

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Ecole Nationale Polytechnique



Département Génie de l'Environnement

Mémoire de master en génie de l'environnement

**Impact environnemental du dessalement de
l'eau de mer.**

**Etude du cas de la station de dessalement
de la ville de Ténès**

Présenté par: Mouad BOUCHA

Sous la direction de : Mme S. AROUA

Soutenu publiquement le 04/07/2017

Composition du jury :

Président : A.CHERGUI

Promoteur : S. AROUA

Examineur : L. DIDAOU

Professeur (ENP)

MCB (ENP)

Professeur (ENP)

Juin 2017

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Ecole Nationale Polytechnique



Département Génie de l'Environnement

Mémoire de master en génie de l'environnement

**Impact environnemental du dessalement de
l'eau de mer.**

**Etude du cas de la station de dessalement
de la ville de Ténès**

Présenté par: Mouad BOUCHA

Sous la direction de : Mme S. AROUA

Soutenu publiquement le 04/07/2017

Composition du jury :

Président : A.CHERGUI

Professeur (ENP)

Promoteur : S. AROUA

MCB (ENP)

Examineur : L. DIDAOU

Professeur (ENP)

Juin 2017

ملخص

مع انخفاض الموارد المائية والتوسع في المناطق القاحلة في العالم، أصبحت تحلية مياه البحر مصدرا بديلا للإمدادات المياه العذبة في العديد من المناطق حول العالم.

على الرغم من الفوائد الكثيرة لتحلية المياه عن البشر، يمكن لهذه العملية أن تسبب ضررا للبيئة البحرية.

الغرض من هذا العمل هو إجراء دراسة حول الأثر البيئي لتحلية مياه البحر وكذلك دراسة عن محطة لتحلية المياه وهي محطة مدينة تنس.

الكلمات الدالة: الأثر البيئي. تحلية المياه. محطة تحلية مدينة تنس.

Abstract :

With the decrease of water resources and the expansion of arid zones in the world, desalination of seawater has become an alternative source for the supply of fresh water in many regions around the world.

Despite the many benefits of desalination for humans, this process can cause harm to the marine environment.

The aim of this work is to carry out a study on the environmental impact of desalination of seawater as well as to make a study on a desalination plant, which is the plant of the city of Ténès.

Key words: Environmental impact; Desalination; Ténès desalination plant.

Résumé

Avec la diminution des ressources en eau et l'extension des zones arides dans le monde, le dessalement des eaux de mer est devenu une source alternative pour l'approvisionnement en eau douce dans plusieurs régions dans le monde.

Malgré les nombreux avantages que présente le dessalement pour l'homme, ce procédé peut causer des nuisances pour le milieu marin.

Le but de ce travail est de réaliser une étude sur l'impact environnemental du dessalement des eaux de mer ainsi que de faire une étude sur une station de dessalement qui est la station de la ville de Ténès.

Mots clés : Impact environnemental; Dessalement; Usine de dessalement de Ténès.

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Dédicaces

Je dédie ce mémoire à :

· Mes parents :

Ma mère, qui a oeuvré pour ma réussite, de par son amour, son soutien, tous les sacrifices consentis et ses précieux conseils, pour toute son assistance et sa présence dans ma vie, reçois à travers ce travail aussi modeste soit-il, l'expression de mes sentiments et de mon éternelle gratitude.

Mon père, qui peut être fier et trouver ici le résultat de longues années de sacrifices et de privations pour m'aider à avancer dans la vie. Puisse Dieu faire en sorte que ce travail porte son fruit ; Merci pour les valeurs nobles, l'éducation et le soutien permanent venu de toi.

Mes frères et soeurs qui n'ont cessé d'être pour moi des exemples de persévérance, de courage et de générosité.

Mes professeurs de l'ENP qui doivent voir dans ce travail la fierté d'un savoir bien acquis.

REMERCIEMENTS

Avant tout, je remercie Allah le tout puissant qui m'a donné le courage, la volonté et la patience pour accomplir ce travail.

J'adresse également mes vifs remerciements à toute personne ayant contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce travail.

Je souhaite tout d'abord remercier mon encadreur le docteur **S.AROUA**, qui a accepté de m'encadrer avec patience durant la réalisation de ce travail de master.

Je remercie également les cadres de la station de dessalement de Ténès pour leurs précieuses informations.

J'exprime toute ma gratitude à Monsieur CHERGUI qui m'a fait l'honneur de présider le jury de ce mémoire et également aux membres du jury, qui m'ont honoré en acceptant d'examiner ce travail.

Enfin, un grand remerciement destiné aux enseignants et enseignantes, qui ont contribué à ma formation, depuis le cycle primaire jusqu'au cursus universitaire.

Table des matières

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Introduction	11
Chapitre I Situation hydrique dans le monde	12
I.1 Introduction.....	12
I.2 Les ressources en eau et le besoin du dessalement :	12
I.3 La situation hydrique en Algérie et besoin du dessalement	15
Chapitre II Le dessalement de l'eau de mer	16
II.1 Principes du dessalement.....	16
II.2 Situation globale du dessalement	16
II.3 Situation en mer Méditerranée	17
II.4 Situation en Algérie	18
II.5 Procédés de dessalement.....	19
II.5.1 Séparations membranaires.....	20
II.5.2 L'Electrodialyse ED.....	29
II.6 Séparation thermiques.....	30
II.6.1 Multi Stage Flash	31
II.6.2 Multi Effect Distillation (Distillation à effet multiple)	32
II.6.3 Compression de vapeur (VC)	34
II.7 Nouveautés	34
II.7.1 L'osmose directe (FO " forward osmosis").....	34
II.7.2 Distillation membranaire (MD).....	36
Chapitre III Impact environnemental du dessalement	38
III.1 Introduction.....	38
III.2 Impacts du captage des eaux de mer	38
III.3 Impact des flux de rejets	38
III.3.1 Salinité et température.....	39
III.3.2 Biocides	40
III.3.3 Métaux lourds.....	40
III.3.4 Antiscalants	41

III.3.5	Coagulants	41
III.3.6	Agents anti-mousse	42
III.3.7	Produits de nettoyage et de lavage des membranes.....	42
III.4	Utilisation de l'énergie.....	42
III.5	Émissions dans l'atmosphère	43
Chapitre IV	Etude de cas : Station du dessalement de l'eau de mer de Mainis (Ténès)	44
IV.1	Présentation de la station de dessalement d'eau de mer de Ténès :	44
IV.1.1	Caractéristiques techniques de l'usine de dessalement d'eau de mer de la ville de Ténès :	44
IV.1.2	Capacité de l'usine :.....	45
IV.1.3	Caractéristiques de l'eau à traiter :.....	45
IV.1.4	Caractéristiques de l'eau commercialisable :.....	46
IV.1.5	Etapas de traitement :	46
IV.1.6	Rejets de l'usine :.....	51
Conclusion	53
Références bibliographiques	54

Liste des figures

Figure I-1 Disponibilité de la ressource Eau sur terre	13
Figure I-2 Evolution du prélèvement d'eau et de la population mondiale 1950-2025 .	14
Figure I-3 Carte de vulnérabilités hydrique (2007)	14
Figure II-1 Capacité globale de dessalement en m ³ /j et %	17
Figure II-2 Capacités cumulatives de MSF, MED et SWRO en Méditerranée en m ³ / j .	18
Figure II-3 Schéma explicatif du procédé d'osmose inverse	21
Figure II-4: Système d'osmose inverse simplifié avec système de récupération d'énergie .	22
Figure II-5 Les différents antiscanlants utilisés	26

Liste des Tableaux

Tableau II-1 Les grandes stations de dessalement en Algérie	19
Tableau IV-1 Caractéristiques de l'eau à traiter	45

Liste des abréviations

MSF Multi stage flash

MED Multi effect distillation (Distillation à effets multiples)

VC Vapor compression (compression de vapeur)

FO Forward osmosis (Osmose directe)

ED Electrodialyse

NF Nanofiltration

OI Osmose inverse

TDS Matière totale dissoute

Introduction

L'origine et la continuation de l'humanité sont basées sur l'eau. L'eau est l'une des ressources les plus abondantes sur Terre, couvrant les trois quarts de la surface de la planète. Cependant, environ 97% de l'eau de la terre est de l'eau salée dans les océans, et 3% sont des eaux douces. Ce petit pourcentage de l'eau de la terre - qui fournit la plupart des besoins humains et animaux - existe dans les eaux souterraines, les lacs et les rivières [1].

Au cours du siècle dernier, les niveaux de consommation mondiale d'eau ont augmenté de près de dix fois, atteignant ou dépassant les limites des ressources en eau renouvelables dans certaines régions, comme au Moyen-Orient et en Afrique du Nord.

Pendant ce temps, les coûts du dessalement et de son intensité énergétique ont considérablement diminué et leur empreinte environnementale a été réduite au cours des dernières décennies. Ces tendances sont susceptibles de se poursuivre. Environ 2,4 milliards de personnes, soit 39% de la population mondiale, vivent dans les zones côtières. Ils comprennent une part importante de 1,2 milliard de personnes dans les pays en développement qui ont malheureusement accès à un approvisionnement en eau propre et fiable [1].

La capacité mondiale actuelle de plus de 18 000 usines de dessalement d'une capacité totale de plus de 80 millions de m³ est suffisante pour fournir environ 300 millions de personnes avec de l'eau potable [2].

Le dessalement a permis d'augmenter la disponibilité en ressource d'eau douce et a fourni une solution en cas de sécheresse et de faire face aux situations de pénuries et de crises.

Malgré les nombreux atouts du dessalement, il présente malheureusement des conséquences environnementales négatives qui résultent des rejets de saumures et des effluents ainsi que sa demande énergétique élevée qui est souvent produite à partir de source fossiles polluantes, donc un impact environnemental important.

Chapitre I Situation hydrique dans le monde

Chapitre I Situation hydrique dans le monde

I.1 Introduction

En ce début de troisième millénaire, l'eau est devenue un des grands enjeux contemporains, l'époque de l'eau potable gratuite en quantité illimitée est révolue. L'explosion démographique et les activités humaines intensives ont fait passer l'eau au cours des dernières décennies d'une situation d'abondance dans de nombreuses régions du monde à un statut de ressource rare.

Depuis des millions d'années, la quantité d'eau est stable sur la terre mais sa qualité s'est considérablement détériorée, les évolutions climatiques probables, temporaires ou durables, perturbent également la donne avec des risques d'inondation par moment et par endroit, tandis que simultanément des risques de grande sécheresse peuvent apparaître dans d'autres régions du monde.

I.2 Les ressources en eau et le besoin du dessalement :

La terre contient plus que 14000 millions de km^3 d'eau, soit 70% de la surface de la planète, le pourcentage de l'eau salée dans cette quantité est de l'ordre de 97.5%, les 2.5% restant représentent l'eau douce, 80% de cette eau douce est gelée dans les icebergs ou contenu dans le sol sous forme d'humidité. Les deux formes ne sont pas facilement accessibles [2].

Chapitre I Situation hydrique dans le monde

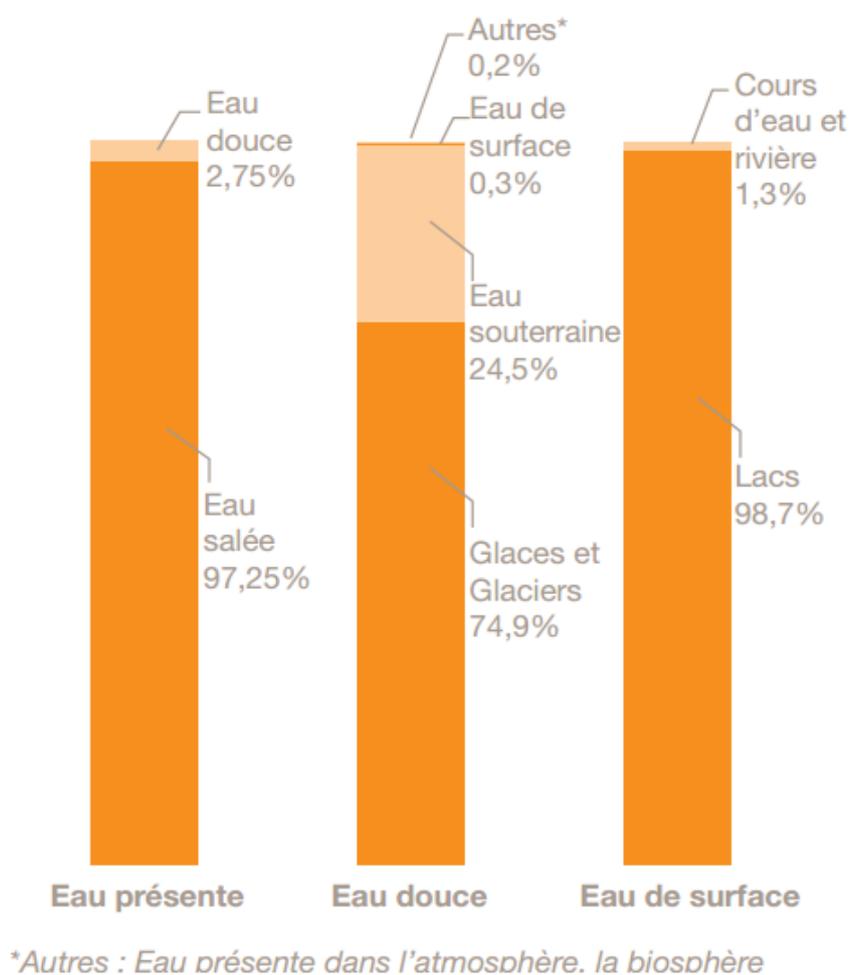


Figure I-1 Disponibilité de la ressource Eau sur terre [3]

Les 0.5% restants sont supposés garantir toutes les formes de vie dans la planète, mais malheureusement, cette quantité n'est pas distribuée équitablement dans toutes les régions de la planète. L'eau douce n'est pas disponible partout ou on en a besoin.

