

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

*Abd elhamid ibn Badis University of
Mostaganem
Faculty of Nature and Life Sciences
Department of agronomy*



جامعة عبد الحميد بن باديس
كلية علوم الطبيعة و الحياة
قسم العلوم الفلاحية

Mémoire

Présenté par:

SADAoui ALI

**En vue de l'obtention du diplôme de Master
Académique**

Filière : Sciences agronomiques

Option : Aménagement Hydro-agricole

Thème

**Perspectives et stratégies de dessalement des eaux de mer en
Algérie. Quelques exemples Algériens**

Soutenue Publiquement en date du : 2024

devant le jury composé de :

Nom et prénom	Grade	Etablissement	Qualité
M ^{lle} Hamadi Amina	MAA	Université de Mostaganem	Présidente
M. Benfetta Hassen Noureddine	Professeur	Université de Mostaganem	Rapporteur
M. Tayeb Cherif .A	MAA	Université de Mostaganem	Examineur

Année Universitaire : 2023/2024

Remerciements

Je tiens à exprimer mes sincères remerciements et ma gratitude à Allah tout-puissant, qui m'a aidé à réaliser ce travail et sans lequel je n'aurais pas été en mesure de terminer ce mémoire de fin d'études.

Je tiens à remercier sincèrement toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce projet.

*En premier lieu, je tiens à exprimer ma profonde gratitude envers mon encadreur, le professeur **BENFETTA.H**, pour sa patience et son soutien tout au long de la réalisation de ce mémoire de master.*

*J'exprime toute ma gratitude envers mes estimés professeurs, M^{lle} **Hamadi Amina** et Monsieur **Tayeb Cherif .A** qui ont eu l'honneur de présider le jury de ce mémoire et qui ont accepté de l'examiner avec bienveillance.*

Je suis profondément reconnaissante de vous avoir comme professeur et je suis consciente de la chance que j'ai de bénéficier de votre enseignement. Vous avez eu un impact significatif sur ma vie, et je garderai vos enseignements avec moi tout au long de mon parcours.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

À mes chers parents.

*Ceux qui ont rendu mon cœur heureux et m'ont ouvert la
voie du succès.*

*C'est grâce à vous et à votre soutien sans faille que j'ai pu
atteindre cet objectif.*

Je vous remercie.

*À mon professeur superviseur, BENFETTE .H
qui a été un symbole de sagesse et d'inspiration, et la raison
de mon développement académique.*

À mes chers frères et sœurs.

Karam, Fatima, Shohreh et Houria.

*Vous avez toujours été mes soutiens et mes motivateurs, ma
source de fierté et de bonheur.*

À mon cher frère.

Osama, qui m'a soutenu à chaque étape de mon parcours.

A ma chère amie

*Fatima, Z qui a été à mes côtés à chaque instant de ce long
voyage.*

À mes chers amis.

*Vous avez fait partie intégrante de ce voyage.
Les moments de rire et d'encouragement entre nous ont été
une forte motivation pour exceller et réussir*

Je vous remercie.

Table des matières

Remerciements.....	2
Dédicaces	3
Liste des figures	8
Listes des tableaux	9
Liste des Abréviations	10
Introduction générale	
Partie 1 : Recherches bibliographiques	
Chapitre 1 : Généralité sur le dessalement des eaux de mer	
1.1. Introduction.....	6
1.2. Caractéristiques des eaux marines et saumâtres	7
1.2.1. Les eaux marines.....	7
1.2.2. Les eaux saumâtres	7
1.3. Les principales technologies de dessalement des eaux	8
1.3.1. L’osmose inverse	9
1.3.1.1. Principe de l’osmose inverse	9
1.3.1.2. Éléments constitutifs d’une unité d’osmose inverse.....	11
1.3.2. L’électrodialyse.....	12
1.4. Les procédés de distillation.....	14
1.4.1. Le procédé de distillation à détente étagées (Multi-Stage Flash distillation MSF)....	14
1.4.2. Le procédé de distillation à multiples effets (Multi-Effect distillation MED).....	15
1.5. Plusieurs technologies d’évaporateurs multiples effets existent.....	16
1.5.1. La compression de vapeur (MVC, TVC)	16
1.5.2. Compression mécanique de vapeur (MVC) :.....	16
1.5.3. Thermocompression de vapeur.....	17
1.6. Les nouvelles techniques de dessalement des eaux de mer.....	18
1.7. Conclusion.....	20
Chapitre 2 : Stations de dessalement en Algérie	
2.1. Introduction.....	22
2.2. Problème de la rareté en Algérie.....	22
2.3. Stations de dessalement en Algérie.....	22
2.4. Conclusion.....	24

Partie 2 : Matériels et méthodes

Chapitre 1 : Unité de dessalement de Ténès

1.1. Situation géographique et la topographie de la station de dessalement.....	27
1.2. Description de la station de Ténès	27
1.3. Présentation de l'unité de dessalement de l'eau de mer (Ténès).....	27
1.4. Tours et tuyauterie de captage	30
1.5. Description et fonctionnement normal des installations des procédés	31
1.6. Conditionnement chimique.....	31
1.7. Sous système de filtration (Filtration à sable)	32
1.8. Système de microfiltration (Filtre à cartouche « micro-filtres »)	33
1.9. Système l'osmose inverse.....	34
1.9.1. La membrane	35
1.9.2. Système de Pompage Haut Pression, Pompe Booster et Récupérateur d'Energie.....	36
1.9.3. Châssis d'osmose inverse.....	39
1.10. Nettoyage chimique.....	39
1.10.1. Lavage chimique.....	39
1.10.2. Les procédures de nettoyage chimique et de désinfection des membranes	40
1.10.3. Procédures de protection des membranes en cas d'arrêt de la production	40
1.10.4. Les solutions de nettoyage	41
1.10.5. Procédures de désinfections	41
1.10.6. Les différentes étapes d'un nettoyage chimique	41
1.11. Reminéralisations	42
1.11.1. Préparation de la chaux liquide	42
1.11.2. Production de CO ₂	44
1.11.3. Chloration	44
1.11.4. Stockage et pompage d'eau dessalée	45
1.12. Système de recirculation du ré minéralisation.....	45

Chapitre 2: Unité de dessalement de Mostaganem

2.1. Description de la station de Mostaganem.....	47
2.2. Situation géographique de Mostaganem.....	47
2.3. Aperçu climatique.....	47
2.4. Situation géographique et la topographie de la station de dessalement	48
2.5. Présentation de l'unité de dessalement de l'eau de mer (Mostaganem).....	48

2.6. Tours et tuyauterie de captage.....	49
2.7. Description et fonctionnement normal des installations des procès.....	50
2.8. Conditionnement chimique.....	50
2.9. Sous système de filtration (Filtration à sable).....	51
2.10. Système de microfiltration(Filtre à cartouche « micro-filtres »).....	52
2.11. Système l’osmose inverse.....	53
2. 11.1. La membrane	55
2.11.2. Système de Pompage Haut Pression, Pompe Booster et Récupérateur d’Energie.....	55
2.11.3. Châssis d’osmose inverse	56
2.12. Nettoyage chimique	56
2.12.1. Lavage chimique.....	56
2.12.2. Les procédures de nettoyage chimique et de désinfection des membranes	57
2.12.3. Procédures de protection des membranes en cas d’arrêt de la production	57
2.12.4. Les solutions de nettoyage	58
2.12.5. Procédures de désinfections	58
2.12.6. Les différentes étapes d’un nettoyage chimique	58
2.13. Reminéralisassions	59
2.13.1. Préparation de la chaux liquide	59
2.13.2. Production de CO ₂	59
2.13.3. Chloration	60
2.13.4. Stockage et pompage d’eau dessalée	60
2.14. Système de recirculation du réminéralisation.....	60
2.15. Conclusion.....	60

Partie 3 : Résultats et discussions

1. La Comparaison entre les deux procédés de dessalement des deux stations Mostaganem et Ténès.....	63
2. Solutions proposées.....	63
3. Les analyses physico-chimiques de l'eau potable obtenue par la saturation de Mostaganem.....	64
3.1. Température.....	65
2.3. pH.....	65
3.3. La conductivité électrique.....	65
3.4. Mesure la turbidité.....	65
Conclusion générale et perspectives.....	67

Références bibliographiques.....	69
Annexes.....	71

Table des figures

Figure 1. Osmose et osmose inverse	10
Figure 2. Eléments constitutifs d'une unité d'osmose inverse.....	11
Figure 3. Procédé d'électrodialyse.....	13
Figure 4. Principe de fonctionnement d'un système par détente successives (MSF) à 3 étages.....	15
Figure 5. Principe du procédé à compression mécanique de vapeur (MVC)	17
Figure 6. Schéma d'un thermocompresseur de vapeur	18
Figure 7. Illustration décrivant le principe de la membrane fabriquée par électro- filage coaxial, qui affiche de meilleures performances que les membranes.....	19
Figure 8. Les entreprises qui gèrent la station de dessalement (Ténès).....	28
Figure 9. Vue générale sur Station de dessalement de l'eau de mer Unité de TENES.....	28
Figure 10. Pompe de captation de l'eau de mer	30
Figure 11. Les deux beaudrey de la station.....	31
Figure 12. Filtres à sable	33
Figure 13. Filtres à cartouches	34
Figure 14. Bâtiment d'osmose inverse.....	35
Figure 15. Schéma de membrane.....	36
Figure 16. Pompe à Haut Pression	37
Figure 17. Schéma général d'une unité d'osmose inverse	38
Figure 18. Système de ERI	38
Figure 19. Principe de fonctionnement des ERI	38
Figure 20. Un rack dans le système d'OI.....	39
Figure 21. Silos de stockage de CaCO_3	43
Figure 22. Saturateur de $\text{Ca}(\text{OH}+\text{H}_2\text{O})$	43
Figure 23. Injection de la chaux.....	44
Figure 24. Analyseur automatique au niveau de sortie de Réservoir.....	45
Figure 25. Vue générale sur Station de dessalement de l'eau de mer Unité de Mostaganem	46
Figure 26. Filtres à sable	50
Figure 27. Filtres à cartouches	51
Figure 28. Bâtiment d'osmose inverse.....	54

Listes des tableaux

Tableau 1. Caractéristiques des eaux marines et des eaux saumâtres (Rahmstorf et <i>al</i> , 2018).....	08
Tableau 2. Les stations de dessalement en Algérie et leur capacité	23
Tableau 3. La quantité distribuée par la station de dessalement de l'eau de mer de Ténès.....	29
Tableau 4. Les normes de potabilité de l'OMS.....	64

Liste des Abréviations

UNEP : United Nations Environment Programme

ED : Electrodialyse

EDTA : Ethyle Diamine Tétra Acétique

MSF : Multi Stage Flash

OI : Osmoses Inverse

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

ONM : Office National de Météorologique

pH : Potentiel d'Hydrogène

T : Température

TDS : Solides Totaux Dissous

TSS : Total des matières solides en suspension

Km² : Kilomètre au carré

WWF : Fond mondial pour la nature

MRE : Ministère des Ressources en Eau

mm/an : Millimètre par an

m/s : Millimètre par second

O&M : Opération et Mainteniens

AWC : American Water Company

Introduction générale

Introduction générale

L'eau, élément vital pour toute vie sur Terre, recouvre 72 % de la surface de notre planète. Cependant, la majeure partie de cette eau, soit 97,5 %, est impropre à la consommation humaine car il s'agit d'eau salée. Seule une fraction minuscule, représentant 2,5 % des réserves d'eau douce de la planète, est accessible et potable.

