source : Station météorologie DAR EL BAIDA (1991-2000).

### III.1.3. Répartition de la population à Tizirt et évaluation de leur besoins d'AEP

La commune de Tizirt comptait au recensement général de la population et de l'habitat (RGPH 1998) : était de 10425 habitants.

Pour l'estimation de la population, on utilise la formule de la croissance géométrique suivant :

$$P_n = P_0 (1+T)^n$$

**P<sub>n</sub>** : Population à l'horizon de calcul.

**P<sub>0</sub>** : Population de référence (au dernier recensement 1998).

**n** : L'écart d'années entre les deux horizons (1998-2004).

**T** : Taux de croissance de la population qui est 2,6 pour Tizirt.

L'estimation de la population de l'année de mise en service (2004) est :

$$P_{2004} = P_{1998} [1 + (2,6 / 100)]^6$$

$$P_{2004} = 12\ 160 \text{ habitants.}$$

### Chapitre III : Diagnostique et fonctionnement de la station de dessalement de Tizirt

---

L'estimation de la population actuelle (année 2017) :

$$P_{2017} = P_{2004} [1 + (2,6/100)]^{13}$$

$$P_{2017} = 17\ 024 \text{ habitants.}$$

Donc la population de Tizirt l'année 2017 est estimée à 17024 habitants, Cette région très prisée particulièrement durant la période estivale, a connu ces dernières années un déficit important en eau potable, pour cela une station de dessalement d'eau de mer a été réalisée et mise en service au mois d'août 2004. Cette usine de dessalement a connue des perturbations de fonctionnement suite à au site d'implantation et à son dimensionnement.

L'évaluation des besoins en eau potable de la population actuelle et future de la ville de Tizirt est plus que nécessaire de part la population autochtone et d'autre part son attraction comme ville balnéaire durant les vacances d'été, qui quadruple cette demande en eau.

L'estimation des besoins en matière d'AEP, sont calculés suivant une dotation moyenne journalière par habitant de 200 l/j/habitant (source : direction hydraulique de la wilaya).

Pour les différents horizons de calcul : les besoins sont évalués à partir de la formule suivante :

$$Q_{\text{moy}} = N \times D / 1000 \text{ (m}^3/\text{j)}$$

**N** : Nombre d'habitant.

**D** : Dotation théorique (l/j/hab.)

Les valeurs obtenues sont regroupées dans le tableau suivant :

**Tableau 18** : les besoins d'AEP pour la population de Tizirt.

	<b>Population</b>	<b>Besoins m<sup>3</sup>/j</b>
2004	12 160	2 432
2017	17 024	3 404,8
A court terme (2019)	17 870	3 574

## **Chapitre III : Diagnostique et fonctionnement de la station de dessalement de Tizirt**

---

### **III.2. Présentation et diagnostique de la station**

La station de dessalement de Tizirt se situe à environ 40 Km du chef-lieu de la wilaya de Tizi-Ouzou. Elle est réalisée dans le cadre du renforcement de l'alimentation en eau potable de la commune de Tizirt.

C'est une station monobloc d'une capacité de 2500 m<sup>3</sup>/jour, elle a été réalisée et mise en service en septembre 2004, afin d'absorber le stress hydrique et de renforcer la chaîne MTI.

Suite aux multiples arrêts quotidiens de la station, dus à l'ensablement du décanteur primaire, phénomène accentué particulièrement avec la houle, le rendement de la station est réduit de 30% voir plus en attendant son exploitation optimale.

Depuis la station une adduction forcée sur un réservoir de 1500 m<sup>3</sup> est réalisée au village de Cheurfa pour alimenter la ville de Tizirt par gravité.

Cette station qui fonctionne à osmose inverse présente un rendement de transformation de 40% du débit primaire. Les 60% restants sont refoulés et rejetés vers la mer 55% pour le lessivage des saures et la libération des cartouches d'osmose inverse.

### **III.3. Les étapes de dessalement de la station**

#### **III.3.1. Prétraitement**

L'eau passe d'abord par une étape de filtration grossière permettant d'éliminer les gros matériaux susceptibles d'endommager les installations et de diminuer l'efficacité globale du procédé de traitement.