La quantité d'eau douce dans la planète a été relativement constante depuis l'apparence de la vie sur terre, mais dans l'autre côté, la population mondiale a connu une croissance gigantesque durant les deux derniers siècles, en 1804 la planète abrita 1 milliard d'habitant, cette population a doublé durant 120 ans seulement atteignant 2 milliards en 1924, 3 milliards en 1960, 5 en 1987 puis presque 7.5 milliards d'habitant en juin 2017, en 2050 la population mondiale atteindra 10 milliards d'habitants selon les estimation [1].

Chapitre I Situation hydrique dans le monde

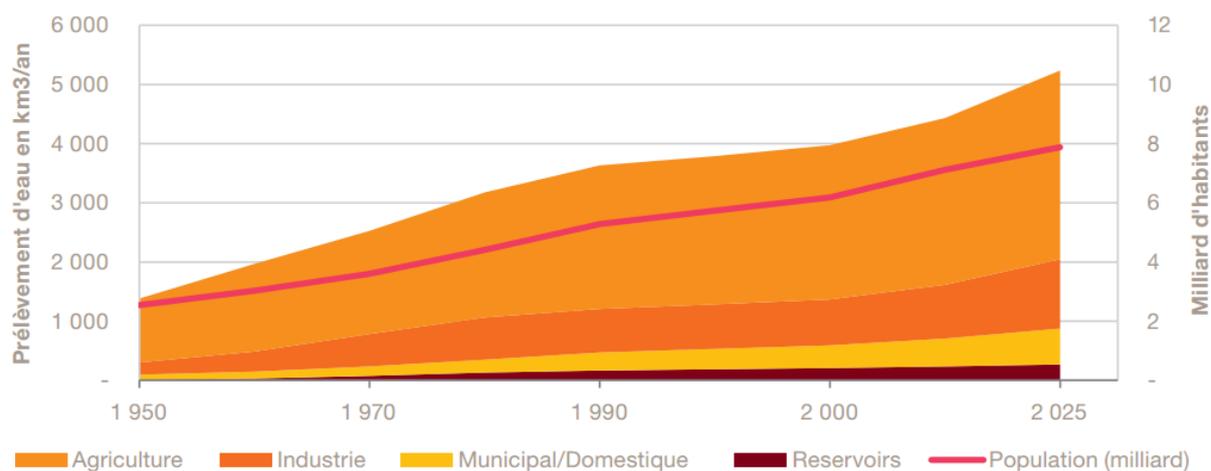


Figure I-2 Evolution du prélèvement d'eau et de la population mondiale 1950-2025 [4].

A présent, 40% de la population mondiale souffre de stress hydrique, en 2025, ce pourcentage est suspecté d'atteindre les 60%, ce stress hydrique résulte de la croissance démographique rapide, du changement du style de vie, l'accroissement des activités industrielles et la pollution qui touche les réserves d'eau et qui limite son utilisation [5].

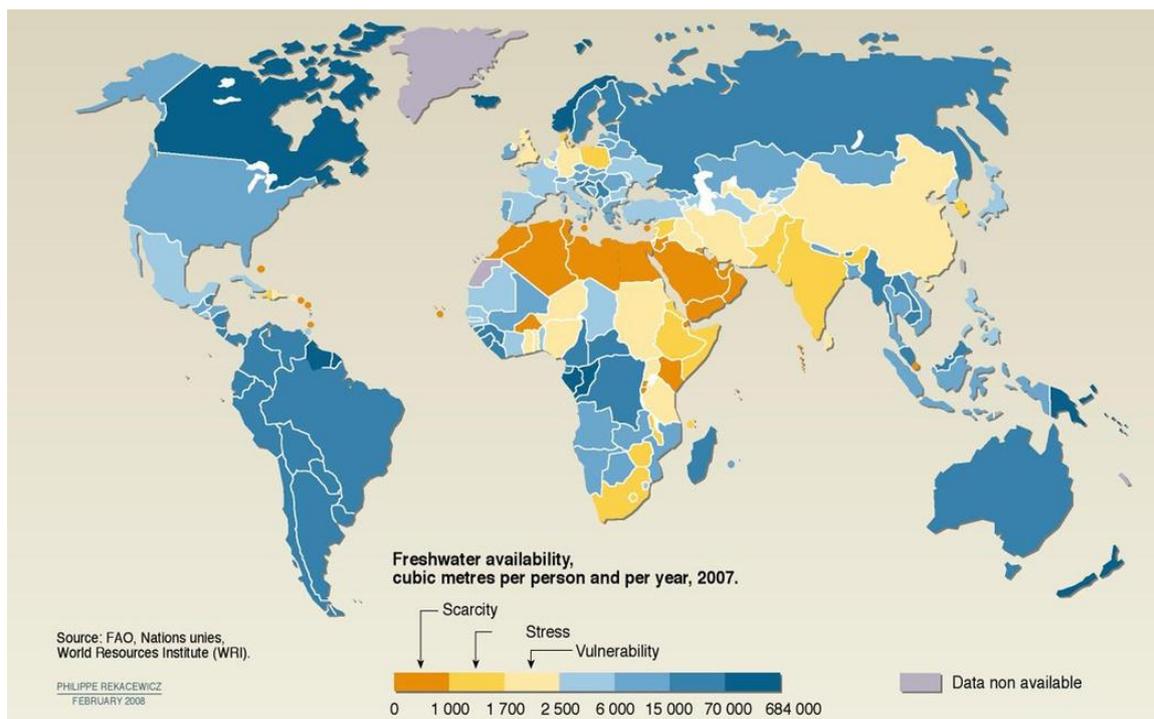


Figure I-3 Carte de vulnérabilités hydrique (2007) [6]

Chapitre I Situation hydrique dans le monde

De plus, la désertification et l'extension des zones arides qui se propagent de façon très rapide ont un effet important sur le climat, les précipitations et l'environnement, l'eau devient de plus en plus rare dans ces régions du monde [1].

L'effet combiné de la croissance de la population et la limitation des ressources traditionnelles en eau fait que le dessalement industriel des eaux de mer soit la seule alternative pour l'approvisionnement en eau dans les zones qui connaissent un fort stress hydrique .

Plusieurs régions dans le monde, comme le moyen orient et certaines îles de la méditerranée, dépendent essentiellement du dessalement de l'eau de mer [7].

I.3 La situation hydrique en Algérie et besoin du dessalement

Les ressources en eau de l'Algérie sont limitées. D'abord, pour des raisons climatiques : la pluviométrie, irrégulière, varie entre 100 et 600 mm/an seulement [8].

Les besoins en eau potable ainsi qu'en eau pour l'irrigation et l'industrie connaissent un accroissement rapide et continu. Les périodes de sécheresse assez longues ont amené à une surexploitation des réserves hydriques jusqu'à épuisement d'une grande partie de celles-ci.

L'Algérie est considérée comme étant un pays « pauvre » en termes de potentialités hydriques, elle se situe en dessous du seuil théorique de rareté fixé par la banque mondiale s'élève à 1000 m³/hab./an.

La disponibilité hydrique annuelle en 1962 s'élevait à 1500 m³/hab., elle s'est vue divisée par plus de la moitié en 2000. De plus, d'après les prévisions de l'Agence Nationale des Ressources Hydriques (ANRH) la disponibilité atteindra le seuil de 490 m³/hab. en 2020 [8].

Pour faire face à cette situation de stress hydrique, l'Algérie a fait recours au dessalement des eaux de mer, avec ces 1200Km de côtes, plusieurs villes s'alimentent aujourd'hui des eaux dessalées.

Chapitre II Le dessalement de l'eau de mer

II.1 Principes du dessalement

Le dessalement est le procédé d'élimination des sels des eaux, et produire ainsi de l'eau douce à partir des eaux de mers ou des eaux saumâtres.

Les procédés de dessalement peuvent être utilisés pour plusieurs applications, mais leur principale utilisation de nos jours s'agit de la production de l'eau potable à partir des eaux de mers. L'eau dessalée peut aussi être utilisée dans l'agriculture ou l'industrie [9].

II.2 Situation globale du dessalement

Pour bien illustrer la situation globale du dessalement dans le monde, il est bien utile de présenter les chiffres suivants [10] :

- 18 426, est le nombre total des stations de dessalement dans le monde;
- plus que 86.8 million de mètres cube d'eau produite par jours par le dessalement;
- 150, le nombre de pays où le dessalement est pratiqué;
- plus de 300 millions de personnes dans le monde sont approvisionnés en eau par le dessalement.

Exactement comme la répartition des ressources en eau dans le monde, l'industrie du dessalement est présente fortement dans certaines régions et existe rarement dans d'autres. 48% de la production globale du dessalement se localise dans le Moyen-Orient, principalement dans les pays du Golfe, 19% en Amérique, 14% en Asie et en Europe et 6% seulement en Afrique [7]

La figure ci-dessous représente la capacité globale en m^3/jr et en % et inclut tous les types d'eau dessalée (eau de mer, eaux saumâtres, eaux usées).

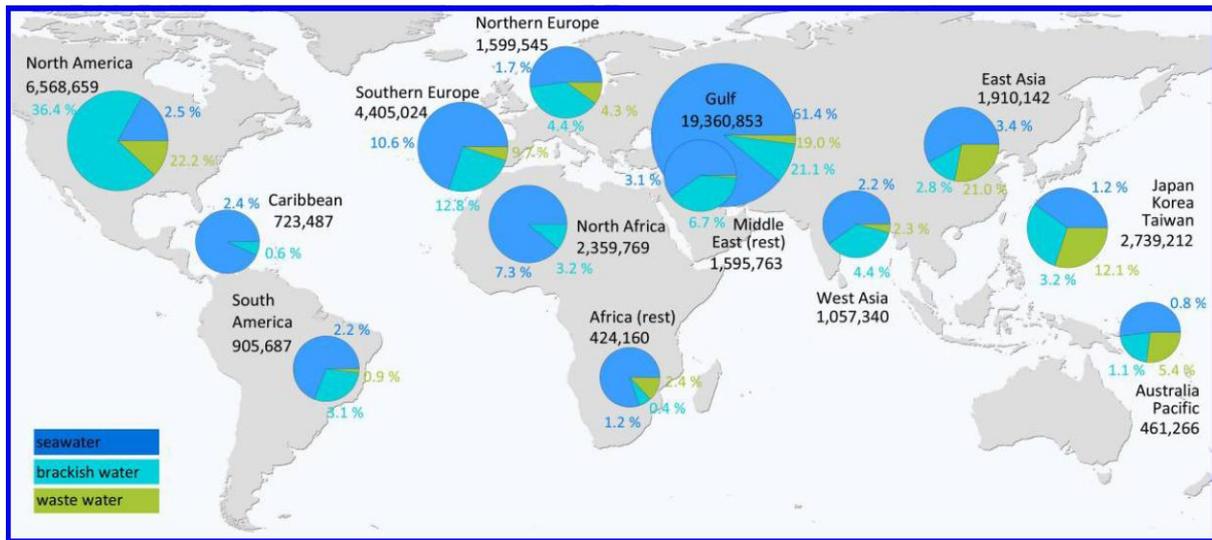


Figure II-1 Capacité globale de dessalement en m³/j et % [7].

II.3 Situation en mer Méditerranée

En Méditerranée, la production totale d'eau à partir des eaux de mer est d'environ 4.0 Millions de mètres cubes par jour, (14% de la capacité mondiale), l'Espagne, avec 8% de la production mondiale est le troisième pays producteur d'eau dessalée dans le monde et le premier en Méditerranée.

Pendant que les procédés thermiques sont les dominants dans les pays de Golf et la mer rouge, le procédé le plus utilisé dans la Méditerranée est l'osmose inverse avec plus de 70% de parts de marché.

La figure ci-dessous représente la capacité du dessalement dans la région de la méditerranée ainsi que les procédés utilisés.