Cette eau douce précieuse n'est pas répartie uniformément. En effet, 70 % se trouvent concentrés dans les calottes glaciaires polaires, tandis que les 30 % restants sont stockés dans les nappes phréatiques des régions éloignées. A la surface de la Terre, dans les rivières, les lacs et les réservoirs, l'eau douce ne représente que moins de 1 %, une quantité facilement accessible aux humains mais relativement limitée.

Cette répartition inégale des ressources en eau douce met en évidence l'importance de sa gestion durable et responsable. Il est crucial de préserver et de protéger les sources d'eau douce existantes, tout en mettant en œuvre des stratégies innovantes pour en optimiser l'utilisation et garantir un accès équitable à cette ressource vitale pour tous (UNEP, 2001).

L'eau douce, une ressource précieuse face à une crise globale La pénurie d'eau douce s'impose comme un défi majeur à l'échelle mondiale, exacerbé par l'expansion des zones arides et l'utilisation intensive de l'eau dans les centres urbains.

L'accès à cette ressource vitale devient de plus en plus difficile, mettant en péril la sécurité hydrique, le développement et la santé publique

L'Organisation mondiale de la santé (OMS) établit un seuil de 1000 m³ d'eau par personne et par an .en dessous duquel une pénurie chronique d'eau est considérée comme un obstacle au progrès et une menace pour la santé humaine.

La région méditerranéenne, particulièrement vulnérable, se caractérise par des ressources hydriques limitées et fragiles, des sécheresses récurrentes et une pression démographique croissante.

Face à cette situation alarmante, une mobilisation collective s'avère indispensable. La préservation des ressources hydriques passe par une rationalisation de la consommation, l'adoption de techniques d'irrigation modernes, la lutte contre les fuites d'eau, le traitement et la réutilisation des eaux usées.

Parallèlement, le soutien aux technologies de dessalement offre une alternative prometteuse pour fournir une source d'eau douce supplémentaire.

La coopération internationale joue un rôle crucial dans le partage d'expertises et le développement de solutions communes.

Elle permet de renforcer la gestion des ressources hydriques et de garantir un accès équitable à l'eau douce pour tous.

Assurer la disponibilité de cette ressource précieuse pour les générations futures est une responsabilité partagée.

En conjuguant nos efforts à tous les niveaux, nous pouvons surmonter cette crise et créer un avenir durable pour notre planète et l'humanité.

La sensibilisation à l'importance de l'eau douce et l'adoption de pratiques écologiques sont des éléments clés pour parvenir à une utilisation responsable et durable de cette ressource vitale.

Une prospection du procédé de dessalement et les caractéristiques chimiques et physico-chimiques de l'eau potable traitée et dessalée par la station de dessalement de l'eau de mer de la wilaya de Mostaganem a fait l'objet de ce travail.

Ainsi, une prospection du procédé de dessalement dans la station de dessalement de ville de Ténès.

Partie 1

**Recherches
bibliographiques**

Chapitre 1

Généralités sur le dessalement des eaux de mer

1.1. Introduction

L'eau est un élément essentiel à la vie sur Terre. Elle couvre 71 % de la surface de notre planète et constitue environ 60 % du corps humain. Elle est indispensable pour l'agriculture, l'industrie, la production d'énergie et la santé humaine.

Cependant, cette ressource vitale est menacée par plusieurs facteurs, dont la croissance démographique. Avec l'augmentation de la population mondiale, la demande en eau douce ne cesse de croître. En 2050, on estime que deux tiers de la population mondiale vivront dans des zones sujettes à des pénuries d'eau.

Les ressources en eau douce facilement accessibles à l'homme, telles que les rivières et les eaux souterraines, ne suffisent plus à répondre à la demande croissante en eau potable.

Face à ce constat, l'Algérie a mis en place ces dernières années un programme ambitieux et efficace d'installation d'usines de dessalement d'eau de mer.

Ce programme vise à :

- Compenser le déficit en eau douce.
- Répondre aux besoins croissants de la population en eau potable.
- Garantir l'accès à l'eau potable même dans les zones arides et semi-arides.

L'augmentation de la population a rendu cette initiative encore plus urgente.

En conclusion, le programme de dessalement d'eau de mer de l'Algérie est une réponse essentielle à la problématique croissante de la pénurie d'eau douce

Le dessalement de l'eau, processus d'extraction du sel de l'eau de mer pour la rendre potable ou utilisable pour l'irrigation, bien que considéré comme une solution prometteuse à la pénurie d'eau douce, peut avoir des impacts environnementaux négatifs selon le Fonds mondial pour la nature (WWF).

Impacts négatifs du dessalement : (Rejets de saumure) : Où les usines de dessalement rejettent de grandes quantités d'eau salée concentrée (saumure) dans la mer. Cette saumure, extrêmement salée (50 à 80 g/L, soit deux fois plus que l'eau de mer naturelle), peut perturber l'équilibre salin des écosystèmes marins, nuire à la faune et à la flore aquatiques et affecter la chaîne alimentaire.

(Impact sur la biodiversité marine) L'infrastructure des usines de dessalement peut altérer les habitats marins, perturber les migrations des poissons et d'autres espèces marines, et menacer la biodiversité marine locale (PNUE).

1.2. Caractéristiques des eaux marines et saumâtres

1.2.1. Les eaux marines

La caractéristique la plus importante de l'eau de mer est sa salinité, c'est-à-dire la quantité de sels dissous qu'elle contient. La salinité moyenne des océans est d'environ 35 g/l, ce qui signifie que pour chaque litre d'eau de mer, il y a 35 g de sels dissous. Les sels les plus courants dans l'eau de mer sont le chlorure de sodium (NaCl 27,2 g. l⁻¹), le sulfate de magnésium (MgSO_4 1,7 g. l⁻¹) et le sulfate de calcium (CaSO_4 1,26 g. l⁻¹) (Viviane, 2003)

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

- mer Méditerranée : 36 à 39 g. l⁻¹
- mer Rouge : environ 40 g. l⁻¹
- mer Caspienne : 13 g. l⁻¹
- mer Morte : 270 g. l⁻¹
- Golfe Arabo-persique : 36 à 39 g. l⁻¹

pH : L'eau de mer est légèrement alcaline, avec un pH qui se situe entre 7,8 et 8,2.

Cela signifie que l'eau de mer contient plus d'ions hydroxyde (OH^-) que d'ions hydroniums (H^+), ce qui lui confère ses propriétés légèrement basiques.

Température : variable selon la latitude, la profondeur et la saison

T= 25°C en moyenne

Densité variable selon la salinité

D=1 025 kg/m³

1.2.2. Les eaux saumâtres

On appelle les eaux saumâtres sont des eaux dont la salinité est comprise entre celle de l'eau douce et celle de l'eau de mer. En d'autres termes, ce sont des eaux qui contiennent une quantité de sel inférieure à l'eau de mer, mais supérieure à l'eau douce. La salinité des eaux saumâtres varie généralement entre 0,5 et 30 g/l, contre 35 g/l en moyenne pour l'eau de mer. Les principaux sels dissous sont le CaCO_3 , le CaSO_4 , le MgCO_3 et le NaCl . (Viviane, 2003)

Tableau 1. Caractéristiques des eaux marines et des eaux saumâtres (Rahmstorf et *al*, 2018)

Caractéristique	Eau marine	Eau saumâtre
Salinité	35 g/L en moyenne	0,5 à 3 g/L
pH	7,8 à 8,2	6,5 à 8,5
Température	Variable selon la latitude, la profondeur et la saison (25°C en moyenne).	Variable selon la température de l'air ambiant, de l'eau douce et de rayonnement solaire.
Densité	1 025 kg/m ³	Variable selon la salinité
Composition chimique	Chlorure de sodium, sulfate de magnésium, sulfate de calcium, potassium, calcium, bromure, iode, oxygène, azote, dioxyde de carbone, matières organiques.	Varie selon la salinité, la composition de l'eau douce et les activités dans le bassin versant.

1.3. Les principales technologies de dessalement des eaux

Les technologies actuelles de dessalement des eaux sont classées en deux grandes catégories, selon le principe appliqué pour obtenir de l'eau douce à partir l'eau salée ; voici les deux catégories de technologies :

- **Procédés thermiques** : changement de phase (congélation et distillation)
- **Procédés par membranes** : osmose inverse et électrodialyse

Parmi les procédés précités, la distillation et l'osmose inverse sont des technologies dont les performances ont été prouvées pour le dessalement d'eau de mer. En effet, ces deux procédés sont les plus commercialisés dans le marché mondial du dessalement. Les autres techniques n'ont pas connu un essor important dans le domaine à cause de problèmes liés généralement à l'importance des investissements et/ou à la consommation d'énergie et la capacité d'eau souhaitée qu'ils requièrent.

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

- Prise d'eau de mer (pompe et filtration grossière)
- Prétraitement (filtration plus fine, biocides, antitartre)
- Procédé de dessalement

- Post-traitement (reminéralisations possible)

A l'issue de ces 4 étapes, l'eau de mer est rendue potable ou utilisable industriellement, elle doit alors contenir moins de 0,5 g de sels par litre (Maurel, 2006)

1.3.1. L'osmose inverse

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

L'énergie requise par l'osmose inverse est uniquement celle électrique consommée principalement par les pompes haute pression.

La teneur en sels de l'eau osmoses est de l'ordre de $0,5 \text{ g. l}^{-1}$.

1.3.1.1. Principe de l'osmose inverse

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

Soit un système à deux compartiments séparés par une membrane semi-perméable et contenant deux solutions de concentrations différentes (fig.1). Le phénomène d'osmose va se traduire par un écoulement d'eau dirigé de la solution diluée vers la solution concentrée. Si l'on essaie d'empêcher ce flux d'eau en appliquant une pression sur la solution concentrée, la quantité d'eau transférée par osmose va diminuer.

Il arrivera un moment où la pression appliquée sera telle que le flux d'eau s'annulera. Si, pour simplifier, nous supposons que la solution diluée est de l'eau pure, cette pression d'équilibre est appelée pression osmotique (Maurel, 2006).