#### **III.3.2. La prise d'eau ou la crépine**

Le captage de l'eau brute de la mer se fait par gravité à 8m de profondeur, vers la première station de refoulement située à moins d'un mètre (-1m) de niveau de la mer, réalisée avec une conduite 300mm, sur une longueur de 400m.

Le refoulement est assuré à l'aide de deux pompes fonctionnant alternativement avec un débit respectif 240m<sup>3</sup>/h.



**Figure 14 :** Prise d'eau.

### III.3.3. Le dessableur

L'eau captée acheminée via une conduite de 300mm dans un premier bassin de décantation à l'arrivée central muni aussi d'un déversoir central. L'objectif de cet ouvrage est l'élimination des sables grossiers et moyens.

Il a été constaté que ledit ouvrage représente le maillon faible de cette station de part qu'il a été sous dimensionné (forme rectangulaire avec un temps de séjours très réduit qui est de moins d'une minute) d'où un ensablement récurrent.

Ledit décanteur relié par vase communicant, vers le deuxième décanteur lamellaire voir figure 15.



**Figure 15:** Dessableur.

## Chapitre III : Diagnostic et fonctionnement de la station de dessalement de Tizirt

---

### III.3.4. Le décanteur lamellaire

Constitué d'une couverture intégrale de lamelles inclinées à  $60^\circ$  afin d'augmenter la surface spécifique de décantation d'une bonne partie des sables fins.

Il est doté de trois rampes horizontales perforées en surface, qui permettent la récupération de l'eau clarifiée vers le troisième bassin via les perforations voir figure 16.



**Figure 16 :** Décanteur lamellaire.

### III.3.5. Le troisième bassin

Il représente un réservoir d'eau près clarifiée qui est acheminée vers les filtres à sables et à charbon actif via trois pompes voir figure 17.



**Figure 17:** Pompes de refoulement.

## Chapitre III : Diagnostique et fonctionnement de la station de dessalement de Tizirt

---

### III.3.6. Le filtre à sable et à charbon actif

Il est composé de trois cuves à haute pression, dont deux en fonctionnement et une au lavage par l'eau traitée. Avant cette étape un pré chloration est nécessaire afin d'oxyder la matière organique et les algues.

Le filtre est constitué de deux couches :

- Une couche de charbon actif de 50cm d'épaisseur à l'intérieur d'une citerne à hautes pression.
- Une autre couche de sables fins de 0,15mm. Elles arrêtent toutes les particules supérieures ou égales au septième (1/7) du diamètre des particules utilisées, donc toutes les particules qui dépassent 21µm.

Après les filtres à sables, l'eau passe dans des vers la microfiltration on rajoute des produits chimiques comme l'acide sulfurique dans le but d'acidifier ces eaux et d'éviter sa fixation sur les membranes qui diminuent son diamètre. Cette filtration permet d'éliminer les matières organiques particulières ou dissoutes et les algues.



**Figure 18 :** Filtre à charbon et filtre à sable.

### III.3.7. La microfiltration:

Cette étape est subordonnée par l'injection du métabisulfure, qui est indispensable à la réduction du chlore qui peut endommager le polyéthylène constituant principal des membranes d'osmose inverse.

Le module de microfiltration est constitué de 33 cartouches de 5µm, cette étape représente la clarification ultime avant les osmoseurs.

## Chapitre III : Diagnostique et fonctionnement de la station de dessalement de Tizirt



**Figure 19 :** Microfiltration.

### III.3.8. L'osmose inverse :

C'est le déplacement des solutions de milieu le plus concentré vers le moins concentré. Dans notre cas on applique une pression qui est un traitement physique forcé donc à haute pression qui peut atteindre de 25 à 70 bars voir figure 20.

Pour améliorer le rendement et contraindre l'eau à traverser les mailles nanométrique qui ne laisse pas les grosses molécules des sels passer.