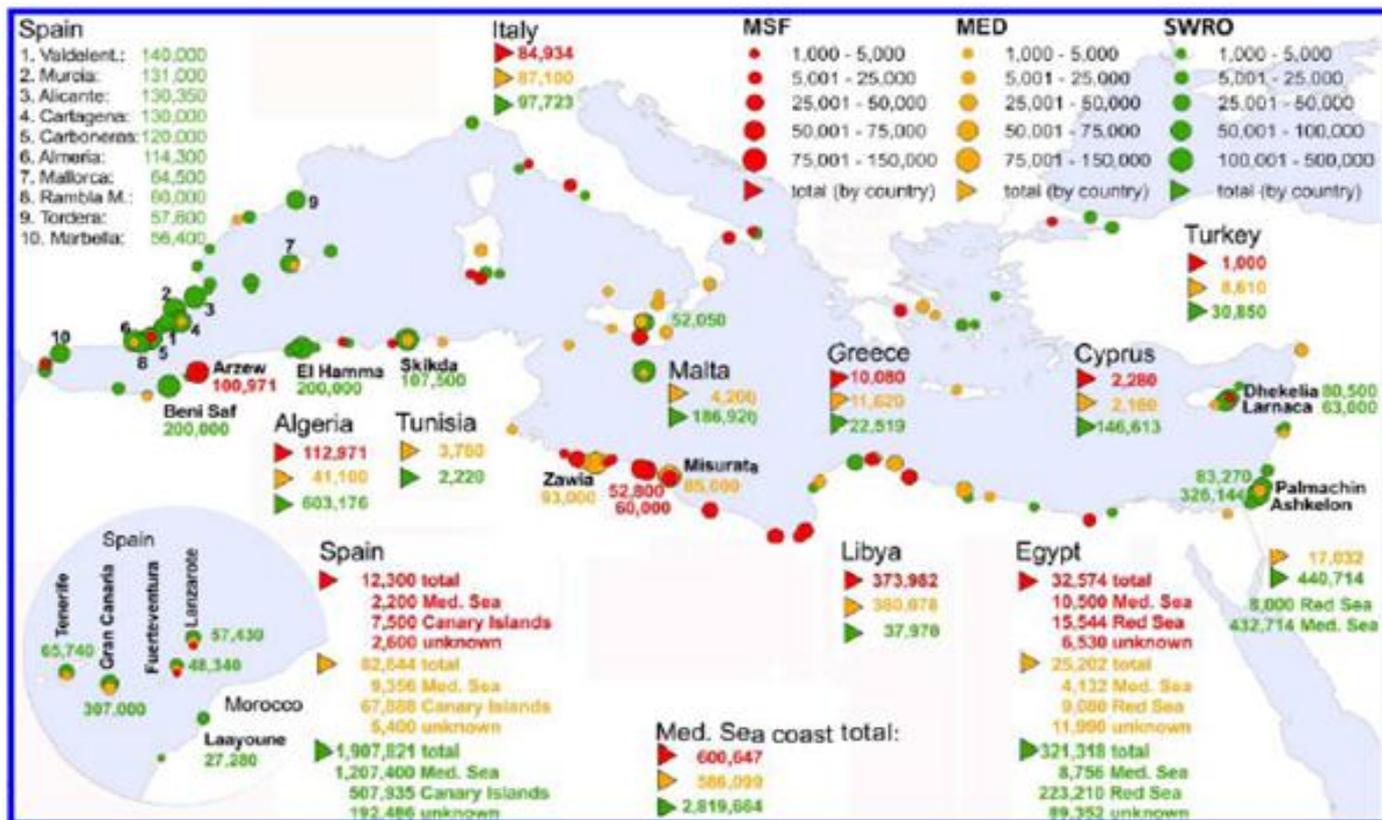


Figure II-2 Capacités cumulatives de MSF, MED et SWRO en Méditerranée en m³ / j [7].

A présent, une méga station de dessalement à été mise en service dans le littoral de la méditerranée, avec une capacité de production de 0.5 millions de m³ par jour, l'usine d'El Magtâa dans l'ouest de l'Algérie représente la plus grande usine de dessalement par osmose inverse dans le monde.

II.4 Situation en Algérie

Depuis les années 1960, des blocs de dessalement de l'eau de mer ont été installés dans des complexes industriels gaziers à Arzew. En 1980, une usine de dessalement à près de 58 000 m³/jour, considérée comme la plus grande au monde à l'époque, a été installé à Mostaganem [11].

Depuis, plusieurs autres petites stations ont été installé pour un usage exclusivement industriel.

Après ces expériences, de nombreuses petites stations de dessalement, dites « monobloc » on été mises en place. 23 stations monobloc, d'une capacité totale de 57.500 m³/j ont été installées par l'Algérienne des eaux dans les wilayas de Tlemcen, Oran, Tipaza, Alger, Boumerdès, Skikda et Tizi Ouzou [11].

La production en eau dessalée en Algérie, selon les experts, est passée de 500 000 m³/jour en 2008 à 1 100 000 m³/jour en 2009 et 2 260 000 m³/jour en 2011 pour atteindre 4 Millions de m³/j en 2020.

Tableau II-1 Les grandes stations de dessalement en Algérie [11].

Station	Wilaya	Capacité (10 ³ m ³ / jour)
Arzew	Oran	90
Hamma	Alger	200
Skikda	Skikda	100
Beni Saf	Ain timouchent	200
Mostaganem	Mostaganem	200
Fouka	Alger	100
Souk Tlata	Tlemcen	200
Honaine	Tlemcen	200
Cap Djinet	Boumerdes	200
Tenes	Chlef	200
Magtâa	Mostaganem	500
El Taref	El Taref	100
Oued Sebt	Tipaza	100
Bejaia	Bejaia	100

II.5 Procédés de dessalement

Les impacts environnementaux d'une usine de dessalement dépendent de sa taille et de son emplacement ainsi que du processus de dessalement et de son mode de fonctionnement.

La conception du captage, le prétraitement, le processus de dessalement et les débouchés déterminent en grande partie les impacts sur le milieu marin, La demande d'énergie et les impacts de la qualité de l'air, Dépend principalement du type de processus.

Les procédés de dessalement peuvent être divisés en deux grandes catégories [12]:

La séparation membranaire et l'évaporation thermique.

Chapitre II Le dessalement de l'eau de mer

Les procédés de dessalement à base de membrane utilisent généralement une pression mécanique, un potentiel électrique ou un gradient de concentration en tant que force motrice à travers une barrière de membrane semi-perméable pour obtenir une séparation physique.

Les procédés thermiques de dessalement utilisent de la chaleur pour évaporer l'eau d'une solution salée et la vapeur d'eau est ensuite condensée et récupérée.

Les technologies thermiques étaient les seules options disponibles pour le dessalement de l'eau de mer jusqu'à ce que les membranes à osmose inverse (RO) aient été développées au début des années 1960. Depuis, les processus de la membrane RO ont toujours été améliorés et l'efficacité a augmenté au point qu'ils sont maintenant la technologie de choix pour la plupart des applications de dessalement de l'eau de mer. Une exception à cela, le Moyen Orient, où les faibles coûts d'énergie permettent au dessalement thermique de rester compétitif [12].

Outre les technologies de dessalement établies, il existe plusieurs nouvelles technologies qui approchent de la commercialisation ou subissent une recherche et un développement actifs [12].

II.5.1 Séparations membranaires

Les technologies de dessalement des membranes ont été conçues autour de la capacité des membranes semi-perméables à autoriser ou à réduire sélectivement le passage de certains ions.

Trois forces motrices fondamentales peuvent être utilisées dans les systèmes de dessalement des membranes, y compris la pression pour l'osmose inverse et la nanofiltration (NF), le potentiel électrique pour l'électrodialyse (ED) et le gradient de concentration pour l'osmose directe (FO).

Les procédés de dessalement de l'eau de mer à base de membrane fonctionnent généralement avec l'osmose inverse.

L'électrodialyse (ED) n'est généralement pas compétitive en termes de coûts pour le dessalement de l'eau de mer et la NF n'est pas habituellement considérée pour le dessalement de l'eau de mer pour la production d'eau potable.

De même, l'osmose directe (FO) est une technologie en développement et n'a pas encore été commercialisée pour des applications à grande échelle [12].

II.5.1.1 L'osmose inverse (RO "reverse osmosis")

L'osmose inverse est de loin le type le plus répandu de processus de dessalement à base de membrane. Il est capable de rejeter presque toutes les matières colloïdales ou dissoutes à partir d'une solution aqueuse, produisant une saumure concentrée et un perméat qui se compose d'eau presque pure [7].

Bien que l'osmose inverse ait également été utilisée pour concentrer les substances organiques, son utilisation la plus fréquente réside dans les applications de dessalement de l'eau de mer.

L'osmose inverse est basée sur la semi-perméabilité de certains polymères. Bien qu'ils soient très perméables à l'eau, leur perméabilité aux substances dissoutes est faible. En appliquant une différence de pression à travers la membrane, l'eau contenue dans l'alimentation est forcée à traverser la membrane. Afin de surmonter la pression osmotique, une pression d'alimentation assez élevée est requise. Dans le dessalement de l'eau de mer, il varie généralement de 55 à 68 bars [13].

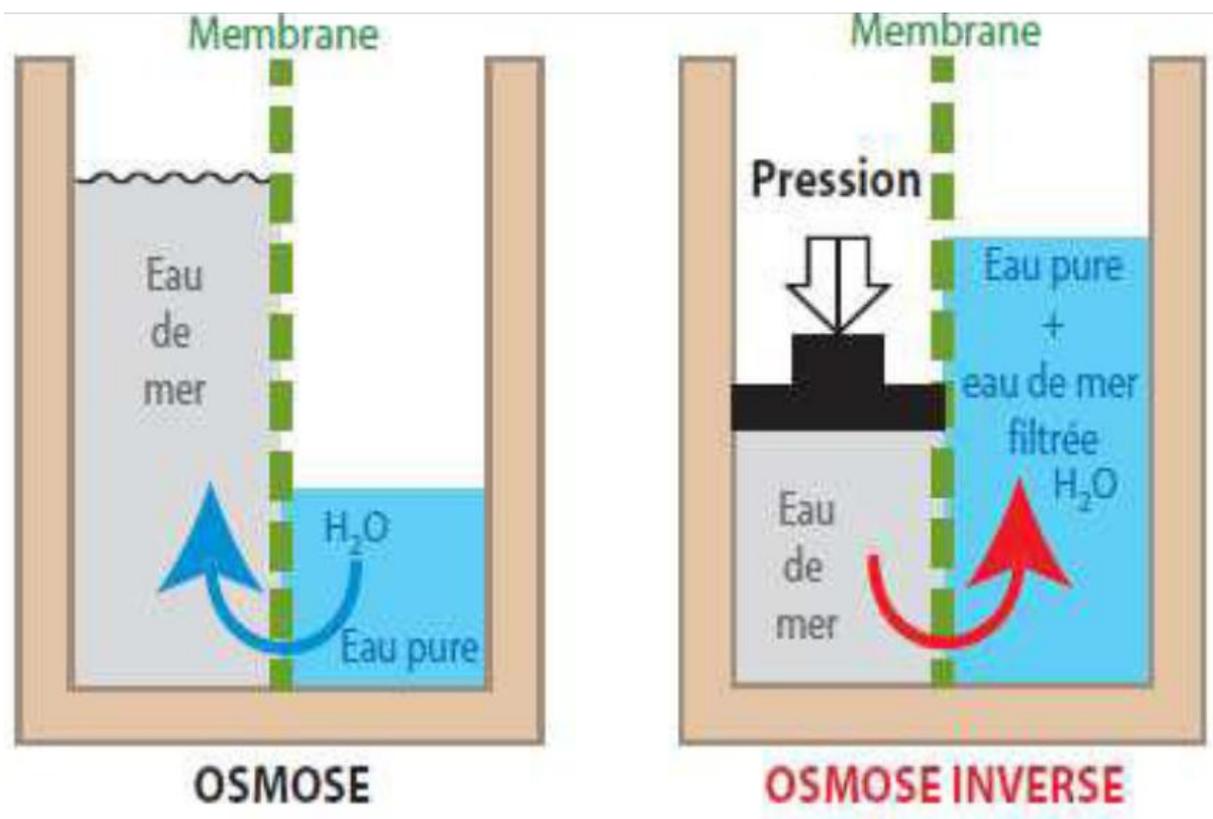


Figure II-3 Schéma explicatif du procédé d'osmose inverse [15].

II.5.1.1.1 Le captage de l'eau

Le captage de l'eau d'alimentation peut être réalisé soit par des puits de côte ou de plage, soit par des systèmes d'admission d'eau de mer ouverts. Les puits de côte et de plage fournissent une eau de meilleure qualité avec moins de turbidité, d'algues et de solides dissous totaux que les prises d'eau de mer ouvertes, mais nécessitent plus d'espace [7].

II.5.1.1.2 Le prétraitement

En raison de la sensibilité à l'encrassement des unités d'osmose inverse, une eau d'alimentation de haute qualité est nécessaire pour assurer une performance stable et à long terme [14].

Un prétraitement suffisant fournissant de l'eau d'alimentation de haute qualité, quelle que soit la fluctuation de la qualité de l'eau brute, est donc essentiel pour le fonctionnement de l'usine [7].

Le prétraitement permet de réduire le potentiel d'encrassement, d'augmenter la durée de vie de la membrane d'osmose inverse, de maintenir le niveau de performance et de minimiser la formation de tartre la surface de la membrane. Par conséquent, une attention particulière doit être accordée au système de prétraitement lors de la conception d'une usine de dessalement.

Le prétraitement peut être divisé en deux groupes: Le prétraitement physique et le traitement chimique.

Le premier est responsable de la filtration mécanique par filtrage, filtre à cartouche, filtre à sable ou filtration à membrane.

Le prétraitement chimique comprend l'ajout d'inhibiteurs de tartre, de coagulants, de désinfectants et de polyélectrolyte.

Le procédé du prétraitement dépend de la qualité de l'eau d'alimentation qui varie en fonction de la localisation de l'usine et du système de captage. Alors que pour l'eau d'alimentation provenant des sources de puits, la filtration des cartouches est généralement suffisante, les eaux d'alimentation provenant des apports d'eau de mer ouverts exigent un prétraitement plus étendu.

Chapitre II Le dessalement de l'eau de mer

Le prétraitement physique consiste habituellement en la floculation et la filtration multimédia suivie d'une filtration à cartouche, mais des configurations différentes telles que les colons lamellaires, la flottation d'air dissous où les membranes se retrouvent dans les usines à travers le monde.

Un schéma simplifié de traitement de prétraitement est donné dans la Figure II.4.