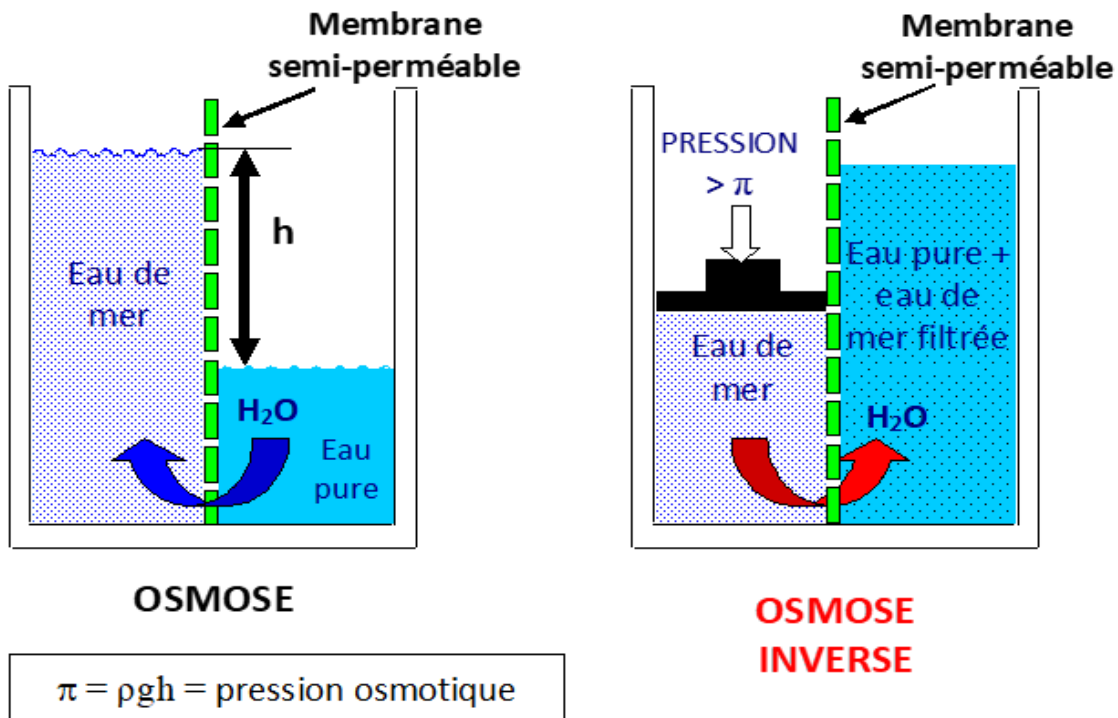


Figure1. Osmose et osmose inverse (www.culturesciences.chimie.ens.fr)

Une augmentation de la pression au delà de la pression osmotique va se traduire par un flux d'eau dirigé en sens inverse du flux osmotique (fig. 1), c'est-à-dire de la solution concentrée vers la solution diluée : c'est le phénomène d'osmose inverse.

Pour les solutions suffisamment diluées, la pression osmotique notée π peut être calculée d'après la loi de Van't Hoff :

$$\pi = i \times C \times R \times T$$

Où :

i : est le nombre d'ions dissociés dans le cas d'un électrolyte,

C : est la concentration en sels en $\text{mol} \cdot \text{m}^{-3}$

R : est la constante des gaz parfaits $R = 8,314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

T : est la température absolue de la solution en Kelvin.

Application :

La pression osmotique d'une eau à 20°C contenant 35 g de chlorure de sodium par litre vaut : $\pi = 2 * (35 \cdot 103 / 58,5) * 8,314 * 293 = 29,14 * 105 \text{ Pa} = 29,14 \text{ bar}$.

Le débit spécifique J_1 (débit massique par m^2 de membrane) d'eau osmoses produite est proportionnel à la différence entre la pression appliquée P et la pression osmotique π de la solution concentrée.

$J_1 = A * (P - \pi)$, où A est le coefficient de perméabilité vis-à-vis de l'eau pure.

Le flux spécifique de sel traversant la membrane est quant à lui proportionnel à la différence de concentration de part et d'autre de la membrane.

$J_2 = B * \pi C$, où B est le coefficient de perméabilité vis-à-vis du sel.

1.3.1.2. Éléments constitutifs d'une unité d'osmose inverse

Les éléments constitutifs d'une unité d'osmose inverse sont schématisés sur la (fig.2).

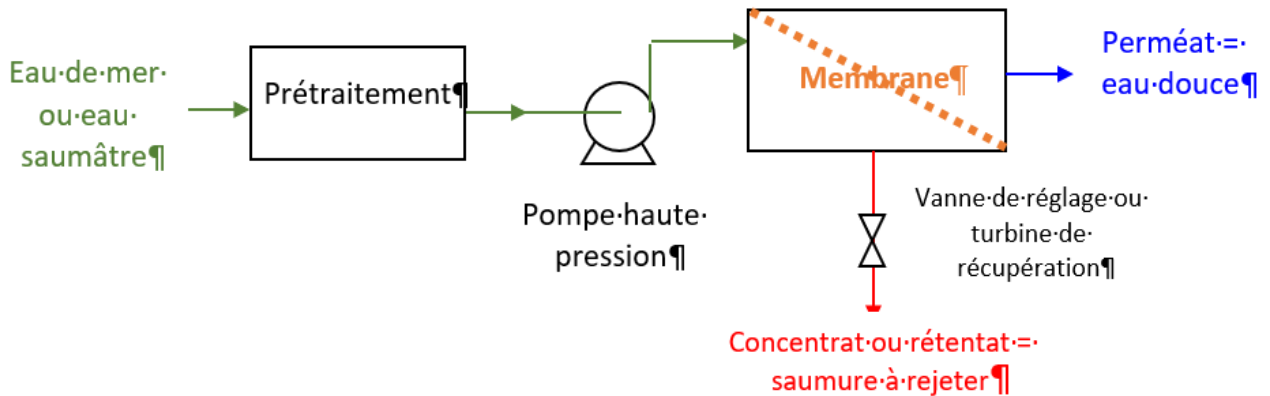


Figure 2. Eléments constitutifs d'une unité d'osmose inverse
(www.culturesciences.chimie.ens.fr)

Il est essentiel de procéder à un prétraitement très approfondi de l'eau de mer avant de procéder au dessalement par osmose inverse afin d'éviter le dépôt de matières en suspension sur les membranes, ce qui entraînerait rapidement une baisse des débits produits.

Il est nécessaire de retenir toutes les particules de dimension supérieure à 10 à 50 μm selon le type de module d'osmose inverse. Ceci est réalisé à l'aide d'une pré filtration grossière puis d'une filtration sur sable pour éliminer les matières en suspension les plus grosses.

Le traitement biocide constitue une étape essentielle dans le dessalement par osmose inverse. Il vise à empêcher la prolifération des micro-organismes, tels que les bactéries et les algues, sur la surface des membranes semi-perméables. Ces micro-organismes peuvent s'accumuler et former des biofilms, obstruant les pores des membranes et réduisant leur efficacité.

Finalement, l'utilisation d'une filtration sur cartouches permet de capturer les particules de taille d'environ quelques dizaines de μm qui n'ont pas été capturées par le filtre mécanique.

La pompe haute pression permet ensuite d'injecter l'eau de mer dans le module d'osmose inverse dans lequel se trouvent les membranes (Viviane, 2003).

De plus, un deuxième phénomène intervient lors de l'osmose inverse, il s'agit de la polarisation déconcentration de la membrane.

Effectivement, au fil du temps, la teneur en sodium de la solution augmente car la plupart des molécules sont recueillies d'un seul côté de la membrane. Ainsi, près de la couche limite, la pression osmotique augmente également, ce qui entraîne des risques de précipitation des composés à faible solubilité. Pour obtenir le même rendement, il est donc nécessaire d'appliquer une pression plus élevée.

Pour éviter ce phénomène, on applique un flux d'eau continu sur la membrane du côté de la solution salée. L'eau n'est pas filtrée entièrement, une partie est utilisée pour nettoyer la membrane. Ainsi, cette méthode ressemble à une filtration tangentielle.

L'eau non filtrée est appelée retentât tandis que l'eau qui a traversé la membrane est appelée perméat.

Finalement Pour réduire la consommation d'énergie du processus. On peut placer sur le circuit du retentât une turbine qui permet de récupérer une partie de l'énergie contenue dans ce fluide sous haute pression.

1.3.2. L'électrodialyse

Les applications industrielles de l'électrodialyse (ED) sont très restreintes dans le domaine de la membrane. Dans cette procédure, les membranes d'échange ionique sélectives séparent les ions électriquement chargés de sel, ce qui engendre une salinité basse dans l'eau. Ainsi, de l'autre côté de la membrane, un courant de saumure très concentré se forme. Un courant électrique est utilisé pour faire passer les ions vers les électrodes. Le système est extrêmement rentable pour les concentrations faibles, l'énergie à utiliser varie en fonction de la concentration en sel. La formation de condensation sur une surface dont la température est inférieure au point de rosée. S'assure d'une eau pure ; consommation d'énergie nulle avec un système passif ou faible avec un système réactif. Il est employé dans le cadre de petites entreprises (Dunglas, 2014).

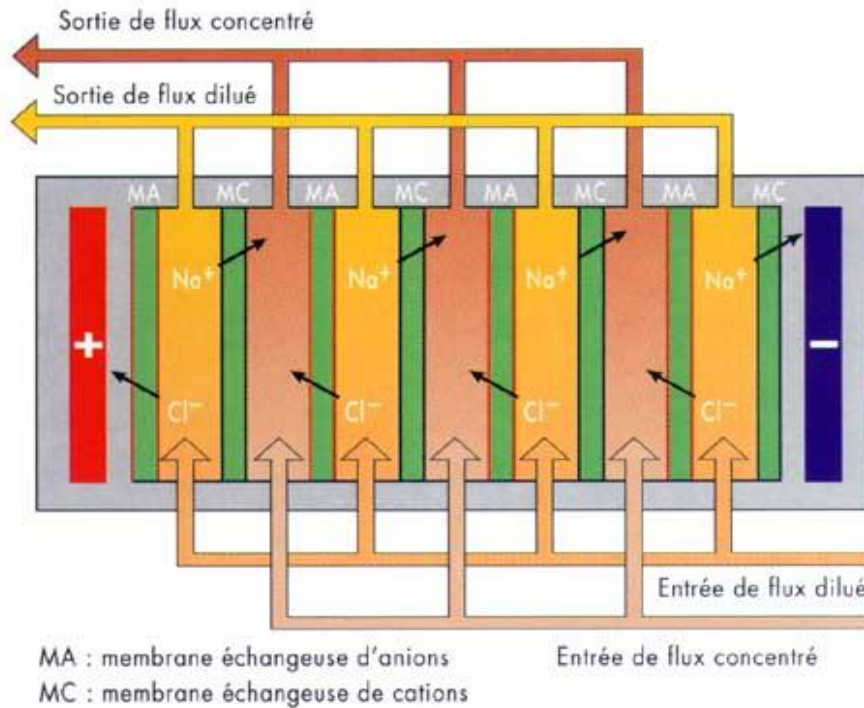


Figure 3. Procédé d'électrodialyse (www.culturesciences.chimie.ens.fr)

L'action d'un champ électrique créé par deux électrodes trempant dans le liquide permet aux ions d'un sel dissous dans l'eau, comme le chlorure de sodium, de se déplacer. L'électrode négative (ou cathode) attire les ions positifs ou cations (par Na⁺) et l'électrode positive attire les ions négatifs (Cl⁻). Les membranes filtrantes intercalées dans l'électrodialyse sont soit imperméables aux anions et perméables aux cations, soit imperméables aux cations et perméables aux anions. Il en résulte une succession de compartiments avec une concentration élevée de sels et d'autres avec une concentration faible (PNUE-UNEP, 2001).