Le but du procédé, est d'éliminer un maximum de sel afin de rendre l'eau agréable et démunie de toutes les impuretés solubles. L'eau non osmosée, est rejetée dans la mer avec les saumures, tandis que l'eau osmosée va vers la citerne de reminéralisations puis vers le réservoir de distribution sis à Cheurfa.



**Figure 20 :** L'osmose inverse.

## **Chapitre III : Diagnostique et fonctionnement de la station de dessalement de Tizirt**

---

### **III.3.9. Post-traitement**

L'eau produite par l'osmose inverse subit, avant de la stocker des corrections d'affinage au niveau du post-traitement.

#### **III.3.9.1. Chloration de l'eau traitée**

L'injection du chlore (hypochlorite de sodium NaOCl), dans l'eau traitée, lui évite une contamination dans le réservoir de stockage et durant la distribution et ce grâce à la rémanence et à la persistance du chlore.

#### **III.3.9.2. Neutralisation de l'eau traitée**

L'eau produite par l'osmose inverse présente un pH acide, ce paramètre doit être ramené à une valeur comprise entre 6,5 et 8,5 propre aux eaux potables afin d'éviter aussi les corrosions dans les tuyauteries d'alimentation et cela par l'ajout de la chaux.

#### **III.3.9.3. Système de stockage de l'eau traitée**

**Réservoir tampon :** l'eau traitée est stockée dans un réservoir cylindrique vertical de 1000 litres de capacité utile, il est doté d'indicateur de niveau (il transmet le niveau d'eau dans ce réservoir au panneau de contrôle).

### **III.4. Contrôle continu de différents paramètres de fonctionnement de la station**

La station de dessalement de Tizirt est équipée d'un panneau synoptique de contrôle qui est en connexion avec un équipement informatique pour la gestion des fonctions de toute l'installation, des câbles, des fils et tous les autres équipements électriques.

Le panneau de contrôle est équipé d'un :

- Débitmètre (pour mesurer le débit)
- Manomètre avec alarme (pour mesurer la pression de l'eau)
- Conductivimètre pour l'eau traitée (pour mesurer la conductivité de l'eau traitée)

### **III.5. Système de distribution de l'eau traitée**

La distribution de l'eau traitée est menée à bien par l'assemblage d'un groupe de pompes. Il est constitué de deux pompes centrifuges conçues pour un débit maximal de 90

## **Chapitre III : Diagnostique et fonctionnement de la station de dessalement de Tizirt**

---

m<sup>3</sup>/h pour chacune. L'eau est refoulée dans une conduite d'une longueur de 1227 m vers un réservoir de 1500 m<sup>3</sup> ou elle sera distribuée pour les habitants de Tizirt.

### **III.6. Suggestion particulière**

A travers cette modeste contribution nous, nous proposons de lever les contraintes de fonctionnement de cette usine de dessalement et de la remettre à plein régime voire 100% de son rendement. Ces contraintes se résument aux arrêts récurrents dues aux dimensions du dessableur, qui immobilise le fonctionnement à plein temps et voire le rendement réduit d'environ 60%.

En effet ledit dessableur était dimensionné dans sa fiche technique primaire pour les eaux souterraines salées non riches en MES (sables fins), faute de nappe et faute de terrains perméables dans le périmètre rapproché de l'implantation de l'usine, une amenée d'eau brute de mer a été mise en place. Ces eaux de mer brutes étant riche en sables fins, phénomène accentué par la houle. A cet effet, un ensablement total du premier ouvrage de décantation est observé après seulement quelques heures de fonctionnement, d'où les arrêts à répétition qui entravent le bon fonctionnement et donc une perte de plus au moins 1000 m<sup>3</sup> d'eau par jour qui représente un manque important particulièrement en période estivale.

Pour un fonctionnement régulier sans rupture, avec un rendement optimal, nous proposons un nouvel ouvrage de décantation primaire avec des caractéristiques de dimensionnement actualisé répondant à la réalité du terrain.

### **III.7. Dimensionnement du dessableur**

Nous proposons un dessableur de forme circulaire avec une arrivée d'eau périphérique et un déversoir central.

Pour se faire, il est indispensable d'apprécier avec exactitude et de prendre en considération les paramètres de calcul suivants :

- Le débit ;
- La charge hydraulique ;
- Le temps de séjours.