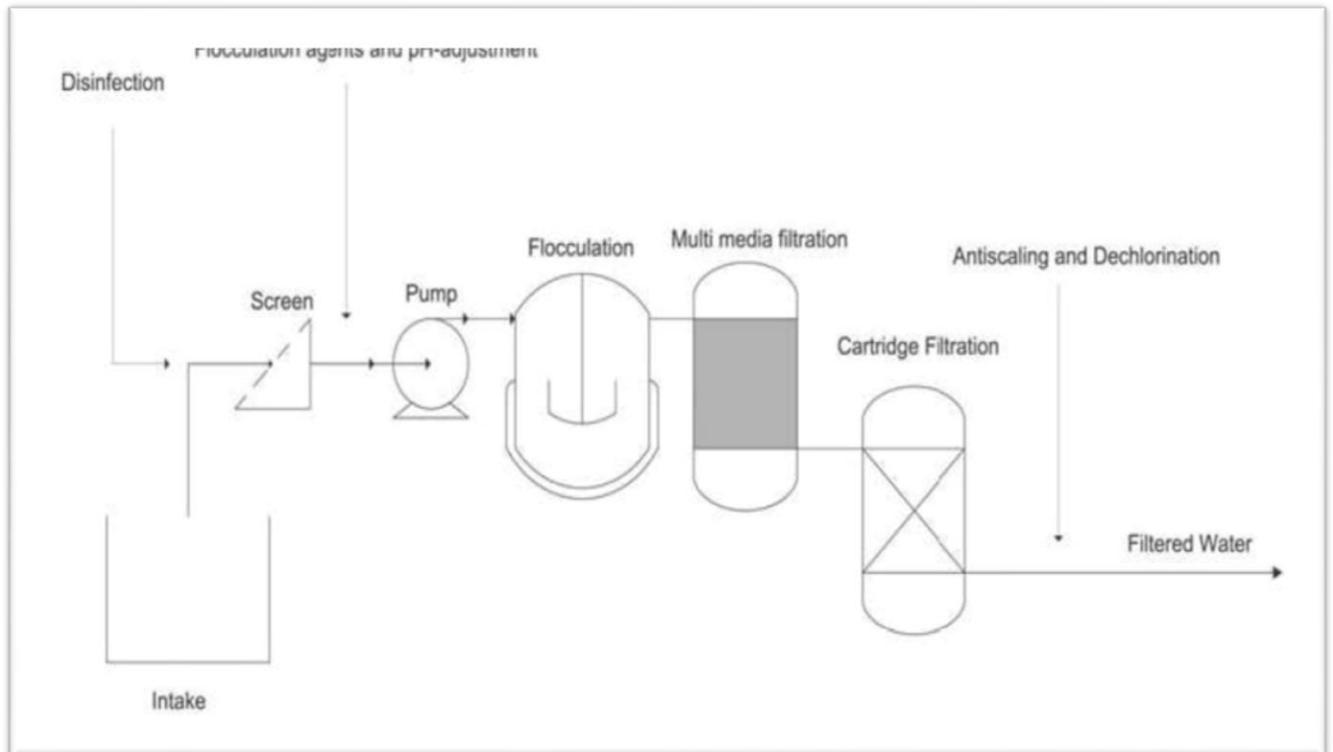


Figure II.4 : Schéma simplifié du prétraitement de l'eau de mer [14].

Le prétraitement chimique dépend du prétraitement physique utilisé.

II.5.1.1.2.1.1 Prétraitement chimique

Le prétraitement chimique comprend toute addition de produits chimiques en amont de l'étape d'osmose inverse.

Le type de prétraitement physique influe de manière significative sur la quantité de produits chimiques qui doivent être ajoutés dans le flux de processus. Les membranes en prétraitement nécessitent généralement moins d'addition chimique que le prétraitement conventionnel, qui se caractérise par une consommation de produits chimiques assez élevée [14].

Chapitre II Le dessalement de l'eau de mer

II.5.1.1.2.1.1.1 Chloration

La chloration est nécessaire indépendamment du prétraitement physique appliqué pour désinfecter l'eau et prévenir la croissance biologique qui provoque l'encrassement des filtres et des membranes et réduit les performances du traitement.

Pour une chloration continue au point d'admission, une concentration de chlore résiduelle libre de 0,5 - 1,0 mg / L doit être maintenue le long de la ligne de prétraitement pour éviter le bio-encrassement. La déchloration en amont de la membrane RO est nécessaire pour empêcher l'oxydation ou l'hydrolyse de la membrane [14].

II.5.1.1.2.1.1.2 Agents de coagulation et de floculation

Des agents de coagulation et de floculation sont ajoutés pour provoquer l'adsorption des matières dissoutes sur les hydroxydes formés et la matière colloïdale à agglomérer. Pour augmenter la taille de l'agglomérat, l'ajout de produits chimiques et de dosage appropriés est nécessaire. On utilise des sels de fer ou d'aluminium, parfois en combinaison avec des polymères.

Les coagulants les plus couramment utilisés sont le chlorure ferrique FeCl_3 , les sels ferriques $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ ou le sulfate d'aluminium $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$.

L'ajout de coagulants à l'eau brute avant un prétraitement membranaire contribue à réduire le potentiel d'encrassement dans le prétraitement de la membrane et à fournir une meilleure qualité de l'eau d'alimentation à la membrane RO [14].

II.5.1.1.2.1.1.3 Ajustement du pH

Dans les applications d'osmose inverse, la valeur du pH est généralement déplacée vers des valeurs inférieures où les membranes à osmose inverse présentent de meilleures performances et où les membranes d'acétate de cellulose présentent moins d'hydrolyse [14].

Des acides tels que l'acide sulfurique sont utilisés pour atteindre la valeur de pH ciblée. Le réglage du pH est également nécessaire pour éviter la formation du tartre tel que le CaCO_3 .

II.5.1.1.2.1.1.4 Agents antitartre (anti scalants)

La formation du tartre est la précipitation des sels sur la surface de la membrane provoquée par une saturation. La formation du tartre réduit la productivité de la membrane et la récupération de l'eau. Divers sels peuvent provoquer une formation du tartre et le sel limitant doit être déterminé à l'aide du produit de solubilité.

Chapitre II Le dessalement de l'eau de mer

Selon le sel limitant, on utilise différents inhibiteurs de formation du tartre. Pour la formation du tartre du carbonate de calcium, l'addition d'acide sulfurique est habituellement suffisante. Les antiscalants peuvent contrôler la formation du tartre causée par les sulfates, les carbonates et le fluorure de calcium.

Le SHMP de sodium-hexametaphosphate a été couramment utilisé comme antiscalant, mais a été largement remplacé par des composés polymères en raison des propriétés d'eutrophisation de SHMP et des problèmes d'élimination associés.

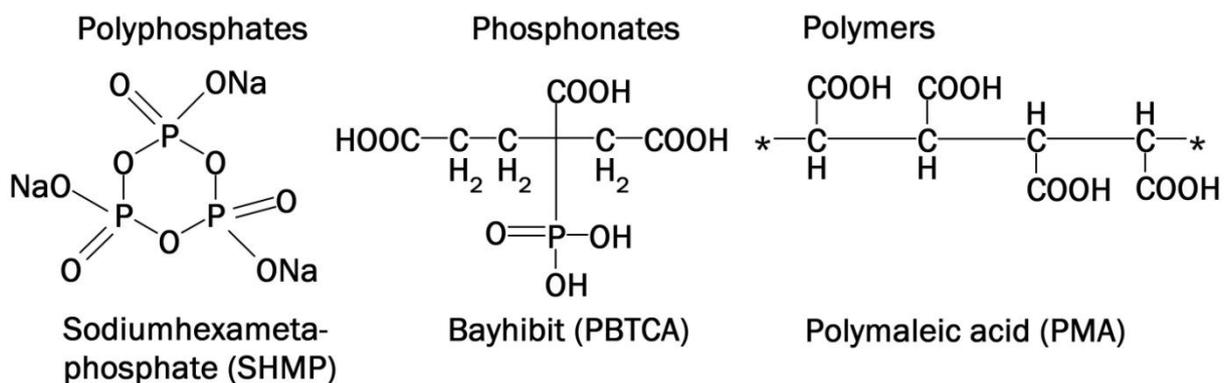


Figure II-5 Les différents antiscalants utilisés [7].

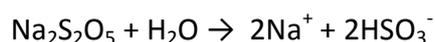
II.5.1.1.2.1.1.5 Déchloration

La déchloration doit être effectuée avant le stade RO, car le chlore résiduel dans l'eau d'alimentation à l'osmose inverse peut endommager la membrane par oxydation. La résistance au chlore varie selon le matériau de la membrane.

Le taux de dégâts de chlore sur la membrane dépend également de la valeur du pH. La dégradation est plus rapide dans les eaux alcalines que dans l'eau neutre ou acide. Des températures plus élevées accélèrent également la dégradation de la membrane par oxydation.

Généralement, le méta bisulfite de sodium est utilisé pour la déchloration en raison de sa rentabilité élevée.

Dans l'eau, il réagit au bisulfite de sodium:



Le bisulfite de sodium réduit ensuite l'acide hypochloreux:



Dans la pratique, 3,0 mg de méta bisulfite de sodium sont généralement utilisés pour éliminer 1,0 mg de chlore libre, contrairement à un méta bisulfite théoriquement nécessaire de 1,34 mg par 1,0 mg de chlore [14].

II.5.1.1.3 Le système de pompage

Le système de pompage est nécessaire pour surmonter les différences de hauteur dans la chaîne de distribution et pour appliquer la pression nécessaire à l'alimentation. La membrane est capable de séparer le sel de l'eau avec un rejet de 98 à 99,5% selon les membranes utilisées. Le système de récupération d'énergie est responsable du transfert d'énergie potentielle de la saumure vers l'alimentation. Les systèmes actuels de récupération d'énergie tels que les échangeurs de pression fonctionnent avec des gains d'efficacité allant jusqu'à 96% [7].

II.5.1.1.4 Post traitements

Le perméat non traité des installations d'osmose inverse de l'eau de mer ne se conforme pas aux normes de l'eau potable telles que les directives sur l'eau potable de l'Organisation mondiale de la santé (OMS).

En raison des faibles valeurs de TDS, l'eau de perméat RO peut être désagréable, corrosive et malsaine. Le post-traitement pour répondre aux normes d'eau potable et d'irrigation est donc une partie essentielle de la plupart des installations à osmose inverse.

Le perméat doit être traité afin d'éviter la corrosion des tuyaux dans le réseau de distribution, la valeur du pH et la teneur en CO₂ doivent être ajustés pour la prévention de la formation du tartre et l'eau produite nécessite une désinfection supplémentaire.

En outre, il existe des restrictions sur la teneur en bore, ce qui pose un problème de séparation du dessalement RO en raison du rejet limité de bore des membranes RO existantes. Par conséquent, des mesures spéciales doivent être prises pour respecter les limites de bore [7].

II.5.1.1.4.1 Recarbonation et reminéralisation

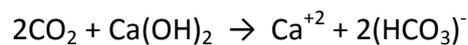
La corrosion de l'eau se caractérise souvent par son indice de saturation Langelier (LSI). L'eau corrosive est définie comme l'eau ayant un LSI négatif.

Le LSI est défini comme le pH mesuré de l'eau moins la valeur de pH d'équilibre (pH) du système si saturé avec CaCO_3 aux valeurs mesurées d'alcalinité et de calcium. Si le LSI est négatif, l'eau est corrosive pour le carbonate de calcium. Pour LSI égale à zéro, l'eau n'est pas agressive et aucune couche de dépôt ne sera trouvée. Un LSI positif entraînera le dépôt de carbonate de calcium.

L'objectif de tout ré-durcissement du perméat RO est de produire un LSI légèrement positif pour empêcher la corrosion des conduites et avoir une couche de précipitation fine pour une protection supplémentaire. La réalisation de valeurs TDS minimales n'est pas un problème dans le dessalement d'osmose inverse, comme c'est le cas pour les procédés de dessalement thermique [7].

II.5.1.1.4.2 Dissolution de la chaux par dioxyde de carbone

Une méthode couramment utilisée pour ajouter de l'alcalinité à l'eau pour la rendre non agressive et non corrosive est la dissolution de la chaux par le dioxyde de carbone selon



L'eau dessalée acidifiée au CO_2 est traitée avec un lait de chaux, qui est préparé dans un saturateur de chaux [7].

II.5.1.1.4.3 Désinfection de l'eau dessalée produite

Bien que le perméat d'une installation d'osmose inverse soit de haute qualité, exempt de bactéries et de virus, la désinfection est encore nécessaire pour protéger les consommateurs de la pollution introduite lors de la distribution, du traitement ultérieur ou du stockage.

Les méthodes de désinfection comprennent: le traitement par le chlore, la production sur place d'hypochlorite de sodium et le traitement par l'hypochlorite.

Le choix de la méthode de désinfection dépendra de la disponibilité des produits chimiques, de leurs coûts et des problèmes de sécurité liés à l'utilisation du chlore. La désinfection au chlore est habituellement le choix le moins coûteux calculé pour la durée de vie d'une usine de dessalement [7].

II.5.2 L'Electrodialyse ED

Les processus ED utilisent des membranes sélectives aux ions et un potentiel électrique comme force motrice pour séparer les espèces chargées de l'eau.

Les systèmes à pression (RO) passent sélectivement l'eau à travers une membrane et conservent les sels dissous dans le concentré.

En revanche, les systèmes ED utilisent un potentiel électrique pour former des ions dissous à travers un ensemble de membranes (cations d'un côté, anions à l'autre), tandis que l'eau désionisée passe entre les membranes et est finalement récupérée.

Une pile d'électrodialyse constituée de couches alternées de membranes à feuilles planes cationiques et anioniques ion-sélectives crée des canaux d'eau de produit dessalée et d'eau rejetée concentrée.

Les cations migrent vers la cathode et les anions migrent vers l'anode, tandis que les membranes sélectives de cations permettent de passer seulement des cations et les membranes anion-sélectives ne laissent passer que des anions. L'effet net est d'éliminer le sel de chaque autre cellule.

Une modification du processus ED inverse périodiquement la polarité du potentiel électrique appliqué sur la pile pour minimiser les effets de la formation du tartre inorganique et de l'encrassement en changeant les canaux de produits en canaux de concentré et vice versa. Les processus ED ne sont généralement pas utilisés pour le dessalement de l'eau de mer parce que, avec des salinités plus élevées, le processus ED devient généralement moins efficace que les autres technologies de dessalement à base de membrane.