1.4. Les procédés de distillation

C'est la première méthode historiquement employée pour le dessalement de l'eau, probablement en raison de sa simplicité. Cela implique d'évaporer l'eau, qui renferme du sel, à l'aide de la chaleur générée par une chaudière ou simplement par le soleil. Ce processus permet de déposer les sels et les autres composés dissous, tandis que de la vapeur d'eau se dégage. Ensuite, on la décondense pour obtenir de l'eau douce.

L'avantage de cette méthode est de générer une eau extrêmement pure, mais l'inconvénient réside dans la consommation élevée d'énergie (15kWh/m³ d'eau traitée) et donc le coût élevé. Actuellement, elle n'est utile que si elle est liée à la production d'électricité (cogénération). De plus, même si elle est encore très répandue dans le golfe persique, elle est désormais très répandue. L'osmose inverse est progressivement abandonnée au profit de l'osmose (Viviane, 2014).

1.4.1. Le procédé de distillation à détente étagées (Multi-Stage Flash distillation MSF)

Cette méthode appelée Flash implique de maintenir l'eau sous pression tout au long du processus de chauffage. Après avoir atteint une température d'environ 120 °C, elle est placée dans une enceinte (ou étage) à basse pression. Cela conduit à une vaporisation instantanée par détente connue sous le nom de Flash. La partie évaporée de l'eau (fig.4) se condense ensuite sur les tubes condenseurs situés en haut de l'enceinte, et l'eau liquide est collectée dans des récipients situés en dessous des tubes.

La chaleur de vaporisation est produite par le refroidissement de l'eau de mer chaude, qui s'arrête lorsque l'eau de mer atteint la température d'ébullition correspondante à la pression régnant dans l'étage en question. Par la suite, le flash est reproduit au deuxième étage où la pression est encore plus basse. L'eau se vaporise donc par détente successives dans une série d'étages où les pressions sont de plus en plus basses. Jusqu'à 40 étages successifs peuvent être présents dans une unité MSF industrielle.

Afin d'atteindre une température de 120 °C, l'eau de mer est d'abord transportée dans les tubes des condenseurs de différents niveaux, en commençant par le dernier niveau où la température est la plus basse. Elle est ensuite préchauffée en absorbant la chaleur de condensation de la vapeur d'eau. Enfin, elle atteint 120 °C en utilisant de la vapeur à une température supérieure à 120 °C produite par une chaudière ou issue d'une centrale de

production d'électricité. Lors du phénomène de flash, il est possible d'entraîner des gouttelettes d'eau salée avec la vapeur, qui sont ensuite séparées grâce à un dévésiculeur.

Il est composé d'un grillage qui restreint le débit des gouttelettes qui retombent alors au fond de l'enceinte.

Le principal avantage de la méthode MSF réside dans le fait que l'évaporation de l'eau de mer ne se produit pas autour des tubes de chauffe, car le liquide "flashe", ce qui réduit les risques d'entartrage.

Il est principalement nécessaire de fournir de l'énergie thermique à la chaudière, ce qui peut être abordable si on récupère de la vapeur basse pression à la sortie d'une turbine de centrale électrique. Il est également nécessaire de fournir de l'électricité aux pompes de circulation de l'eau de mer.

Le processus MSF n'offre pas de souplesse dans l'exploitation. Il n'est pas permis de faire varier la production, c'est pourquoi ce procédé est principalement employé pour les grandes quantités de plusieurs centaines de milliers de m³ d'eau essorée par jour (Viviane, 2003).

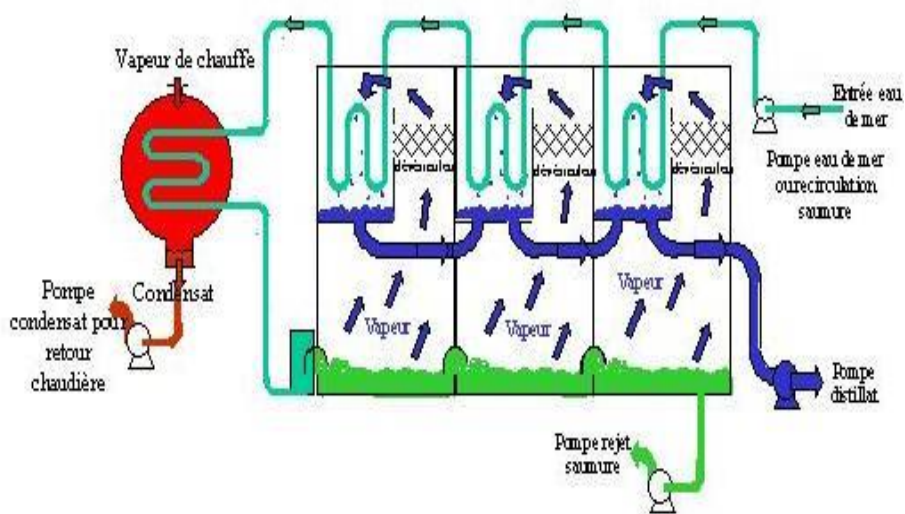


Figure 4. Principe de fonctionnement d'un système par détentes successives (MSF) à 3 étages (www.culturesciences.chimie.ens.fr)

1.4.2. Le procédé de distillation à multiples effets (Multi-Effet distillation

MED)

L'évaporation sous pression réduite d'une partie de l'eau de mer préchauffée à une température comprise entre 70 et 80 °C est le principe de ce procédé. À la différence du procédé précédent, l'évaporation de l'eau se fait sur une surface d'échange, où elle est assurée

par détente au sein des étages successifs. Cette surface est chauffée soit par une vapeur résultant d'une chaudière, soit par une eau chaude issue d'un récupérateur de chaleur. La vapeur générée dans le premier processus est condensée afin de générer de l'eau douce dans le deuxième processus, où la pression est plus basse. De plus, la chaleur de condensation qu'elle émet permet d'évaporer une partie de l'eau de mer présente dans le deuxième processus Et ainsi de suite (voir figure I.4) Par conséquent, seule l'énergie requise pour l'évaporation dans le premier effet provient de sources externes. Il est donc possible de diminuer la consommation spécifique en multipliant le nombre d'effets (énergie/m³ d'eau douce produite) (Viviane, 2003).

1.5. Plusieurs technologies d'évaporateurs multiples effets existent

1.5.1. La compression de vapeur (MVC, TVC)

Le procédé de distillation par compression de vapeur est également utilisé pour générer de l'eau en réduisant la consommation d'énergie. Le procédé multiple-effet est toujours lié à elle, le nombre d'effets pouvant être réduit à un seul. Le principe est identique à celui des pompes à chaleur, avec l'eau comme fluide de travail qui subit le cycle thermodynamique. Au lieu d'être fermé, le circuit de fluide thermodynamique est ouvert, contrairement à une pompe à chaleur. Un compresseur mécanique (Mechanical Vapor Compression, MVC) ou un thermo-compresseur (Thermal Vapor Compression, TVC) peuvent être utilisés pour effectuer la compression (Bandelier, 2016).

1.5.2. Compression mécanique de vapeur (MVC)

L'eau de mer liquide et préchauffée (point A. fig.5) est évaporée à 55 degrés sous une pression réduite de 160 millibars (mbar) (A→B), avec la vapeur résultante légèrement comprimée à 200 mbar (B→C), ce qui entraîne une température de saturation de 60 degrés. Cette vapeur est ensuite condensée (C→D), mais la chaleur de la condensation à 60 degrés est utilisée dans l'évaporateur/condensateur pour évaporer l'eau de mer à 55 degrés. L'eau pure et liquide (D) et le sel correspondant pour la fraction d'eau de mer non évaporée sont extraits à 55 et 60 degrés pour préchauffer l'eau introduite dans le système. La principale consommation d'énergie est celle du compresseur, avec une petite différence de température et une grande surface d'échange pour l'évaporation et la condensation (Bandelier, 2016).

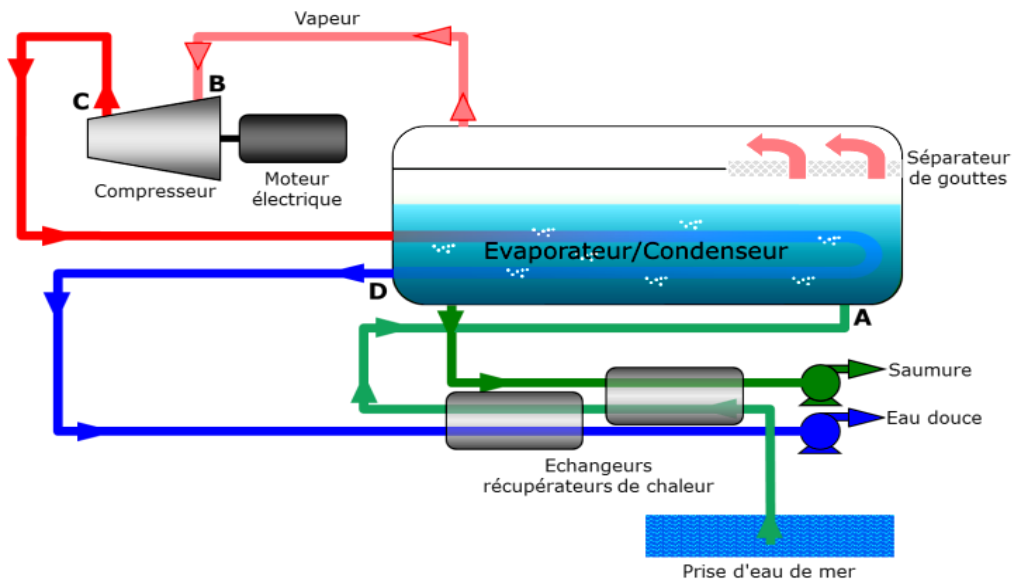


Figure 5. Principe du procédé à compression mécanique de vapeur (MVC)
(www.culturesciences.chimie.ens.fr)

1.5.3. Thermo -compression de vapeur

La méthode mécanique de compression a été inefficace pour les grandes installations en raison des limites techniques et économiques du compresseur. Bien que le taux de compression diminue rapidement au fur et à mesure de l'augmentation des taux, la thermocompression est rapidement adoptée en raison des faibles coûts d'investissement et d'entretien. Le principe est d'utiliser un tube, où la vapeur à haute pression s'élève à partir de vapeurs à basse pression pour obtenir de la pression moyenne. La compression se produit entre la vapeur de basse pression aspirée et le mélange de pression moyenne retourné. La seule source d'énergie est la vapeur à haute pression, ce qui en fait un processus de compression thermique.