## Chapitre III : Diagnostique et fonctionnement de la station de dessalement de Tizirt

---

### III.7.1. Calcul du débit nominal de la station pour un taux de conversion de 40%

- Débit d'eau produite : 2500 m<sup>3</sup>/j
- Taux de conversion : 40%

$$40\% \longrightarrow 2500 \text{ m}^3/\text{j}$$

$$60\% \longrightarrow x$$

$$X = 60 \times 2500 / 40 = 3750 \text{ m}^3/\text{j}$$

$$Q = 3750 + 2500 = 6250 \text{ m}^3/\text{j}$$

$$= 6250 / 24 = 260,42 \text{ m}^3/\text{h}$$

$Q = 260,42 \text{ m}^3/\text{h}$
-----------------------------------

- **Choix de la charge hydraulique**

La valeur de la charge hydraulique (Ch) est conventionnellement comprise entre 40 et 70 (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/h).

Pour le cas d'eau brute de mer, riche en sables moyens et fins, une surface importante de décantation est nécessaire. Il est alors judicieux que le choix se portera sur la plus faible charge hydraulique, qui est celle de 40 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/h pour une meilleure efficacité.

- **Choix du temps de séjour**

Afin de permettre une décantation optimale des sables fins de notre station, il est dit et ce en fonction de la loi de stocks qu'il faut 3 à 5 mn pour une décantation complète des sables fins, d'où notre choix est porté sur 5 mn.

Le temps de séjour (Ts) : c'est la durée que l'eau a traitée passe dans le dessableur

On prend Ts = 5 min

### III.7.2. Calcul de la surface du dessableur

Elle est donnée par la relation : 

$S = Q/\text{Ch}$
-------------------

$$S = 260,42 / 40 = 6,51 \text{ m}^2$$

$S = 6,51 \text{ m}^2$
------------------------

## Chapitre III : Diagnostique et fonctionnement de la station de dessalement de Tizirt

### III.7.3. Calcul du volume du dessableur

$$T_s = V/Q \quad V = T_s \times Q$$

$$5 \text{ min} = 0.083 \text{ h}$$

$$V = 0.083 \times 260.42 = 21,61 \text{ m}^3$$

$$V = 21,61 \text{ m}^3$$

### III.7.4. Calcul de la hauteur du dessableur

$$V = S \times h \quad h = V/S$$

$$h = 21,61/6,51 = 3,32 \text{ m}$$

$$h = 3,32 \text{ m}$$

### III.7.5. Calcul du diamètre du dessableur

On peut le calculer avec cette formule :  $D = \sqrt{4 \times V / \pi \cdot h}$  ou bien :  $D = \sqrt{4 \cdot S / \pi}$

$$D = \sqrt{4 \times 6,51 / 3,14} = 2,88 \text{ m}$$

$$D = 2,88 \text{ m}$$



**Figure 21** : Dessableur de forme circulaire avec une arrivée d'eau périphérique et un déversoir central.

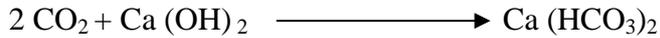
## Chapitre III : Diagnostique et fonctionnement de la station de dessalement de Tizirt

---

### III.8. Reminéralisation de l'eau produite par l'osmose inverse

L'eau produite par osmose inverse est légèrement agressive et partiellement déminéralisée. Elle ne peut être utilisée directement pour la consommation. La reminéralisation est essentielle afin d'éviter la corrosion des adductions, d'éviter les carences en oligoéléments et d'agréments le consommateur.

Son but est de corriger le TAC (titre alcalimétrique complet mesure la somme des alcalins libres (OH<sup>-</sup>), carbonates et bicarbonates) pour permettre la formation de la couche protectrice au niveau du réseau pour éviter la corrosion. Ce traitement est préconisé pour les eaux très douces ou issues d'une filière de dessalement. La méthode la plus répandue est l'injection de CO<sub>2</sub> et de chaux Ca (OH)<sub>2</sub>.