De plus, les bactéries, les constituants non ioniques et la turbidité résiduelle ne sont pas affectés par ce processus et restent donc dans l'eau du produit, nécessitant un traitement supplémentaire avant que les normes d'eau potable ne soient respectées [12].

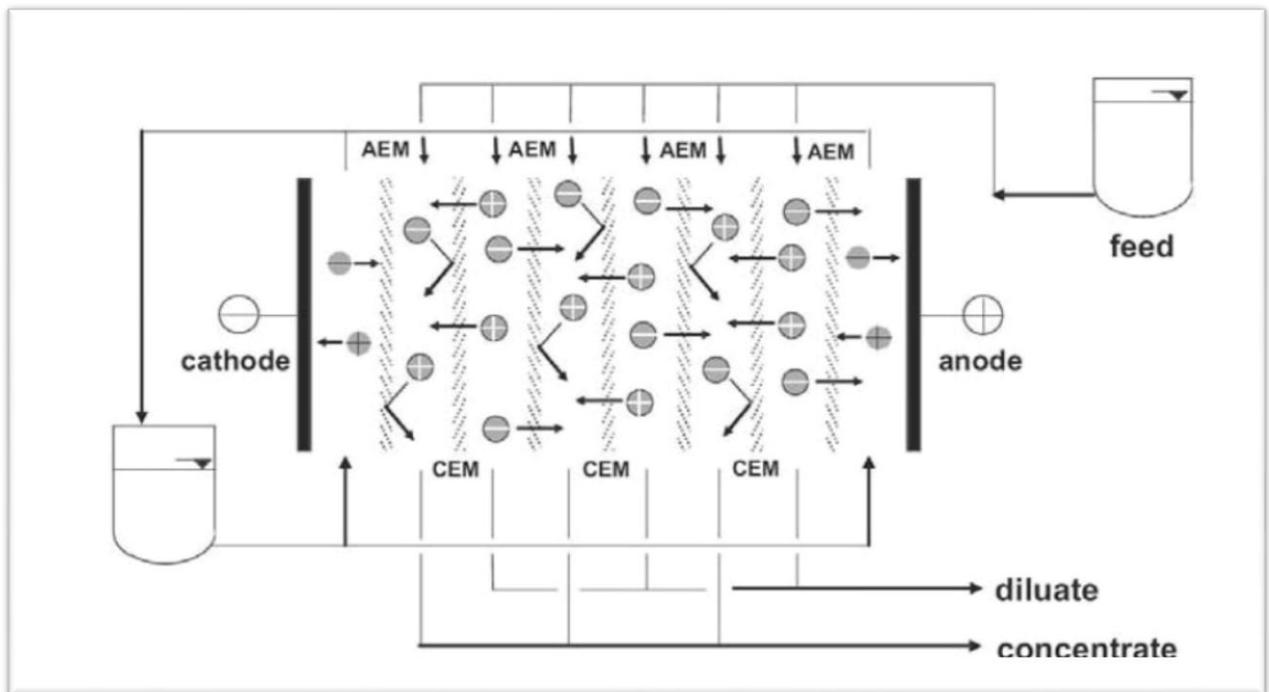


Figure II-5 : Principe du procédé ED [12]

II.6 Séparation thermiques

Les technologies de dessalement thermique fonctionnent en évaporant l'eau d'une solution saline, puis en condensant la vapeur (vapeur) pour produire de l'eau distillée.

Tous les processus thermiques à grande échelle impliquent le chauffage de l'eau à sa température d'ébullition pour produire la quantité maximale de vapeur d'eau. La pression du système est diminuée habituellement de sorte que la température requise pour l'ébullition est réduite.

Les systèmes de distillation disponibles dans le marché sont conçus pour permettre une «ébullition multiple» dans une série de récipients qui fonctionnent à des températures et des pressions successivement plus faibles.

Les technologies thermiques utilisées pour le dessalement comprennent le flash multi-étages (MSF), la distillation à effet multiple (MED) et la compression de vapeur (VC). Les systèmes MSF et MED utilisent généralement l'échange direct de chaleur à partir de la vapeur d'eau comme source d'énergie pour l'évaporation, tandis que les systèmes VC utilisent la chaleur de la compression de la vapeur comme source d'énergie pour l'évaporation.

Chapitre II Le dessalement de l'eau de mer

Les processus thermiques peuvent produire de l'eau avec des concentrations de sel très faibles (TDS de 10 mg/L ou moins) à partir des eaux très salées (TDS jusqu'à 60 000 à 70 000 mg/L). Cependant, il existe des limites liées aux procédés de distillation pour le dessalement de l'eau de mer. L'une des limitations les plus importantes des technologies thermiques est l'exigence énergétique de l'étape de vaporisation.

Des niveaux élevés de sels donnent lieu à une élévation du point d'ébullition et l'énergie nécessaire pour vaporiser l'eau de mer augmente. Souvent, les grandes installations de distillation sont couplées avec des centrales à vapeur ou des turbines à gaz, en utilisant une chaleur de faible qualité pour réduire les besoins d'alimentation électrique.

Les technologies thermiques sont plus couramment utilisées au Moyen Orient, où les coûts de l'énergie sont relativement faibles, les grandes exigences foncières ne sont pas prohibitives et les exigences en matière d'autorisation écologique sont moins rigoureuses.

Les problèmes opérationnels pour le dessalement thermique comprennent la corrosion et la mise à l'échelle. Étant donné que l'eau de mer a une nature hautement corrosive, les alliages spéciaux, tels que les alliages de cuivre-nickel, l'aluminium et le titane, sont utilisés le plus souvent dans le dessalement avec des procédés de distillation. Ces alliages spéciaux contribuent de manière significative au coût en capital d'une usine de distillation, en particulier avec la grande surface requise pour une distillation efficace [12].

II.6.1 Multi Stage Flash

MSF compte pour la plus grande capacité de distillation thermique installée dans le monde entier. Dans le procédé MSF, l'eau est chauffée dans une série d'étapes, chacune avec des pressions et des températures successivement plus faibles.

Généralement, les installations MSF peuvent contenir de 15 à 25 étapes. La génération de vapeur ou l'ébullition causée par la réduction de la pression est appelée Flashing.

Au fur et à mesure que l'eau entre dans chaque étape par une buse réduisant la pression, une partie de l'eau est détendue pour former de la vapeur. À son tour, l'eau vaporisée se condense à l'extérieur des tubes du condenseur et est recueillie dans des plateaux.

À mesure que la vapeur se condense, la chaleur latente est utilisée pour préchauffer l'eau de mer qui est retournée au radiateur principal, où elle recevra une chaleur supplémentaire avant d'être introduite au premier stade de détente. Le condensat collecté dans chaque étape forme le produit, et tout le processus est entraîné par un gradient de pression sous-atmosphérique à travers les étapes.

Chapitre II Le dessalement de l'eau de mer

L'évaporation d'une petite partie de la charge se poursuit à chaque étape successive à une pression inférieure. Le processus MSF génère et condense la vapeur au même stade ou effet.

La gamme de récupérations pour les procédés classiques de dessalement MSF est limitée à environ 10 à 30% pour le dessalement de l'eau de mer [12].

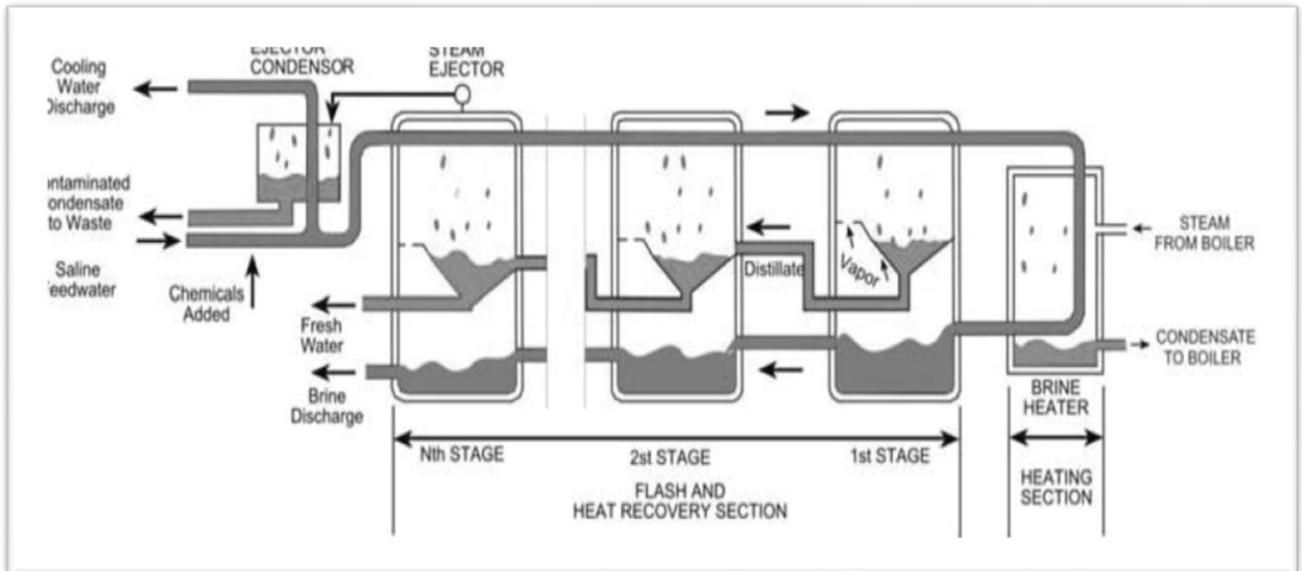


Figure II-6: Schéma du procédé MSF [12].

II.6.2 Multi Effect Distillation (Distillation à effet multiple)

Le processus MED, comme le processus MSF, utilise plusieurs effets disposés en série avec une pression ambiante réduite dans chaque effet ultérieur.

En règle générale, les effets de 8 à 16 sont utilisés en MED pour minimiser la consommation d'énergie. L'eau d'alimentation est distribuée à l'extérieur des tubes de l'évaporateur dans un film mince pour favoriser l'ébullition et l'évaporation rapides. La vapeur est condensée sur la surface intérieure plus froide.

La vapeur produite est condensée d'une manière qui utilise la chaleur de vaporisation pour chauffer la solution saline restante à une température et une pression inférieures dans chaque effet successif, permettant à l'eau de se faire bouillir plusieurs fois sans fournir de chaleur supplémentaire après le premier effet. Ainsi, la vapeur produite dans chaque effet est utilisée pour chauffer l'eau d'alimentation dans l'effet suivant. Cela réduit non seulement l'énergie nécessaire à la distillation, mais aussi la consommation globale d'énergie électrique.

Chapitre II Le dessalement de l'eau de mer

En conséquence, les coûts d'énergie pour l'exploitation d'une installation MED sont inférieurs à ceux d'une usine MSF.

La vapeur générée dans l'effet final est typiquement à une pression et à une température trop faible pour être utilisée ultérieurement. Les systèmes MED condensent normalement cette vapeur à l'aide d'une source de refroidissement externe pour éliminer la chaleur de condensation.

L'énergie est nécessaire dans un système MED comme suit:

- Créer une pression suffisante pour conduire l'évaporation dans la première étape;
- Pour alimenter les systèmes d'aspiration afin de réduire la pression d'ébullition dans les effets en aval (en cas d'utilisation à basse température);
- Pour pomper de l'eau à travers les échangeurs de chaleur à l'évaporateur, recycler le concentré à l'intérieur de chaque étape de l'évaporateur et pomper le condensat et se concentrer à travers la récupération de chaleur avant de sortir du système;
- Eau de refroidissement pour condenser la vapeur de la phase finale.

La gamme de récupérations pour le MED conventionnel est limitée à environ 20 à 35% pour le dessalement de l'eau de mer [12].

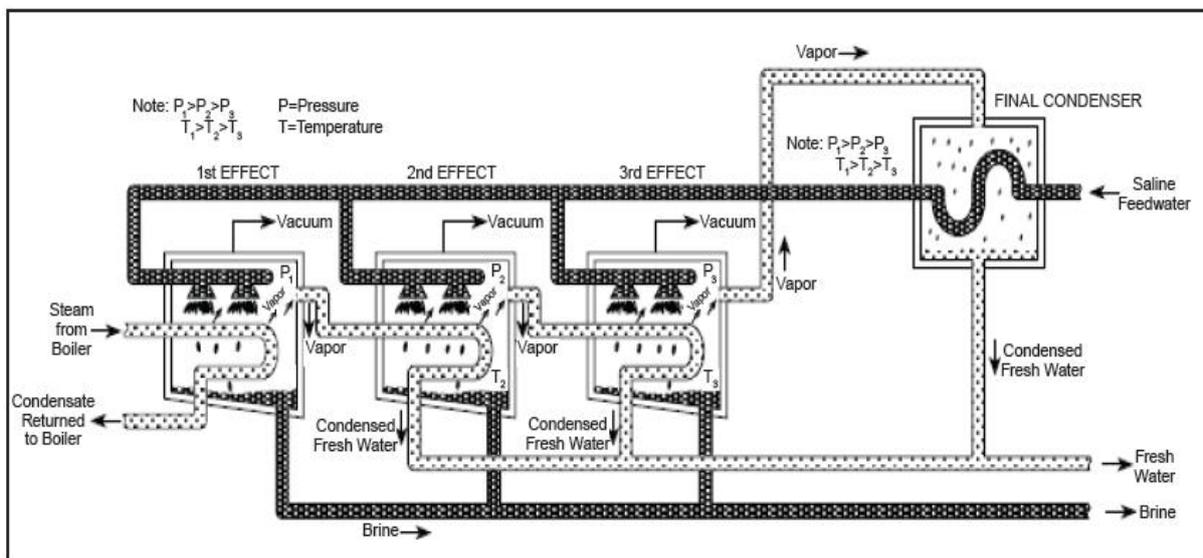


Figure II-7: Schéma du procédé MED [12].