Les performances sont caractérisées par la dette de vapeur à haute pression nécessaire à l'introduction de la vague à basse pression ou par le taux d'interaction (Bandelier, 2016).

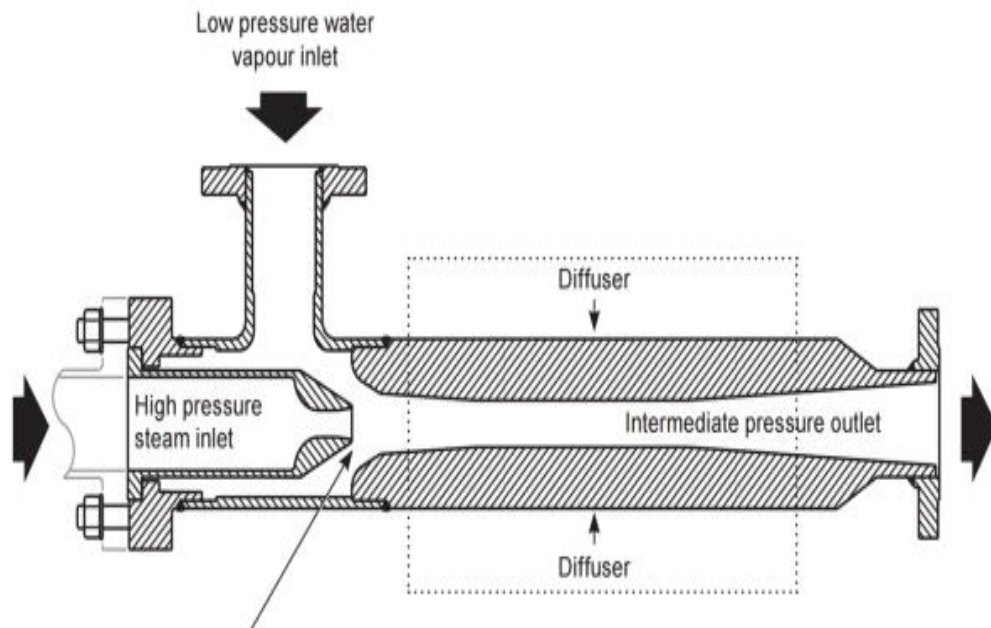


Figure 6. Schéma d'un thermo-compresseur de vapeur - Source : Spirax. Sarco

On associe fréquemment la thermocompression à la méthode à effets multiples, où la vapeur peut être récompensée entre les derniers et les premiers effets, ce qui entraîne un taux de compression maximal et un rendement de la compression faible, ce qui entraîne une consommation de vapeurs importante. Toutefois, il peut aussi survenir entre un stade intermédiaire et le premier effet, ce qui entraîne une compression plus efficace et une consommation de vapeur réduite (Bandelier, 2016).

1.6. Les nouvelles techniques de dessalement des eaux de mer

Un groupe de chercheurs de l'Institut coréen de génie civil et de technologie du bâtiment, sous la direction du Dr Yun Chul Woo, a ainsi développé une membrane innovante, plus résistante au mouillage. L'électrofilage coaxial a été utilisé pour la fabrication de cette membrane, une technique nanotechnologique qui permet d'obtenir des membranes en nanofibres non tissées en une seule étape. Les nanofibres présentent une structure en 3D hiérarchique, ce qui accroît la rugosité de surface et offre une hydrophobie améliorée. En restreignant le mouillage, la stabilité de la distillation membranaire est améliorée à long terme.

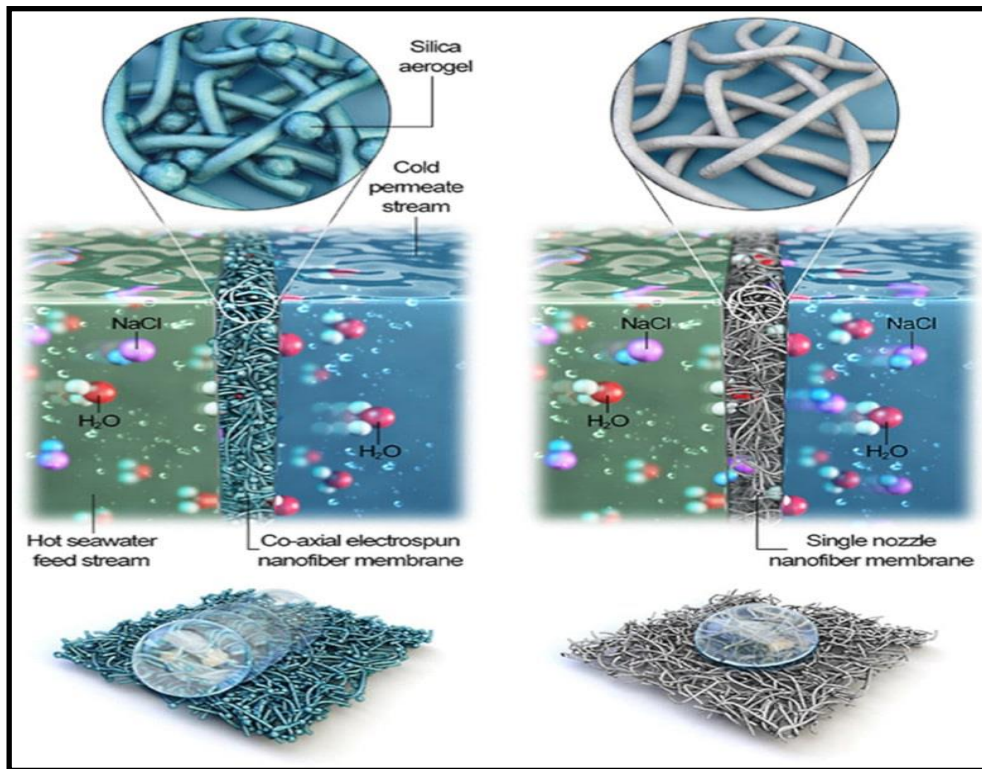


Figure 7. Illustration décrivant le principe de la membrane fabriquée par électro-filage coaxial, qui affiche de meilleures performances que les membranes traditionnelles (2021 Journal of Membrane Science, Y. C. Woo et al.)

Les chercheurs ont utilisé du poly (fluorure de vinylidène-co- hexafluoropropylène) comme noyau et un aérogel de silice comme gaine de ces nano fibres, afin de produire une membrane composite coaxiale dotée d'une surface super-hydrophobe. Il se trouve que l'aérogel de silice présente une conductivité thermique beaucoup plus faible que celle des polymères conventionnels, ce qui a entraîné une augmentation du flux de vapeur d'eau pendant le processus de distillation (due à une réduction des pertes de chaleur conductrices).

Son faible angle de glissement et sa faible conductivité thermique expliquent ces performances remarquables, ce qui permet de se débarrasser des problèmes de polarisation de température (les pertes de chaleur par conduction réduisent les performances du flux de vapeur d'eau lors de la distillation membranaire). En raison de ses caractéristiques particulières, elle a maintenu son efficacité à long terme, sans entraîner de mouillage ou d'encrassement ; cette technologie pourrait donc vraiment contribuer à résoudre la pénurie d'eau douce à travers le monde (Brosseau, 2021).

Selon le Dr Woo, s'il s'agit de développer un dispositif de distillation membranaire à l'échelle industrielle et de le commercialiser, il est plus crucial d'avoir un processus stable que

d'avoir une performance de flux de vapeur d'eau significative. La membrane offre ces deux bénéfices.

« La membrane coaxiale en nano fibres électro-filées a un fort potentiel pour le traitement des solutions d'eau de mer sans souffrir de problèmes de mouillage et peut être la membrane appropriée pour les applications de distillation membranaire à l'échelle réelle » (Brosseau, 2021).

1.7. Conclusion

L'eau est devenue une denrée de moins en moins accessible dans plusieurs régions du monde et les réserves en eau continuent de baisser depuis les 50 dernières années. Les ressources en eau sont en chute libre alors que la demande augmente de façon dramatique.

Les études prévisionnelles concernant une probable pénurie d'eau convergent. La mobilisation de l'eau, enjeu particulier de ce troisième millénaire et son utilisation rationnelle sont indispensables pour assurer une sécurité alimentaire raisonnable. La cause majeure du manque d'eau à l'échelle mondiale n'est pas le manque d'eau mais la croissance démographique galopante surtout dans les pays qui sont déjà en stress hydrique.

Chapitre 2

Stations de

dessalement en Algérie

2.1. Introduction

La crise de l'eau potable annoncée pour les années 2000-2020 relance fortement l'intérêt de développer rapide des techniques de dessalements moins chers, plus simples, plus robustes, et plus fiables, si possible moins consommatrices d'énergie et respectant l'environnement. La désalinisation peut être effectuée selon plusieurs principes physiques : la distillation qui repose sur un changement de phase eau-vapeur, une séparation sel-eau faisant appel à des membranes semi-perméables où le moteur est soit la pression (osmose inverse), soit un champ électrique (électrodialyse).

2.2. Problème de la rareté de l'eau en Algérie

En raison des conditions météorologiques : la pluviométrie est irrégulière et varie seulement entre 100 et 600 mm par an. Les ressources en eau en Algérie demeurent restreintes. Il est nécessaire de mobiliser toutes les ressources d'eau disponibles afin de garantir la sécurité l'approvisionnement en eau potable. Par conséquent, le dessalement des eaux de mer constitue la solution appropriée à ce problème (UNEP/MAP, 2023).

Face au stress hydrique croissant que connaît le pays, l'Algérie s'oriente résolument vers le dessalement de l'eau de mer comme solution alternative prometteuse pour répondre à ses besoins en eau potable et d'irrigation. Avec un nombre croissant de stations de dessalement opérationnelles, le pays s'engage sur une voie prometteuse pour assurer sa sécurité hydrique.

2.3. Stations de dessalement en Algérie

L'Algérie comptera 27 stations de dessalement opérationnelles réparties sur le littoral du pays (MRE, 2019), gérées par le Ministère des Ressources en Eau (MRE), pour répondre à 30% des besoins en eau potable du pays. Six nouvelles (06) stations devraient être mises en service d'ici fin 2024, situées à El Tarf, Béjaïa, Boumerdès, Tipaza, Annaba, Chlef et Oran. Cette augmentation significative permettra de porter la capacité de production d'eau dessalée à 4,1 millions de m³ par jour, couvrant ainsi 30 % des besoins en eau potable du pays, contre 18% actuellement.