L'injection de chaux se déroule en aval de celle du CO<sub>2</sub>, pour éviter tout phénomène de décarbonatation.

Des injections de Na HCO<sub>3</sub> et CaCl<sub>2</sub> ou de Ca SO<sub>4</sub> sont des autres possibilités pour effectuer une minéralisation.

## Chapitre III : Diagnostique et fonctionnement de la station de dessalement de Tizirt

---

### Conclusion

Les habitants de la commune de Tizirt souffrent de manque d'eau, accentué par les arrêts fréquents de la station de dessalement. Cette usine, était mise en œuvre pour répondre à la pénurie d'eau dans la région. Pour prendre en charge cette anomalie et répondre d'une manière efficace à ce phénomène, nous avons diagnostiqué l'état de fonctionnement global de ladite station et nous avons apporté notre concours par le redimensionnement du dessableur qui sera de forme circulaire avec une arrivée d'eau périphérique et un déversoir central avec les nouvelles dimensions suivantes : surface =  $6,51 \text{ m}^2$ , volume =  $21,61 \text{ m}^3$ , hauteur = 3.32 m diamètre = 2.88 m.

Comme nous avons aussi proposé une reminéralisation de l'eau produite par le procédé d'osmose inverse dans le but d'améliorer sa qualité organoleptique et chimique.

### Conclusion générale

A travers ce travail nous avons exposé les différentes étapes de dessalement de l'eau de mer appliquées par la station de dessalement de la commune de Tizirt dans la wilaya de Tizi-Ouzou qui utilise l'une des techniques membranaires qui est l'osmose inverse. Ces étapes se succèdent comme suite : la prise d'eau de mer, le décanteur primaire (dessableur), décanteur lamellaire, le troisième bassin, le filtre à sable et le filtre à charbon, la microfiltration, l'osmose inverse et enfin le post traitement.

Après avoir effectué un diagnostic pour ces étapes de traitement de dessalement nous avons constaté une anomalie qui entrave le fonctionnement de ladite unité. Il s'agit du dessableur qui présente des dimensions inadéquates (exemple : le temps de séjour est moins d'une minute) que nous avons corrigé avec le redimensionnement de cet ouvrage (forme circulaire avec une arrivée d'eau périphérique et un déversoir central). Cette nouvelle unité présente les dimensions suivantes :

Surface : 6,51 m<sup>2</sup>

Volume : 21,61 m<sup>3</sup>

Hauteur : 3.32 m

Diamètre : 2.88 m

Nous avons aussi fait une proposition relative à la reminéralisation de l'eau produite par des injections différentes (chaux  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ,  $\text{NaHCO}_3$  et  $\text{CaCl}_2$ ) afin de garantir une eau de qualité minéralogique non reprochable, la reminéralisation est essentielle aussi pour éviter la corrosion des adductions et d'agréments le consommateur.

Ces contributions vont dans le but d'améliorer le fonctionnement de cette station et de distribuer une eau de qualité physicochimique complète.

### Références bibliographiques

**Algerian of Water, (2012).** Desalination of seawater, Algiers.

**Alain.MAUREL.** «Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres», édition technique et documentation, 2001.

**Allgeier, S.(2001).** Overview of regulatory issues facing microfiltration and ultrafiltration, Proceedings of the 2001 Membrane Technology Conference of the American

**Amitouche,M.andRemini,B.(2014).**Operation of Cap Djinet desalination plant and dilution of brine with power station cooling water.Desalination and Water Treatment, (2014) 1–8.

**Bontaux D.(1983).**Introduction à l'étude des eaux douces, eaux naturelle, eaux usées, eaux de besoin, partie II. Turbine cebdeau.

**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)

**Chellam S.,Jacangelo J.G., Bonacquisti, Schauer BA.**Effect of pretreatment on surface water nanofiltration; in Journal of AWWA, (1997) 89 (10). p 77-89.

Chambre Syndicale de la Recherche et de la Production du Pétrole et Gaz naturel- comité des techniques ; « circuits eau de mer (traitement et matériaux)» ; édition technique, Paris-1993.