II.6.3 Compression de vapeur (VC)

La chaleur pour l'évaporation dans les systèmes VC est fournie par l'une des deux approches: la compression mécanique de la vapeur (MVC) ou la compression de vapeur thermique (TVC). Les systèmes MVC utilisent l'électricité tandis que les systèmes TVC utilisent de la vapeur haute pression pour comprimer la vapeur d'eau créée de la distillation à une pression et une température plus élevées, de sorte qu'elle peut être retournée à l'évaporateur et utilisée comme source de chaleur.

Le processus de compression de la vapeur est bien établi et est utilisé pour le dessalement de l'eau de mer ainsi que le traitement du concentré de RO pour la gestion des résidus. Les systèmes de compression de vapeur ont généralement des récupérations comprises entre 40 et 50% pour le dessalement de l'eau de mer [12].

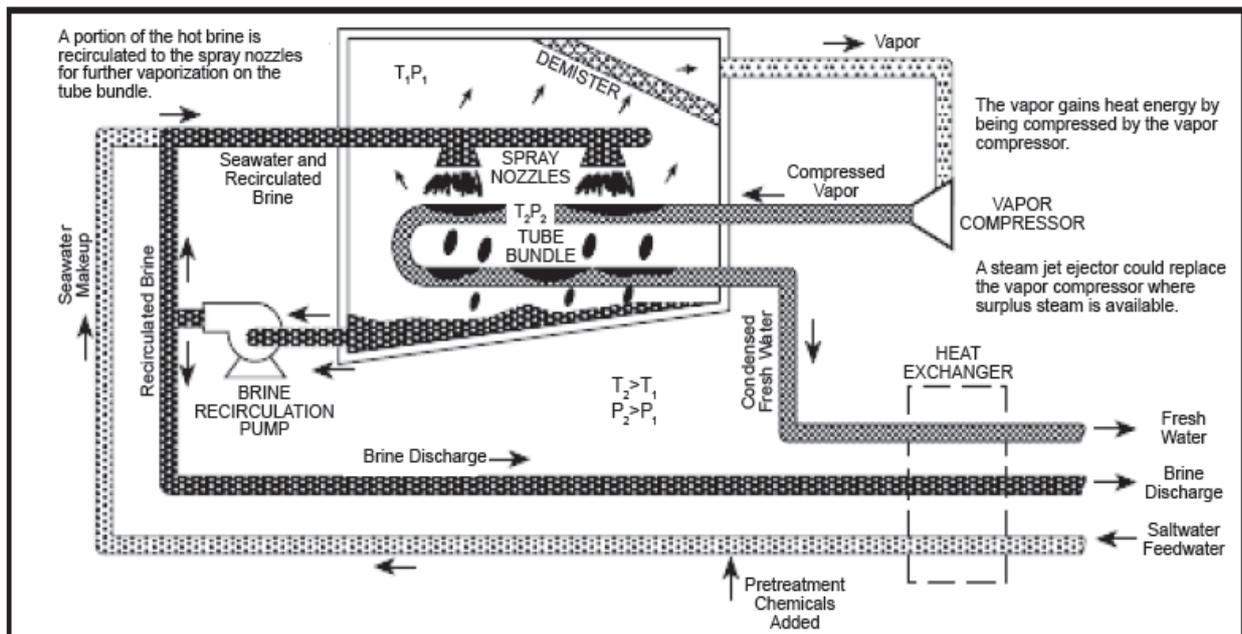


Figure II-8: Schéma du procédé VC [12].

II.7 Nouveautés

II.7.1 L'osmose directe (FO "forward osmosis")

Comme dans le cas de RO et NF, FO utilise une membrane semi-perméable pour séparer l'eau d'une solution saline; Cependant, au lieu d'utiliser une pression hydraulique externe pour créer la force motrice pour le transport de l'eau à travers la membrane, le procédé FO utilise un gradient de pression naturel fourni par une solution d'étirage à salinité plus élevée

Chapitre II Le dessalement de l'eau de mer

(comme le carbonate d'ammonium ou les nanoparticules magnétiques spécialement préparées) [12].

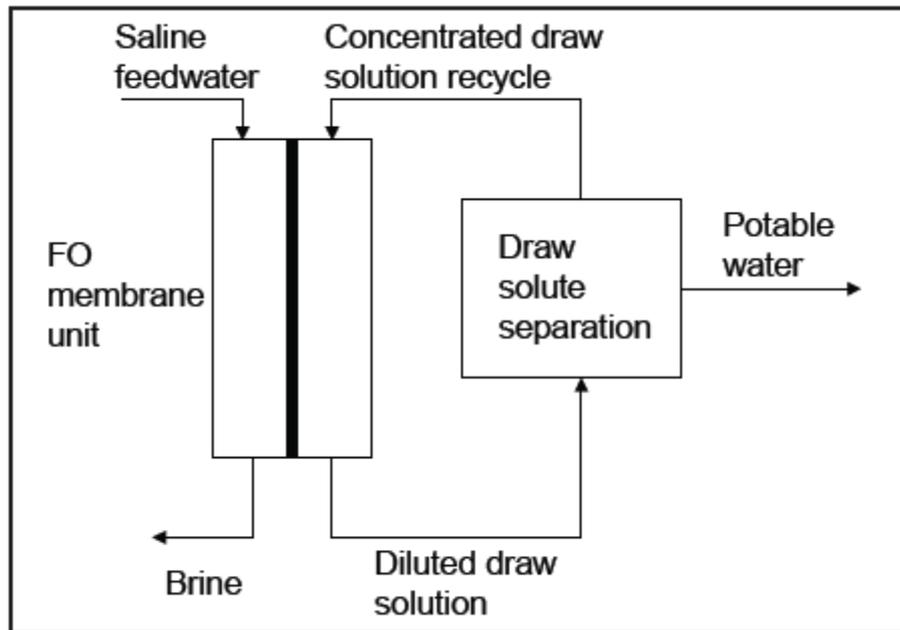


Figure II-9: Schéma du procédé FO [12].

La pression osmotique plus élevée de la solution d'étréage amène l'eau à se déplacer vers elle à travers une membrane. L'eau douce est ensuite séparée de la solution d'étréage en utilisant un procédé de séparation supplémentaire, qui peut varier en fonction de la nature du solvant d'étréage. Les solutés de tirage séparés sont récupérés et réutilisés dans le procédé FO ou déchargés.

Les forces d'entraînement osmotiques dans FO peuvent être significativement plus importantes que les forces d'entraînement hydrauliques utilisées dans les RO.

L'utilisation d'une solution de traction appropriée avec des forces d'entraînement de pression osmotique très élevées peut être utilisée en principe pour générer des flux et des récupérations d'eau élevés.

Le processus FO, une fois entièrement développé et commercialisé, devrait avoir des avantages potentiels en termes de potentiel d'encrassement relativement faible, de faible consommation d'énergie et de simplicité. L'identification de solutions de tirage appropriées et le développement de membranes efficaces sont deux des défis les plus pressants pour FO.

Un soluté de tirage efficace devrait avoir les caractéristiques suivantes:

- Haute efficacité osmotique, ce qui signifie qu'il doit être très soluble dans l'eau et

Ont un faible poids moléculaire afin de générer une forte pression osmotique.

- Non toxique car des quantités traces peuvent être présentes dans l'eau du produit.
- Compatibilité chimique de la membrane.
- Séparation facile et économique de l'eau récupérée.

II.7.2 Distillation membranaire (MD)

La distillation à membrane (MD) est un procédé hybride utilisant des principes de séparation à la membrane et de distillation thermique.

La distillation membranaire implique l'évaporation de l'eau à partir d'une solution saline et le transport de la vapeur d'eau à travers les pores d'une membrane hydrophobe. La membrane permet de passer la vapeur d'eau mais empêche la traversée de la solution. La vapeur d'eau est transportée à travers la membrane en réponse à une variation de la pression partielle à travers la membrane à cause d'un gradient thermique. La vapeur propre est ensuite emportée de la membrane et condensée sous forme d'eau pure, soit dans le paquet de la membrane, soit dans un système de condenseur séparé.

MD diffère des technologies de membrane à pression, en ce sens que, plutôt que d'appliquer une pression pour forcer le liquide à travers une membrane, la force d'entraînement pour le dessalement est la différence de pression de vapeur du liquide à travers la membrane. L'augmentation de la température du liquide augmente la pression de vapeur et entraîne une augmentation du taux de pénétration de la membrane.

L'efficacité d'un processus de distillation membranaire dépend en grande partie de la qualité de l'eau d'alimentation, de la conception du système et de la récupération de chaleur à partir du flux de perméat.

La distillation membranaire a été rapportée à une température relativement basse (environ 70 ° C) et peut donc utiliser de la chaleur résiduelle ou des sources de chaleur de faible qualité.

Les avantages potentiels du MD sont la capacité d'utiliser une chaleur de faible qualité, des besoins minimaux de prétraitement et des problèmes négligeables de formation de tartre ou de précipitation.

Chapitre II Le dessalement de l'eau de mer

Les défis comprennent le besoin de chaleur résiduelle pour la faisabilité économique, l'encrassement des membranes et la dégradation de la membrane due à une perte d'hydrophobie.

La technologie MD est actuellement en phase de développement et de démonstration [12].

II.7.2.1 Congélation / décongélation (Freeze thaw)

L'approche de congélation / décongélation du dessalement est similaire au dessalement thermique dans le concept fondamental de s'appuyer sur un changement de phase pour obtenir la séparation.

En cas de gel / dégel, le changement de phase est du liquide au solide.

Les cristaux de glace excluent le sel de leur structure et le sel peut ensuite être séparé sous forme de saumure de la glace. Un aspect clé du processus est que l'énergie requise pour le changement de phase de l'eau à la glace est inférieure à un septième de l'énergie nécessaire au changement de phase de l'eau à la vapeur (cependant, des procédés pratiques de dessalement thermique tels que MSF et MED nécessitent beaucoup moins d'énergie que la chaleur d'évaporation due à l'utilisation d'effets multiples ou d'étapes comme décrit précédemment).

Les défis avec le dessalement par congélation comprennent la mise en place d'un lavage et d'une séparation appropriés des cristaux sans fusion prématurée ou recontamination avec le sel exclu [12].

Chapitre III Impact environnemental du dessalement

III.1 Introduction

La liste des impacts environnementaux potentiels des usines de dessalement est longue et dans certains aspects, comme l'utilisation des terres, similaire à d'autres projets de développement. Les effets plus spécifiques aux usines de dessalement sont la consommation de grandes quantités d'eau de mer et l'émission de polluants atmosphériques en raison d'une demande énergétique considérable des processus.

Une préoccupation majeure des usines de dessalement est la saumure concentrée et les rejets chimiques dans le milieu marin, qui peuvent avoir des effets néfastes sur la qualité de l'eau et des sédiments, nuire à la vie marine et au fonctionnement et à l'équilibre des écosystèmes côtiers [7].

III.2 Impacts du captage des eaux de mer

Les installations de dessalement d'eau de mer peuvent recevoir de l'eau d'alimentation de différentes manières, mais les prises d'eau de surface sont l'option la plus courante. L'utilisation d'apports ouverts peut entraîner des pertes d'organismes aquatiques lorsque ceux-ci entrent en collision avec les écrans d'admission ou sont introduits dans l'installation avec l'eau source.

La construction de la structure de captage provoque une perturbation initiale du fond marin, ce qui entraîne la ré-suspension des sédiments, des nutriments ou des polluants dans la colonne d'eau.

Après l'installation, les structures peuvent affecter l'échange d'eau et le transport de sédiments, agir comme des récifs artificiels pour les organismes [7].

III.3 Impact des flux de rejets

Tous les procédés de dessalement produisent de grandes quantités de saumures, qui peuvent avoir d'importantes températures, contiennent des résidus de produits de prétraitement et de nettoyage, leurs sous-produits de réactions et leurs métaux lourds en raison de la corrosion.

Le prétraitement et le nettoyage chimiques sont une nécessité dans la plupart des usines de dessalement, qui comprend généralement le traitement contre la formation de biofouling, la formation de tartre, le moussage et la corrosion dans les centrales thermiques, contre les

dégradations biologiques, les solides en suspension et les dépôts d'étalement dans les usines à membrane. Les résidus chimiques et les sous-produits sont typiquement rejetés dans la mer avec les saumures.

Les effets négatifs sur le milieu marin peuvent se produire surtout lorsque les rejets importants des saumures coïncident avec des écosystèmes sensibles.

Les impacts d'une usine de dessalement sur le milieu marin dépendent à la fois des propriétés physico-chimiques des courants de rejet et des caractéristiques hydrographiques et biologiques de l'environnement récepteur.

Le procédé de dessalement et le prétraitement appliqué ont une influence significative sur les propriétés physico-chimiques des rejets.

Dans la RO et les centrales thermiques, la salinité de la saumure est supérieure à la salinité de l'eau de mer, mais la température est seulement élevée dans les rejets de centrales thermiques. Les deux décharges contiennent des résidus chimiques d'antiscalants, alors que les biocides et les additifs antimousses ne se trouvent généralement que dans les courants de rejet des usines de distillation.

Les métaux provenant de la corrosion sont généralement présents dans les deux types de flux de rejet dans des concentrations variables mais relativement faibles.

Dans les courants de rejet de RO, des coagulants peuvent être présents si l'eau de lavage à contre-courant de la coagulation et de la filtration des médias est combinée avec les eaux usées du procédé. En outre, les courants de rejet, en particulier des usines RO, peuvent contenir des solutions de nettoyage usées si elles sont mélangées avec le concentré et déchargées dans la mer [1].