Ce développement s'inscrit dans une stratégie nationale ambitieuse visant à porter la part de l'eau dessalée à 60% des besoins en eau potable d'ici 2030. L'objectif est de réduire la dépendance vis-à-vis des ressources en eau douce conventionnelles, souvent fragilisées par le changement climatique et la raréfaction des ressources hydriques.

Tableau 2. Les stations de dessalement en Algérie et leur capacité (MRE, 2019)

La wilaya		Capacité (m ³ /jour)
Chlef	-Ténès	200 000
	-Beni Haoua (En cours de réalisation)	5 000
Béjaia	-Une station	300 000
Tlemcen	- Souk Tléta	200 000
	- Honaïne	200 000
Tizi Ouzou	-Tigzirt	2 500
Alger	-Hamma	200 000
	- Staoueli (Palm Beach)	7 500
	- Aïn Benian	10 000
	- Zeralda	10 000
	- Bordj El Kiffan	10 150
	-El-Marsa en projet	
Jijel	Jijel	200 000
Skikda	Skikda	100 000
Mostaganem	Mostaganem	200 000
Oran	-Arzew	90 000
	- Bousfer	5 500
	-Aïn Turck	5 000
	- Mactaâ	500 000
	- Cap Blanc (commune Aïn El Kerma) (En construction)	300 000
Boumerdès	-Djinet	100 000
	- Corso (En projet)	
	-Cap Djinet (En construction)	300 000
El Tarf	-El Tarf	50 000
	-Koudiet Eddraouche, commune de Berrihane (En construction)	300 000
Tipaza	-Oued Sebt	100 000
	-Douaouda dite "Fouka 1"	120 000
	- Bousmail	10 000
	-Fouka 2 (En construction)	
Ain Témouchent	-Béni Saf	200 000
	-Chatt El Hilal	200 000
Annaba	-Annaba	50 000
	-Echât (En construction)	

2.4. Conclusion

Pour les ressources en eau non conventionnelles, elles constituent une « solution de base » pour assurer l'eau potable, alors que l'objectif principal de la stratégie nationale en la matière consiste à « garantir de manière définitive l'eau potable pour les habitants vivant dans la bande nord nationale, à une profondeur moyenne de 150 km, où vivent 80% de la population

Donc, le dessalement est considéré comme une solution clé pour répondre aux défis hydriques de l'Algérie. Le gouvernement s'engage à poursuivre le développement de cette technologie, en s'efforçant de réduire les coûts, de minimiser l'impact environnemental et d'optimiser l'utilisation de l'énergie.

Aussi, la recherche et le développement dans le domaine du dessalement sont essentiels pour améliorer les technologies existantes et trouver des solutions plus durables et abordables. La coopération internationale est également importante pour partager les connaissances et les meilleures pratiques dans ce domaine.

Partie 2

Matériels et méthodes

Chapitre 1

Unité de dessalement

de Ténès

1.1. Situation géographique et la topographie de la station de dessalement

L'usine de dessalement d'eau de mer de Ténès est située dans la wilaya de Chlef daïra de Ténès, de la commune de Ténès, à l'entrée Ouest de la ville de Ténès, au lieu-dit « Mainis », à 7 km du chef-lieu de commune.

Situé à 52 km à l'Est de la capitale de la wilaya et à environ 110 km à l'Ouest de la wilaya de Tipaza, le site est traversé par la route nationale RN°11 qui part de Mostaganem et rejoint Tipaza. (SPA Alger, 2009).

Le site considéré pour l'implantation de l'usine de dessalement offre une superficie des 8 hectares, il est limité par :

- Au Nord : par la mer Méditerranée
- Au Sud : par la route nationale N°11
- A l'Ouest : par une petite unité de dessalement 5000 m³ Espagnole (anciennes stations)
- A l'Est : par les habitations de Mainis.

La surface actuelle du terrain oscille entre 2,5 m et 16 m depuis la route nationale RN°11 jusqu'à la partie.

1.2. Description de la station de Ténès

Cependant, l'Algérie a mis en place ces dernières années un programme ambitieux de construction de stations de dessalement afin de répondre aux problèmes d'approvisionnement en eau qui se renforcent en raison de l'augmentation de la population, du développement industriel et agricole, ainsi que de la sécheresse. Dans ce cadre, la station de dessalement d'eau de mer au niveau de la ville de Ténès fournie de l'eau pour combler le déficit en eau potable de la zone côtière.

1.3. Présentation de l'unité de dessalement de l'eau de mer (Ténès)

La station de dessalement Ténès a été mise en service en juin 2015 avec une capacité de production de 200 000m³ par jour grâce à la technique d'osmose inverse. Cette station assure l'approvisionnement en eau potable de plusieurs communes. L'entreprise « SONATRACH et

SONELGAZ » a participé à 49% de l'investissement, tandis que l'entreprise espagnole « ABENGOA » a participé à 51% de cet investissement

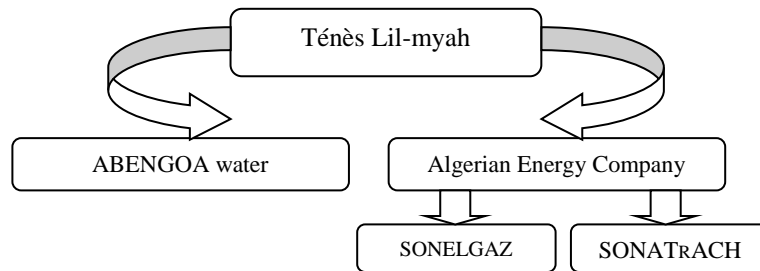


Figure 8. Les entreprises qui la station de dessalement (Ténès)

- **Les services de la station :**

La station de dessalement UTE Desaladora Ténès O& M est composée des services suivant :

- L'administration
- Département HSE
- 01 laboratoire
- 01 sale de control
- Département mécanique
- Département instrumentation et control
- Département d'électricité



Figure 9. Vue générale sur Station de dessalement de l'eau de mer Unité de TENES (AEC - Algerian Energy Company www.aec.dz)

Tableau 3. La quantité distribuée par la station de dessalement de l'eau de mer de Ténès (ADE. 2017).

N° point de Piquage/ adduction	Lieu	Commune à desservir	Pop / (Ha)	Pop total (Ha)	Quotas alloués m³ /J	Dot l/Hab
1	Ténès (station de pompage)	-Ténès -Sidi Abderahmane -El Marsa	39730 4873 12108	56711	17000	300
2	El kharba (Bouz ghaya)	-Sidi Akacha -Abou El Hacem -Talassa	29797 25495 12891	68183	13000	191
3	Bouzghaya (station de pompage N°5)	-Tadjna -Moussadek -Hernfa -Bouzghaya	27354 7151 19944 25312	75487	9000	119
4	Heumis	-Zebouja -Benairia	29734 17486	51594	8000	480
5	Chattia	-Chettia -Ouledfares	80007 39096	119103	30000	252
6	ArdBeidha (Chettia)	-Sobha -Ain Merane -Taougrit -Dahra	38606 57510 30895 26671	153682	25000	163
7	103 longements (Chettia)	-Medjadja -Ouled Abbes -Benirached -OuedFouda -Harchoune -Karimia -OumDrou	16507 9613 26271 46732 20029 32295 23895	175343	32000	182
8	Sortie Chlef Ouest	-Oued Sly -Boukadir -Ouled AEK - El Hadjadj -Sendjas	52936 57520 22358 9503 32542	174859	29000	166
9	Pont Boutaiba	-Chlef centre	200104	200104	37000	185
Total population concernées	/	/	/	1075066	20000	/

1.4. Tours et tuyauterie de captage

L'eau de mer est captée directement de la mer par gravité grâce à deux tuyaux fabriqués en PRFV (Pipe en Résine et Fibre du Verre). Ces tuyaux sont positionnés à une profondeur de 10 mètres, mesurant 600 mètres de long et 1600 mm de diamètre, et ont un débit de capture maximal de 540 000 m³/j.

Un tour de captage sera mis en place aux extrémités des tuyauteries de capture afin d'aspirer de l'eau à une profondeur moyenne tout en limitant la rentrée des sables et des produits flottants jusqu'aux réservoirs de collecte. Des grilleurs (Beaudry) ont été utilisés pour passer l'eau salée afin d'éliminer les déchets volumineux.



Figure 10. Pompe de captation de l'eau de mer



Figure 11. Les deux Beaudry de la station

1.5. Description et fonctionnement normal des installations des procédés

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

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

Le Système de prétraitement est composé de trois sous-systèmes :

- un sous-système de conditionnement chimique,
- un sous-système de filtration,
- un sous-système de microfiltration.

1.6. Conditionnement chimique

a. Désinfection

Une évaluation de l'hypochlorite de sodium est réalisée dans l'émissaire sous-marin et dans la chambre d'aspiration des pompes pour chlorer l'eau brute. L'hypochlorite de sodium est produit en utilisant l'électrolyse sur place. L'électrolyse consiste à traverser l'eau de mer par une

courante électrique, ce qui entraîne la formation de bulles d'hydrogène et de chlore. La formation d'hypochlorite de sodium est due à la réaction des bulles de chlores avec l'hydroxyde de sodium, un autre produit de la réaction d'électrolyse. («UTE, desalodra Ténès Opération et Maitenimients O&M» est un document de la station.)

b. Coagulation – Flocculation

Dans cette étape, les pompes d'eau de mer servent de mélangeur pour le coagulant (chlorure ferrique) FeCl_3 , qui présente une plage plus étendue de 5.5 à 8.3. On procède à la coagulation et à la flocculation lorsque l'eau de mer présente une forte turbidité.

Les microparticules se développeront pendant le trajet d'impulsion entre les pompes et les filtres à sable. Avant que l'eau ne pénètre dans la chambre de partition des filtres de sable, il sera nécessaire de mesurer le niveau de flocculant (poly-électrolyte). L'ajout de flocculant vise à favoriser la croissance des particules formées et ainsi contribuer à la décantation ultérieure. Document de l'établissement. «UTE, desalodra Ténès Opérations et Maintenance O & M »

Les particules minces produites lors de la coagulation-flocculation seront stockées dans les filtres à sables. Ces microparticules seront supprimées plus tard lors du processus de nettoyage des filtres, en respectant les instructions fournies dans la section de filtration.

c. Dosage de méta-bisulfite

Le méta-bisulfite de sodium est utilisé pour éliminer le chlore résiduel présent dans l'eau de mer avant son entrée dans les membranes d'osmose inverse, ce qui prévient leur dégradation par oxydation. La solution de $\text{Na}_2\text{O}_5\text{S}_2$ est injectée à l'aide d'un dispositif qui comprend deux réservoirs d'accumulation-dissolution et une pompe doseuse par ligne, ainsi qu'une réserve.

d. Dosage d'inhibiteur anti-scalant

Dans le but d'éviter la précipitation des sels dans les membranes, on appliquera un inhibiteur dont l'action consiste à empêcher la formation des réseaux cristallins, en tenant les ions dispersés et en permettant de dépasser la limite du produit de solubilité de ces matériaux.