**Danis P.,(2003).** Dessalement de l'eau de mer. Techniques de l'Ingénieur, traité Génie des procédés, J2 700.

**Degremont.,(1978).** Mémento techniques de l'eau 8<sup>eme</sup> édition.

**Degremont.,(1984).**Mémento techniques de l'eau ; techniques et documentations, Paris, France.

**Degremont.,(1989).** Mémento techniques de l'eau ; techniques et documentations, Paris, France.

**EL Dessouky, H.** «Multi-stage flash desalination technologies». Eurosummer School short course on sustainability assessment of water desalination technologies, Vilamoura, Portugal,November (2000).

**Eric Guilyardi.** «Quand le sel de l'océan pimente le climat» ; La météologie No 33-Mai 2001.

**Gomella G.,Guerre H.,(1978).** Les eaux usées dans les agglomérations urbaines ou rurales volume II (traitement).

**Gramer W., (1992).** technique de l'eau et l'assainissement.

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

**Hussain.A,** ed, «IntegratedPower and Desalination Plants».Oxford, Eolss Publishers Co. Ltd, 2003.

**J.P.Piley, G.Skirrow.** «Chemical Oceanography».Academic Press, 1965.

**Jamaly, S. et al., (2014),**A short review on reverse osmosis pretreatment technologies, Desalination volume 354, 1 December 2014, Pages 30–38.

**Lattemann,S.(2010).**development of an environmental impact assessment and decision support system for seawater desalination plants, Phd Thesis in Delft, The Netherlands.

**Mandri,(2011).**Etude paramétrique du procédé de dessalement de l'eau de mer par congélation sur paroi froide, Thèse de doctorat de l'université Claude Bernard Lyon.

**Maurel. A.,(2006).** Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres, 2e édition TEC&DOC286p.

**Méricq, J.P.(2009).** Approche intégrée du dessalement d'eau de mer : distillation membranaire sous vide pour la réduction des rejets salins et possibilités de couplage avec l'énergie solaire. Thèse de doctorat de l'université de Toulouse,

**Moustiri(2011).** Strategy and Indicators Water Sector in Algeria, Ministry of Water Resources, Algiers, Algeria.

**Mozas,M.etGhosn, A.(2013).** État des lieux du secteur de l'eau en Algérie, IPMEED (Octobre 2013).

**N.SABER.** «L'eau, c'est la vie». Energie& mines.Avril 2004.

**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.

**P.Fiorini, E. Sciubba.** «Thermoeconomic analysis of a MSF desalination plant» ; Desalination, vol.182, pp : 39-51, (2005).

**Pesson P.,(1980).** la pollution des eaux continentales, incidence sur les biocénoses aquatiques. Gantheir-Villari.

**Philippe Bandelier et Jean-Claude Deronzier.** «Groupement pour la recherche sur les échangeurs thermiques (GRETh)». Direction de la recherche technologique CEA/Grenoble. (Mise à jour septembre 2001).

**R.A.Horne.**«Marine chemistry the structure of water and the chemistry of the hydrosphere», Wiley-Interscience, 1969.

**Rodier J.,(1984).** Pratique de l'eau, eau naturelle, eau résiduaire et eau de mer. Bordas, Paris, France.

**Rovel, J.M.,(2012).** Dessalement de l'eau de mer, Technique de l'Ingénieur.

**Tardat-Henry M., Beurry J.R., (1984).**Chimie des eaux. Griffon d'argle. INC, Canada.

**UNEP/MAP (2003).**Dessalement de l'eau de mer en méditerranée évaluation et lignes directrices, MAP Technical Reports Séries No. 139, Athens.

**UNEP/MED (2002a).**Assessment of the sea water desalination activities in the Mediterranean region and environmental impacts.UNEP(DEC)/MED WG.205/3, Athens.

**UNEP/MED (2002b).** Recommendations for the preparation of guidelines for the management of sea water desalination in the Mediterranean region. (UNEP(DEC)/MED WG.205/4), Athens.

**Viviane Renaudin,** «le dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres», CNRS, Nancy, 2003.

Water Works Association, San-Antonio, Texas, USA.