III.3.1 Salinité et température

La salinité et la température sont des facteurs de contrôle pour la distribution d'espèces marines qui habitent normalement dans les zones qui offrent des conditions environnementales favorables à l'espèce. La plupart des organismes peuvent s'adapter à des écarts mineurs par rapport aux conditions optimales de salinité et de température et peuvent même tolérer des situations extrêmes temporairement, mais pas une exposition continue à des conditions défavorables.

La décharge constante des flux de rejet avec des niveaux élevés de salinité et de température peut donc être fatale pour la vie marine et peut entraîner un changement durable de la composition et de l'abondance des espèces sur le site de décharge.

Les organismes marins peuvent être attirés ou repoussés par les nouvelles conditions environnementales, et ceux qui sont plus adaptés à la nouvelle situation finiront par prévaloir sur le site de décharge [14].

III.3.2 Biocides

Dans la plupart des installations de dessalement, du chlore est ajouté à l'eau de captage pour réduire le bio-encrassement, ce qui conduit à la formation d'hypochlorite et principalement d'hypobromite dans l'eau de mer. Les niveaux de chlore résiduel (libre et combiné) de 200-500 $\mu\text{g} / \text{L}$ ont été rapportés pour les courants de rejet de la plante de distillation, soit environ 10 à 25% de la concentration de dosage.

Dans les usines RO, l'eau de captage est également chlorée, mais elle est de nouveau déchlorée avec du bisulfite de sodium avant que l'eau n'entre dans les unités RO pour éviter les dommages causés par la membrane.

Le chlore est un biocide très efficace et sa toxicité a été confirmée par de nombreuses études toxicologiques. Sur la base de données toxicologiques provenant d'un large éventail d'espèces marines, l'EPA américain recommande un critère de qualité de l'eau à long terme pour le chlore dans l'eau de mer de 7,5 $\mu\text{g} / \text{L}$ et un critère à court terme de 13 $\mu\text{g} / \text{L}$.

Les impacts potentiels résultent également de la formation de sous-produits organiques halogénés. En raison de nombreuses réactions possibles d'hypochlorite et d'hypobromite avec des constituants organiques de l'eau de mer, la diversité des sous-produits est élevée, y compris les trihalométhanes (THM) tels que le bromoforme ou les acides halogénacétiques.

L'augmentation des taux de THM près des usines de distillation jusqu'à 9,5 $\mu\text{g} / \text{L}$ et jusqu'à 83 $\mu\text{g} / \text{L}$ ont été rapportées. Comme seulement quelques pour cent du chlore total ajouté sont récupérés comme sous-produits halogénés, et comme la diversité des sous-produits est élevée, on peut s'attendre à ce que la concentration environnementale de chaque substance soit relativement faible. Il ne dépasse pas la portée d'une évaluation des risques de dériver des données de toxicité pour toutes les espèces chlorées et bromées [14].

III.3.3 Métaux lourds

Les alliages de cuivre-nickel sont couramment utilisés comme matériaux échangeurs de chaleur dans les usines de distillation, du coup, la contamination de la saumure par du cuivre due à la corrosion peut concerner les courants de rejet de la centrale thermique.

La saumure RO peut contenir des traces de fer, de nickel, de chrome et de molybdène, mais la contamination par les métaux est généralement inférieure à un niveau critique, car les

équipements non métalliques et les aciers inoxydables prédominent dans les usines de dessalement RO. On s'attend alors à ce que les concentrations de cuivre dans le flux de rejet se situent entre 15 et 100 µg / L.

La présence de cuivre ne signifie pas nécessairement qu'elle affectera négativement l'environnement. Les concentrations naturelles vont d'un milieu océanique de 0,1 µg / L à 100 µg / L dans les estuaires. Cependant, les niveaux de rejets des centrales thermiques sont bien situés dans la gamme qui pourrait affecter les concentrations naturelles de cuivre.

Le cuivre est comme la plupart des métaux transportés et accumulés dans les sédiments, ce qui est une préoccupation majeure des points de rejets de saumures, ce qui pourrait entraîner une augmentation de la concentration de sédiments dans ces sites. Les métaux dans les sédiments peuvent être assimilés par des organismes, qui constituent souvent la base de la chaîne alimentaire marine [14].

III.3.4 Antiscalants

Des agents antitartre sont ajoutés à l'eau d'alimentation dans les usines thermiques et membranaires pour éviter la formation du tartre.

Le terme se réfère à des substances polymères avec différentes structures chimiques, en particulier des acides polycarboniques (par exemple l'acide polymaléique) et des phosphonates. Les polyphosphates et l'acide sulfurique sont également utilisés pour empêcher la formation du tartre, mais à une échelle limitée. La toxicité de tous les antiscalants à la vie aquatique est très faible.

En revanche, les acides et les phosphonates de polycarbonate sont des substances stables à faible taux de biodégradation, ce qui entraîne des temps de vie relativement long dans les eaux côtières [14].

III.3.5 Coagulants

Les coagulants (tels que le chlorure ferrique) et les adjuvants de coagulants (tels que les composés organiques de haut poids moléculaire comme le polyacrylamide) sont ajoutés à l'eau d'alimentation pour la coagulation et la filtration des matériaux en suspension.

Les eaux de lavage à contre-courant des filtres contenant les matériaux en suspension et les coagulants sont généralement déchargée dans l'océan sans traitement.

Les produits chimiques eux-mêmes ont un très faible potentiel toxique. Cependant, leur rejet peut provoquer une coloration intense du flux de rejet si des sels ferriques sont utilisés

(saumures rouges), ce qui peut augmenter la turbidité et réduire la pénétration de la lumière, ou pourrait enterrer les organismes sur le site de décharge [14].

III.3.6 Agents anti-mousse

Pour réduire le moussage dans les centrales thermiques, des agents antimousses comme le polyéthylène et le polypropylène glycol peuvent être ajoutés à l'eau d'alimentation.

Les polyglycols ne sont pas toxiques, mais peuvent être plutôt persistants dans l'environnement en raison d'une faible biodégradabilité [14].

III.3.7 Produits de nettoyage et de lavage des membranes

La procédure de nettoyage dépend du type d'encrassement. Dans les installations RO, des solutions alcalines (pH 11-12) sont utilisées pour éliminer les dépôts de calcaire et les biofilms des membranes, tandis que des solutions acides (pH 2-3) sont appliquées pour dissoudre des oxydes ou des écailles métalliques.

Ces solutions contiennent souvent des produits chimiques supplémentaires pour améliorer le procédé de nettoyage, tels que les détergents (par exemple le dodécylsulfate, le dodécylbenzène sulfonates) ou les oxydants (par exemple le perborate de sodium, l'hypochlorite de sodium).

Après le nettoyage ou avant le stockage, les membranes sont généralement désinfectées. À cette fin, on peut appliquer des biocides oxydants (tels que le chlore et le peroxyde d'hydrogène) ou des biocides non oxydants (tels que le formaldéhyde, le glutaraldéhyde ou l'isothiazole).

Les usines de distillation sont généralement lavées avec de l'eau de mer acide chaude pour éliminer les écailles alcalines des surfaces d'échangeur de chaleur, qui peuvent contenir des inhibiteurs de corrosion (par exemple des dérivés de benzotriazole).

Les solutions de nettoyage, en particulier leurs additifs, peuvent nuire à la vie aquatique si elles sont déversées dans les eaux de surface sans traitement [14].

III.4 Utilisation de l'énergie

Les usines de dessalement nécessitent des quantités importantes d'énergie thermique et / ou électrique selon le procédé: pour un mètre cube d'eau produite, 12 kWh d'énergie thermique et 3,5 kW h d'énergie électrique sont nécessaires dans les usines MSF, qui ont une température de fonctionnement maximale de 120 ° C. Ces chiffres sont plus faibles pour

les usines MED, qui fonctionnent à des températures inférieures ($<70^{\circ}\text{C}$) et nécessitent 6kWh de chaleur et $1,5\text{kWh}$ d'énergie électrique par mètre cube.

Le processus RO nécessite entre 4 et $7\text{kWh} / \text{m}^3$ selon la taille de l'installation et les systèmes de récupération d'énergie installés [28].

Pour illustrer ces chiffres, on peut estimer qu'une centrale RO de taille moyenne d'une capacité d'environ $25\,000\text{m}^3 / \text{jour}$ et une demande d'énergie de $5\text{kWh} / \text{m}^3$ consomme environ $125\,000\text{kWh} / \text{jour}$. L'usine peut fournir environ $48\,000$ ménages à quatre personnes avec de l'eau, tandis que l'énergie utilisée pour le processus de dessalement pourrait fournir environ $10\,300$ ménages à quatre personnes avec électricité.

Les préoccupations environnementales associées à la demande d'énergie et indirectement associées au processus de dessalement sont l'émission de polluants atmosphériques et d'eaux de refroidissement à partir de la production d'électricité, de la source de carburant et du transport de carburant [14].

III.5 Émissions dans l'atmosphère

Comme l'énergie électrique et thermique utilisée pour le dessalement de l'eau de mer est généralement produite à partir de sources d'énergie fossiles, une des principales préoccupations environnementales en matière de dessalement est l'émission de polluants dans l'atmosphère, principalement les gaz à effet de serre (CO_2), les NO_x et le SO_2 , et particules fines PM_{10} et $\text{PM}_2,5$.

Les émissions peuvent résulter directement du processus, c'est-à-dire lorsque les combustibles fossiles sont brûlés pour fournir de la chaleur pour le dessalement dans les usines de cogénération, ou indirectement lorsque l'électricité est produite sur place ou extraite de la grille pour être utilisée dans le processus de dessalement [7].

Chapitre IV Etude de cas : Station du dessalement de l'eau de mer de Mainis (Ténès)

IV.1 Présentation de la station de dessalement d'eau de mer de Ténès :

PRODUIT	EAU POTABLE
PROCEDE	OSMOSE INVERSE
CAPACITE	200.000 M ³ /JOUR

PHASES PRINCIPALES DU TRAITEMENT :

- Zone de captage
- Station de pompage de l'eau brute
- Filtres à sable et anthracite
- Station de pompage d'eau filtrée ou pompage intermédiaire.
- Trains d'osmose inverse d'eau de mer
- Réservoir d'eau traitée
- Station de pompage d'eau traitée
- Décharge « Rejet saumure »

IV.1.1 Caractéristiques techniques de l'usine de dessalement d'eau de mer de la ville de Ténès :

- Production d'eau Commercialisable : 200.000 m³/jour
- Processus de dessalement : Osmose inverse
- Conversion du système : 45 %
- Nombre d'Unités : 12
- Débit de chaque unité : 17.391 m³/jour
- Salinité de l'eau au Point de Livraison : < 500 ppm

Chapitre IV Etude de cas : Station du dessalement de l'eau de mer de Mainis (Ténès)

- Type de prise d'eau de mer : Emissaire sous-marin
- Type de décharge de saumure : Emissaire sous-marin
- Prétraitements physiques : Pre-Filtration, coagulation-floculation, filtres à sable-anthracite et filtres à cartouche.
- Prétraitements chimiques : Hypochlorite de sodium, chlorure ferrique, polyélectrolyte, dioxyde de carbone, métabisulfite de sodium, Hydroxyde de sodium et inhibiteur de corrosion.
- Pompes à haute pression : Centrifuge horizontale
- Système de récupération d'énergie : Chambres hyperbariques modèle PX-260 de ERI
- Post-traitement du produit : Lait de chaux, CO₂ et hypochlorite de sodium.
- Tuyauteries à basse pression : Polyester renforcé de fibre de verre (PRFV)
- Tuyauteries à haute pression : Acier inoxydable qualité SS316 et duplex.

IV.1.2 Capacité de l'usine :

La capacité nominale de production de l'usine est de 200.000 m³/j. L'usine est constituée de douze (12) unités identiques avec une capacité nominale de production nette d'eau dessalée de 17.391 m³/j chacune, avec un taux de conversion de 45 %.

Ces 12 unités produisent un débit conceptuel total de 208.696 m³/jour ce qui permet de produire 200.000 m³/jour même pendant le processus de lavage de chacune des sous unités. De plus, il est prévu une surproduction de 1 % pour la consommation interne de l'usine, avec un débit total de captage de 468.406 m³/jour.

IV.1.3 Caractéristiques de l'eau à traiter :

Tableau IV-1 Caractéristiques de l'eau à traiter

Paramètres	Unité	Minimum	Maximum	Conditions du site de référence (CSR)
Température	°C	14	26	24
Total des matières solides	mg/l	35 000	39 000	37 000

Chapitre IV Etude de cas : Station du dessalement de l'eau de mer de Mainis (Ténès)

dissoutes (TDS)					
Total matières solides en suspension (TSS)	mg/l	1	10	-	
Pétrole et hydrocarbures	mg/l	N/A	< 0,05	-	
Chlorure	mg/l	19 000	22 000	-	
Calcium	mg/l	N/A	490	-	
Sulfate	mg/l	N/A	3200	-	
Strontium	mg/l	N/A	10	-	
Barium	mg/l	N/A	0,3	-	
Magnesium	mg/l	N/A	1550	-	
Bore	mg/l	N/A	5	-	

N/A : données indisponibles

IV.1.4 Caractéristiques de l'eau commercialisable :

Les valeurs garanties pour l'eau traitée seront conformes aux paramètres suivants :

pH : 7,0 - 8,5

Indice de Langelier : 0 - 0,4

Alcalinité : 60 ppm de CaCO₃ (valeur minimale)

Dureté totale : 80 ppm <DT< 150 ppm de CaCO₃

Matière totale Dissoute : 150 < MTD < 500 ppm

Bore: ≤ 1 mg/l (valeur annuelle moyenne)

IV.1.5 Etapes de traitement :

La ligne de traitement élaborée pour l'Usine de Dessalement d'Eau de Mer de Ténès Comprend les étapes suivantes :

1. Captage de l'eau de mer/pompage à basse pression et acheminement vers l'Usine
2. Dosage de l'hypochlorite de sodium
3. Dosage de dioxyde de carbone
4. Dosage de chlorure ferrique et de poly électrolyte

Chapitre IV Etude de cas : Station du dessalement de l'eau de mer de Mainis (Ténès)

5. Filtration ouverte
6. Pompage intermédiaire
7. Système de nettoyage des filtres
8. Dosage de produit réactif inhibiteur « antiscalant ».
9. Filtrage de cartouches.
10. Dosage de bisulfite de sodium
11. Pompage haute pression.
12. Modules d'osmose inverse.
13. Systèmes de récupération de l'énergie de la saumure.
14. Système de déplacement et nettoyage chimique des membranes
15. Système de post-traitement de l'eau produite
16. Désinfection finale à l'aide d'hypochlorite de sodium
17. Pompage de l'eau produite

IV.1.5.1 Pompage de l'eau de mer :

Le débit de captage nécessaire pour la production de l'Usine est fixé à 468.406 m³/j.