1.7. Sous système de filtration (Filtration à sable)

La majorité des particules en suspension, de l'huile et des graisses qui restent dans l'eau de mer sont éliminées par ce dispositif. Ce système comprend 36 filtres répartis sur une surface unitaire de 92 m^2 , mesurant 11,9 m de long et 7,9 m de large. La couche de sable mesure 1,2 m

d'épaisseur et est posée sur des faux fonds équipés de buses filtrantes. La filtration aura une vitesse de 5,19 m/h.



Figure 12. Filtres à sable
(Photo prise au niveau de la station de dessalement de Ténès 2023)

1.8. Système de microfiltration (Filtre à cartouche « micro-filtres »)

Les filtres à cartouches sont les mieux adaptés et les plus abordables pour les applications qui traitent des effluents avec une contamination inférieure à 100. Ils sont également utilisés pour des contaminations plus élevées, allant de 0,5 à 150 microns, ce qui permet d'éliminer le sable, le calcaire, la chaux, la rouille et les particules fines.

Il y a 22 filtres disponibles, chaque filtre est constitué de 290 cartouches en polypropylène de forme cylindrique. Les cartouches seront remplacés après le colmatage.



Figure 13. Filtres à cartouches
[Photo prise au niveau de la station de dessalement de Ténès 2023].

On injecte deux substances chimiques à l'entrée des micro-filtres : **AWC (American Water Company)** propose un produit anti tartre afin d'éviter la formation de sels incrustants qui entraînent un colmatage rapide des membranes, ce qui entraîne une baisse du débit d'eau traitée.

.Réducteur de chlore (bisulfite de sodium) : afin de ne pas endommager les membranes qui sont trop sensibles au chlore.

Des instruments de mesure de pH, de température, de pression et de potentiel redox sont disponibles à la sortie des micro-filtres afin de vérifier la qualité de l'eau d'alimentation des membranes. Ces instruments permettent de détecter la présence de chlore.

1.9. Système l'osmose inverse

L'osmose inverse est un procédé industriel efficace de désalinisation avec une pression de 50 à 80 bars.

Le but est essentiellement la diminution de la dureté de l'eau ce qui en rend l'utilisation plus agréable des équipements mais aussi de supprimer les polluants et d'en améliorer le gout par l'élimination des composés Chlorés.

Le débit de production est de 8.695 m³/h, avec une pression moyenne de 63 bars et taux de conversion 45%.

Système de membranes d'osmose inverse il est constitué de 12 racks, chaque rack est composé de 196 tubes disposés en parallèles et chaque tube se compose de 7 membranes en polyamide.

Les 4 unités ont une capacité totale de production de 208 696 m³ de l'eau nominale par jour.



Figure 14. Bâtiment d'osmose inverse
[Photo prise au niveau de la station de dessalement de Ténès 2023]

1.9.1. La membrane

La membrane semi perméable est une membrane qui est formée de plusieurs couches ne laissant passer que la molécule d'eau. Elle est composée de plusieurs sous-membranes qui renforcent la purification de l'eau de mer.

Cette membrane est formée d'une couche nommée « support » d'une taille d'environ 50µm de largeur et d'une autre couche appelée « barrière » qui a une taille très petite environ 0,2µm d'épaisseur.

L'eau de mer passe à travers des membranes semi-perméables qui ne laissent passer que les molécules d'eaux et stoppe les sels présents dans l'eau qui sont de l'ordre de 10⁻⁷ mm. De plus, cette technique permet de désinfecter l'eau de mer de plus près, c'est-à-dire grâce à la

membrane semi-perméable, qui laisse que les molécules d'eau de passer et elle désinfecte cette eau de toutes les particules qui restent en suspension ou des micro-organismes. Donc elle permet la production d'eau potable.

Cette eau est désinfectée en passant et en éliminant toutes les particules en suspension ou les micro-organismes. Ainsi, elle autorisa la fabrication d'eau potable.

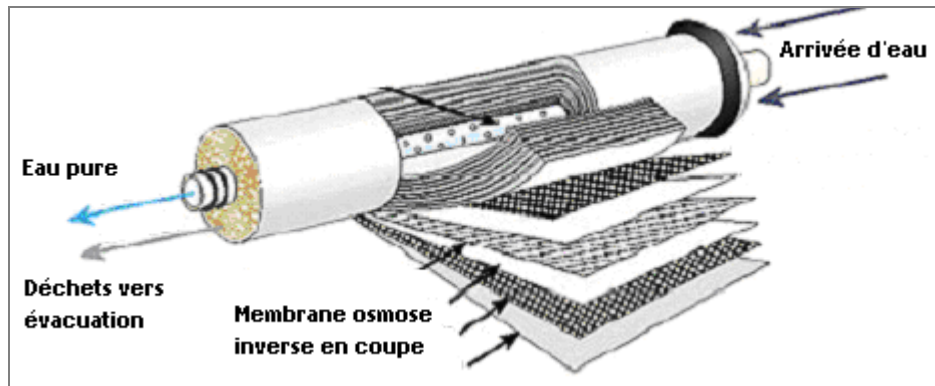


Figure 15. Schéma de membrane. (www.pureprofrance.fr)

1.9.2. Système de Pompage Haut Pression, Pompe Booster et Récupérateur d'Énergie

Avant d'atteindre les membranes d'Osiose Inverse, l'eau prétraitée est introduite dans le système de pompage de haute pression, qui se situe habituellement entre 55 et 85 bars. Les pompes sont au nombre de 5, dont 4 sont en fonctionnement et une de secours, offrant une pression totale d'environ 60 bar. Une capacité nominale de production nette d'eau dessalée de 17 391m³ / jour est disponible pour 12 racks d'OI.



Figure 16. Pompe à Haut Pression
 [Photo prise au niveau de la station de dessalement de Ténès 2023]

La consommation d'énergie lors de l'osmose inverse est un enjeu important. Étant donné que seulement la moitié de l'eau est extraite sous forme d'eau douce à partir de l'eau salée, l'unité émet une saumure concentrée à une pression très élevée, d'environ 60-70 MPa, presque égale à la pression de fonctionnement de l'osmoseur. Rapidement, des appareils capables de récupérer cette énergie de pression ont été ajoutés.

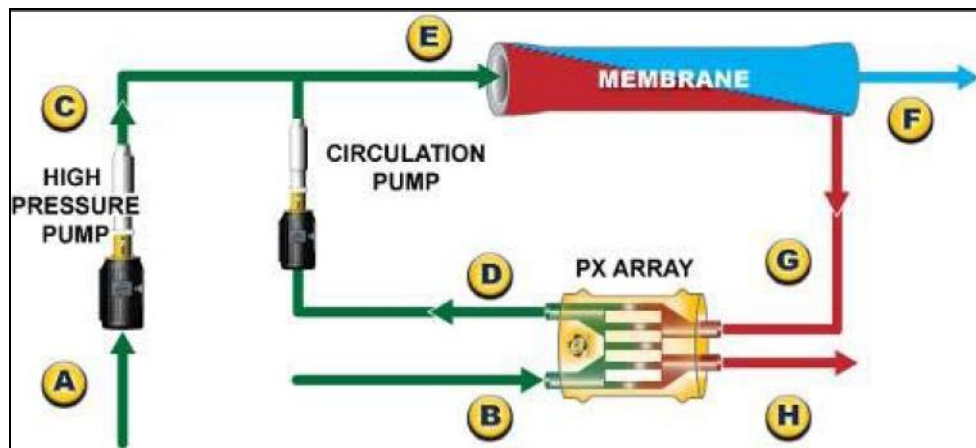


Figure 17. Schéma général d'une unité d'osmose inverse



Figure 18. Système d'ERI

L'échangeur de pression développé par la société ERI est considéré comme le système le plus avancé car il est rotatif et ne contient ni clapet ni piston. La rotation du dispositif est assurée par la pression de la saumure à une vitesse de 1200 tours par minute. Le taux de récupération dépasse les 95%. En raison de l'absence de piston, les fluides se mélangent en partie, mais seulement un peu.

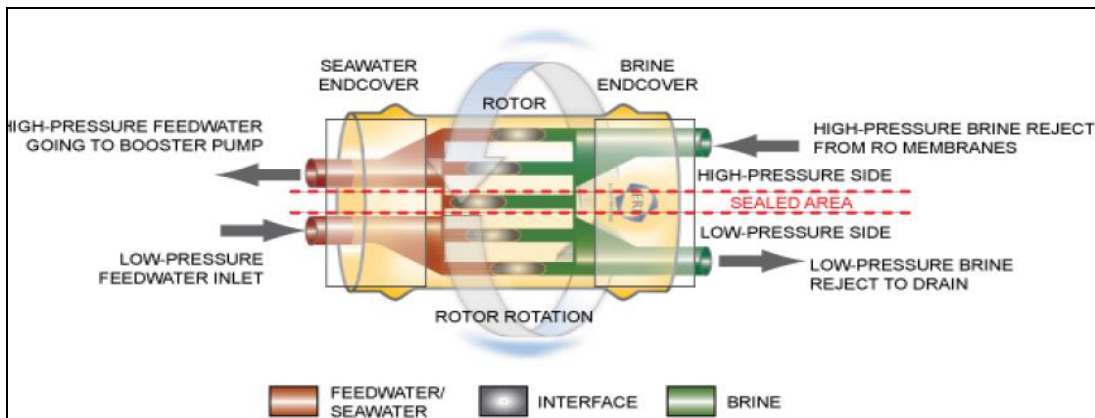


Figure 19. Principe de fonctionnement des ERI (www.lenntech.fr)

1.9.3. Châssis d'osmose inverse

Le bloc d'osmose inverse est composé de 4 unités dans cette étape de prétraitement de l'eau. Dans une unité, il y a 3 Racks, ce qui donne un total de 12 Racks. Chaque Rack contient 196 tubes de pression et 7 membranes.

Les pompes HP pompent l'eau prétraitée dans les racks avec une pression de 65 bars.

La production de l'eau dessalée par Rack a une capacité nominale de 17 391 m³/j. Ainsi, les 4 unités ont une capacité de production totale de 208 696 m³/j.



Figure 20. Un rack dans le système d'OI
[Photo prise au niveau de la station de dessalement de Ténès 2023].

1.10. Nettoyage chimique

1.10.1. Lavage chimique

On procède à ce lavage pratiquement une fois par an lorsque la pression diffère de 2 bars et que la production diminue de (720 m³/h à 620 m³/h). La solution de lavage chimique, qui est un mélange, est préparée. Trois options sont disponibles : SLS, Na-EDTA, NaOH.