Le captage de l'eau s'effectuera directement de la mer au moyen de deux tuyauteries prenant appui sur le fond marin, d'un diamètre de 1.800 mm chacune. Le débit maximal de captage est de 540.000 m³/j, ce qui implique une capacité excédentaire de 13,26%.

Aux extrémités des tuyauteries de captage, sera installée une tour de captage dans le but d'aspirer de l'eau à une profondeur moyenne tout en limitant l'entrée de sables et de produits flottants.

L'impulsion de 468.406 m³/j d'eau de mer depuis le bassin de captage de la station est réalisée à l'aide de 4 pompes (plus une de secours) qui pompent 4.879 m³/h chacune.

Un détecteur d'hydrocarbures sera placé dans la captation dans le but de détecter et contrôler la possible entrée d'hydrocarbures dans le processus de dessalement. Le seuil de détection de cet équipement est de 0,1 µg/l.

IV.1.5.2 Prétraitement :

IV.1.5.2.1 Désinfection :

Une chloration de l'eau brute est effectuée moyennant un dosage d'hypochlorite de sodium dans l'émissaire sous marin et dans la chambre d'aspiration des pompes.

L'hypochlorite de sodium est fabriqué sur place par électrolyse et l'injection d'hypochlorite s'effectue au moyen d'une pompe doseuse.

Après le dosage du chlore, un analyseur de potentiel redox est installé avec des alarmes et l'indication sur le panneau du niveau d'oxydation obtenu grâce à l'injection de chlore.

IV.1.5.2.2 Coagulation-Floculation :

Pour l'étape de coagulation-floculation, les pompes d'eau de mer sont utilisées comme dispositif de mélange pour le coagulant (chlorure ferrique).

La croissance des microparticules se réalise dans le trajet d'impulsion compris entre les pompes et les filtres à sable.

L'addition de flocculant a pour objet de faciliter la croissance des particules formées et de cette façon aider à la décantation postérieure.

Les microparticules générées pendant le processus de coagulation-floculation sont retenues dans les filtres à sable. Ces microparticules seront éliminées ultérieurement dans le processus de nettoyage de filtres et conformément à ce qui est indiqué dans la section de filtration.

IV.1.5.2.3 Filtration :

Une distribution de 36 filtres a été conçue (divisée en deux lignes) d'une surface unitaire de filtration de 94 m^2 , avec une longueur de 11,9 m et une largeur de 7,9 m.

L'épaisseur de la couche de sable est 1,2 m et elle est supportée sur de faux-fonds dotés de buses filtrantes.

IV.1.5.2.4 Dosage de dioxyde de carbone :

Équipement doseur de dioxyde de carbone destiné à réduire le pH d'eau de mer et à éviter les précipitations de carbonates et de bicarbonates.

Chapitre IV Etude de cas : Station du dessalement de l'eau de mer de Mainis (Ténès)

IV.1.5.2.5 Dosage de bisulfite de sodium :

L'addition de ce produit a pour objet d'éliminer le chlore résiduel du dosage d'hypochlorite de sodium.

IV.1.5.2.6 Dosage de l'antiscalant :

Afin d'éviter la précipitation des sels de sulfate de calcium et de strontium, d'hydroxyde ferrique et de fluorure de calcium, dans les membranes, un inhibiteur est dosé dont l'action est destinée à empêcher la formation des réseaux cristallins, en maintenant les ions dispersés et en permettant de dépasser la limite du produit de solubilité de ces sels.

L'addition du produit est réalisée en cours de fonctionnement et en amont des filtres à cartouche pour fournir le plus de temps de contact possible.

IV.1.5.2.7 Dosage de l'hydroxyde de sodium :

L'addition de ce produit a pour objet la réduction du Bore de telle manière qu'à la sortie de l'Usine l'eau traitée ait une quantité de Bore $\leq 1\text{mg/l}$ (moyenne annuelle).

L'addition du produit est effectuée en cours de fonctionnement et en amont et en aval des filtres à cartouche pour fournir le plus de temps de contact possible.

IV.1.5.2.8 Filtration à cartouches :

Une fois que l'eau d'appoint a reçu les dosages des réactifs appropriés et qu'elle a été filtrée, elle est conduite vers le processus de microfiltration.

Au total, il y aura 22 filtres avec 290 cartouches chacune, dont 10 seront ceux qui filtrent l'eau d'alimentation aux pompes de haute pression et 12 filtreront le courant d'alimentation aux récupérateurs d'énergie.

IV.1.5.3 Osmose inverse :

Les membranes sont de la marque HYDRANAUTICS. On dispose de 7 membranes par tube à pression.

Toutes les membranes sont disposées en 12 unités, avec une capacité nominale de production nette d'eau dessalée de $17.391\text{ m}^3/\text{jour}$ chacune.

Le facteur de conversion global (pourcentage de l'eau produite par rapport à l'eau d'alimentation) de la conception de l'osmose a été établi à 45 % et le facteur de disponibilité de l'usine est de 98,08%.

Chapitre IV Etude de cas : Station du dessalement de l'eau de mer de Mainis (Ténès)

La capacité totale de production des douze Unités est de 208.696 m³/jour, ce qui suppose qu'il existe une surproduction égale au débit d'une de ces sous unités.

Entre l'eau d'alimentation et celle de rejet est placé un manomètre à pression différentielle, avec alarme de haute-pression et enregistreur sur panneau. La différence de pression nous indique quand et dans quelle mesure sont atteintes les valeurs élevées de perte de charge produite par l'encrassement des membranes, étant par conséquent un indicateur de l'encrassement des membranes.

IV.1.5.4 Système de récupération d'énergie :

Comme on l'a déjà indiqué, la récupération de l'énergie de la saumure à la sortie des membranes est réalisée au moyen de chambres hyperbariques. Le système utilisé consiste en des échangeurs de pression PX-260 de la marque ERI, regroupés dans le même nombre de châssis que les existants d'osmose inverse.

IV.1.5.5 Post-traitement :

IV.1.5.5.1 Réservoir d'eau traitée :

Pour le stockage du produit, un réservoir de 20.000 m³ construit en béton armé est placé dans l'usine. Le réservoir prévu est divisé en deux compartiments qui peuvent être isolés l'un de l'autre.

IV.1.5.5.2 Désinfection de l'eau produite :

L'eau produite est traitée avec de l'hypochlorite de sodium.

IV.1.5.5.3 Reminéralisation :

La reminéralisation est réalisée avec un lait de chaux sur deux lignes indépendantes, avec un apport de dioxyde de carbone.

Ces deux produits sont dosés dans des chambres, à l'entrée du réservoir d'eau produite. Leur volume devra permettre un temps de contact suffisant pour garantir une réaction adéquate.

La production de CO₂ est prévue de se faire sur site à partir du gaz naturel provenant du gazoduc Sonelgaz passant à proximité du site de Mainis à Ténès.

Le système de dosage d'hydroxyde calcique comprend des silos de stockage de chaux solide, qui alimentent des réservoirs de dissolution à partir desquels ils sont pompés à des

saturateurs dans lesquels le lait de chaux est préparé. De cet endroit, ils sont pompés aux chambres de mélange où l'eau osmosée est acheminée. Préalablement cette eau a été dosée en CO₂ par un système diffuseur d'injection placé dans la chambre de reminéralisation du réservoir de l'eau produite.

IV.1.6 Rejets de l'usine :

IV.1.6.1 Rejets liquides :

Les différents rejets de l'usine sont traités comme suit :

- **Eaux résiduelles** : elles sont acheminées vers une fosse septique où un filtre biologique assure le traitement.
- **Solution de nettoyage chimique** : La solution de nettoyage chimique est neutralisée dans les mêmes réservoirs de préparation de la solution une fois que le cycle de nettoyage terminé.
- **La Saumure** : Une partie de la saumure produite dans le processus de dessalement est utilisée pour le nettoyage des filtres à sable. La quantité de la saumure qui reste est versée à la mer à travers l'émissaire de saumure. La saumure avant d'être évacuée de l'usine passe par une turbine dont l'objet est de récupérer son énergie résiduelle.
- **Saumure de nettoyage des filtres** : La saumure utilisée pour le nettoyage des filtres est conduite vers un réservoir où elle se mélange avec le reste de la saumure provenant de l'osmose inverse, de façon à diminuer sa concentration en solides dissoutes.

Les eaux de lavage des filtres et des membranes ainsi que celles de déplacement, les eaux de nettoyage chimique (après avoir été neutralisées), les eaux pluviales et de drainages sont neutralisées avant d'être évacuées à la mer au travers de l'émissaire de saumure.

Les saumures produites au cours du procédé du dessalement et rejetés dans la mer sans aucun traitement peuvent causer des nuisances pour le milieu marin à cause de leurs grande salinité qui dépasse parfois le double de la salinité de l'eau de mer, ainsi que de leurs teneurs en divers composés chimiques utilisés pour dans les différentes phases du procédé, dans le nettoyage des membranes ou produites lors des éventuelles corrosions des matériaux en contact avec l'eau.

IV.1.6.2 Production de déchets solides :

- Déchets d'emballage de produits chimiques;
- Déchets de membranes usagés;
- Déchets commerciaux, de cantine.

Les déchets solides produits par la station ne provoquent aucun danger significatif pour l'environnement.

IV.1.6.3 Production d'émissions atmosphériques :

L'énergie utilisée par l'usine de dessalement d'eau de mer de Ténès étant l'électricité, il n'y aura pas de rejets atmosphériques.

De plus, l'unité de production et stockage de CO₂ dispose d'une technologie (colonnes de lavage, colonnes d'absorption, etc.) à haute efficacité qui réduit à pratiquement zéro les émissions gazeuses à l'atmosphère.

Conclusion

Le dessalement est devenue une alternative très importante pour l'approvisionnement en eau douce dans plusieurs régions dans le monde.

Selon l'énergie et la force motrice utilisé, on distingue deux grandes familles de procédés de dessalement, le dessalement membranaire qui fonctionne à la base de force de pression et le dessalement thermique qui fonctionne à l'énergie thermique.

Le dessalement par osmose inverse est la technologie la plus répandue dans le monde actuellement, grâce aux avantages économiques et écologiques qu'elle présente.

Les différents composés chimiques utilisés au cours de chaque phase du procédé de dessalement ainsi que la saumure très saline provoquent des nuisances au milieu marin.

Les impacts des usines de dessalement dépendent de leurs tailles, leurs technologies utilisées et la sensibilité du milieu récepteur.

Les rejets atmosphériques, qui sont produits lors de la production de l'énergie nécessaire au dessalement, sont considérés comme impact du dessalement sur l'environnement.

La station de dessalement de la ville de Ténès produit 200 000 m³/jr d'eau dessalée par osmose inverse, cette usine génère des déchets conventionnels et son impact sur l'environnement n'est pas encore détaillé.

Références bibliographiques

- [1] Hisham T. El-Dessouky Hisham M. Ettouney, Fundamentals of Salt Water Desalination 2002 Elsevier Science B.V .
- [2] IDA International Desalination Association <http://idadesal.org/>
- [3] PIDWIRNY «The Hydrologic Cycle», Fundamentals of Physical Geography, 2nd Edition, 2006 .
- [4] World Bank water report 2008 .
- [5] PNUE (2001), dessalement de l'eau de mer dans les pays méditerranéens: évaluation des impacts sur l'environnement et lignes directrices proposées pour la gestion de la saumure, UNEP (DEC)/ MED WG.183/Inf.6, Athènes.
- [6] FAO UN Philippe REKACEWICZ 2008 WRI
- [7] SABINE LATTEMANN, DEVELOPMENT OF AN ENVIRONMENTAL IMPACT ASSESSMENT AND DECISION SUPPORT SYSTEM FOR SEAWATER DESALINATION PLANTS, These de doctorat, University of Technology and of the Academic Board of the UNESCO-IHE Institute for Water Education.
- [8] Zinelaabidine TOUIDJENI Abdelkrim BENARAB Sécurité hydrique et sécurité alimentaire, la stratégie de l'Algérie, état des lieux Université Mentouri Constantine .
- [9] Desalination – a critical element of water solutions for the 21st century Lisa Henthorne, President, The International Desalination Association.
- [10] International Desalination Association <http://idadesal.org/desalination-101/desalination-by-the-numbers/>
- [11] Algérienne des eaux URL: <https://www.ade.dz/index.php/projets-2/dessalement>
- [12] Desalination of Seawater MANUAL OF WATER SUPPLY PRACTICES — M61, First Edition 2011 American Water Works Association.
- [13] B. Liberman, The importance of energy recovery devices in reverse osmosis desalination, <http://www.twdb.state.tx.us/Desalination/>
- [14] C. Fritzmann, J. Löwenberg, T. Wintgens, T. Melin State-of-the-art of reverse osmosis desalination Desalination 216 (2007) 1–76 .

[15] A. Bushnak. (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).