Cette procédure est réalisée dans l'agitateur de l'unité de lavage, puis cette solution de pH basique (11.80-12) est utilisée. À l'intérieur de cette unité, il reste 12 heures grâce à un système de fraction : une heure et trente minutes de circulation et 2 heures de maturation dans la membrane. Après cette étape, on ajoute le permeat et on procède à un lavage acide. En ajoutant de l'acide tartrique avec un pH de (2.20 à 2.40) pendant 12 heures de maturation, puis en ajoutant le permeate pour permettre la maturation. Une fois que le pH est régulé, nous effectuons un autre

lavage basique pendant 12 heures, puis nous ajoutons du perméat. Ensuite, nous ajoutons une solution de biocide pour éliminer les micro-organismes pendant 2 heures, puis nous ajoutons également du perméat. Enfin, la solution est prête à résoudre le problème de colmatage du système.

1.10.2. Les procédures de nettoyage chimique et de désinfection des membranes

On doit procéder à un nettoyage chimique dans les cas où :

- Le débit normalisé a baissé de 10%
- Les Seles dissous totaux normalisés ont augmentés de 10 %
- La perte de charge entre circuit d'alimentation et circuit concentrât a augmentée de 15 % par rapport à la perte de charge initiale.

On circule la solution pendant une durée de 30 minutes, puis on effectue un trempage pendant environ deux heures.

Il est important de maintenir la température de l'eau à 25°C. Une fois la désinfection terminée, les corps de pression sont rincés à l'aide d'un perméat, jusqu'à ce que toute trace de stérilisant soit éliminée.

1.10.3. Procédures de protection des membranes en cas d'arrêt de la production

a. Procédure pour des arrêts de moins de 7 jours

- Arrêt de la production.
- Lavage du système à l'aide d'un perméat sans oxydant, pendant une durée de 30 minutes.
- Il est nécessaire de répéter l'opération tous les deux jours lorsque la température de l'eau dépasse 20°C.

b. Procédure pour des arrêts prolongés

- Arrêt de la production
- Rinçage du système avec du perméat sans oxydant, la durée de rinçage est de l'ordre de 30 minutes.
- On rejette l'eau de rinçage dans l'égout.
- Une fois que le système est rempli de solution, il est nécessaire de clore toutes les vannes qui l'isolent.

- Répéter la procédure tous les mois.
- Afin de redémarrer le système, il est nécessaire de rejeter le perméat produit à l'égout pendant au moins une heure.

1.10.4. Les solutions de nettoyage

- ✓ **Solution acide** : Ajouter 10 kg d'acide citrique ($C_6H_8O_7$) à chaque m^3 d'eau de dilution dans le bac et vérifier fréquemment le pH si sa valeur est inférieure à 2,5. Donc, il convient de l'augmenter en ajoutant de l'hydroxyde d'ammonium (NH_4OH).
- ✓ **Solution alcaline** : par m^3 d'eau de dilution contenu dans le bac ajouter :
 - 10kg de tri-poly-phosphate de sodium ($Na_5P_3O_{10}$).
 - 10kg d'EDTA de sodium en poudre.
 - 10kg de phosphate tri sodique ($NaPO_4 \cdot 12 H_2O$).
 - Le pH de la solution doit être contrôlé pour le maintenir entre 10 et 11 en ajoutant de l'acide chlorhydrique.

1.10.5. Procédures de désinfections

Il est essentiel d'appliquer cette procédure en cas de colmatage important causé par des substances biologiques qui ont pu se développer à la surface de la membrane côté perméat.

Afin d'assurer une désinfection efficace, il est nécessaire d'augmenter la pression de recirculation en augmentant le débit du concentrât jusqu'à ce qu'il y ait un certain débit de perméabilité.

On peut préparer la solution stérilisante en utilisant du formaldéhyde (CH_2O , formol).

Il est essentiel de suivre des mesures d'hygiène et de sécurité, car ce produit présente des risques.

1.10.6. Les différentes étapes d'un nettoyage chimique

Étape 1 : Les corps de pression doivent être rincés avec du perméat jusqu'à ce que la conductivité échappe du concentrât.

Étape 2 : choisie préparation de la solution de nettoyage.

Étape 3 : évacuation à l'égout du fluide de rinçage.

Étape 4 : recirculer la solution pendant une heure.

Étape 5 : Pendant deux heures, laissez les membranes tremper dans la solution en suivant le programme suivant :

- Trempage pendant 30 minutes.
- Recirculation pendant 15 à 30 minutes et en renouvelant quatre fois le cycle remplage/recirculation.
- Vérifier régulièrement la valeur du pH, les fluctuations sont d'environ 0,5 unité de pH.

Étape 6 : recirculation de la solution au débit maximum toléré.

Étape 7 : Il faut vider les solutions usées et remplir le bac avec du perméat. Les membranes sont rincées en rejetant le fluide à l'égout, jusqu'à ce que la conductivité soit égale à celle du perméat.

Étape 8 : remise en service de l'osmoseur après que tous les tubes de pression du linge aient été nettoyés.

Étape 9 : Mise à l'égout du perméat jusqu'à ce que la qualité souhaitée soit atteinte.

1.11. Reminéralisations

Selon les normes OMS des eaux potables, le perméat sort des membranes avec une conductivité très faible (environ 190 us/cm), ce qui indique une faible quantité de sels minéraux nécessaires pour la consommation humaine. L'unité corrige sa composition chimique en ajoutant deux produits chimiques : le CO₂ et la chaux liquide, qui sont fabriqués dans l'unité et injectés en permanence dans le perméat.

1.11.1. Préparation de la chaux liquide

Dans un premier temps, on mélange la chaux solide avec de l'eau industrielle (perméat) dans une cuve afin d'obtenir le lait de chaux, qui est ensuite transféré dans un bac plus grand (saturateur) et dilué avec de l'eau industrielle. On surveille en permanence le pH et la conductivité de la chaux liquide préparée.



Figure 21. Silos de stockage de CaCO_3
[Photo prise au niveau de la station de dessalement de Ténès 2023].



Figure 22. Saturateur de Ca ($\text{OH} + \text{H}_2\text{O}$)
[Photo prise au niveau de la station de dessalement de Ténès 2023].

La chaux est injectée dans le bassin de mélangeage situé dans le réservoir d'eau.



Figure 23. Injection de la chaux
[Photo prise au niveau de la station de dessalement de Ténès 2023].

1.11.2. Production de CO₂

En outre, un prélèvement d'un échantillon d'eau est effectué chaque une heure par les agents du laboratoire de contrôle pour l'analyser. Le processus de production est basé sur le captage d'un solvant organique : la Mono-Éthanol-Amine (MEA) après la combustion d'un combustible.

Le CO₂ généré est conservé dans deux récipients de 80 tonnes.

À la sortie des membranes, le CO₂ est injecté dans le perméat.

Afin de garantir le suivi de l'opération de reminéralisations, on installe des instruments de mesure qui affichent le pH et la conductivité à la sortie du réservoir d'eau. De plus, les agents du laboratoire de contrôle prélèvent un échantillon d'eau chaque heure afin de l'analyser.

1.11.3 Chloration

Après avoir été réhydratée, de l'eau de javel est ajoutée à l'eau grâce à des pompes doseuses afin de garantir une désinfection efficace. Des instruments de mesure de pH, de température, de conductivité, de turbidité et de teneur en chlore sont installés à la sortie finale de l'eau pour contrôler la qualité de l'eau produite. Le laboratoire de contrôle effectue également des contrôles chaque trois heures.



Figure 24. Analyseur automatique au niveau de sortie de Réservoir
[Photo prise au niveau de la station de dessalement de Ténès 2023].

1.11.4. Stockage et pompage d'eau dessalée

On déplace l'eau minérale vers le réservoir de stockage, puis on la pompe vers les points de distribution à l'aide de 4 pompes HP à une pression de 30 bar afin que l'eau atteigne le point de distribution le plus éloigné possible (à une pression de 3 bar pour 300 mètres).

1.12. Système de recirculation du ré minéralisation

Lors de la charge en calcite de la cuve supérieure de la couche se produit une période naturelle et transitoire de déséquilibre stœchiométrique et de dilution du dosage calcite et le CO₂ contenu dans l'eau à l'entrée de la chambre. Cela a entraîné la mise en place d'un système de recirculation de l'effluent des cellules de calcite vers l'entrée du collecteur de l'eau osmotique avant la ré minéralisation pour reprendre l'eau et la calcite en suspension. Le système est composé par des pompes submersibles et par des collecteurs des cellules et de distribution à la tête de la ré minéralisation. Ce système est commandé par un débitmètre électromagnétique (Chartier, 2002).

Chapitre 2

Unité de dessalement de Mostaganem

2.1. Description de la station de Mostaganem

Introduction

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.

Dans ce cadre, la station de dessalement d'eau de mer au niveau de la Wilaya de Mostaganem fournit de l'eau pour combler le déficit en eau potable de la zone côtière (Maurel, 2001).

2.2. Situation géographique de Mostaganem

Mostaganem est une wilaya du Nord de l'Algérie. Sa superficie est de 2 269 km² et elle se situe à 365 km de la capitale Alger et à 80 km de la ville d'Oran.

Limites géographiques : La wilaya de Mostaganem est limitée :

- Au nord, par la mer Méditerranée ;
- A l'est, par la wilaya de Chlef ;
- Au sud-est, par la wilaya de Relizane ;
- A l'ouest, par la wilaya d'Oran ;
- Au sud-ouest, par la wilaya de Mascara.

2.3. Aperçu climatique

La dimension climatique est essentielle pour un projet de dessalement des eaux de mer, car elle est un facteur déterminant du fonctionnement du procédé de dessalement et du choix du site.

La wilaya de Mostaganem bénéficie d'un climat méditerranéen tempéré et un climat semi-aride à hiver (ONM. 2018).

- **Les précipitations** : à pluviométrie varie entre 350 et 500 mm/an.
- **La température** : La température joue un rôle essentiel dans l'environnement naturel, elle encourage particulièrement les phénomènes d'évaporation et d'érosion éolienne.
 - La moyenne annuelle est de (18,1°C)
 - Mois le plus chaud : juillet (27,8 °C)
 - Mois le plus froid : janvier (9,4 °C)
- **Le vent** : La vitesse moyenne annuelle du vent à Mostaganem est d'environ 10 à 12 km/h.

2.4. Situation géographique et la topographie de la station de dessalement

La station de dessalement de wilaya de Mostaganem est située à la zone de Sonachther ; dans la commune de Mostaganem, en Algérie. Elle se trouve à environ 10 km au nord-ouest du centre-ville de Mostaganem, sur la côte méditerranéenne. La station est accessible par la route nationale N11 (ANRE, 2014).

2.5. Présentation de l'unité de dessalement de l'eau de mer (Mostaganem)

Située sur la plage de Cheliff (Mostaganem), l'usine de dessalement de Mostaganem peut produire une quantité d'eau potable de 200 000 m³ par jour. La conception de l'usine de dessalement de Mostaganem 11 vise à produire de l'eau potable qui répond aux exigences de qualité requises, tout en réduisant la consommation spécifique d'énergie électrique à la consommation spécifique d'énergie électrique garantie (3.40 kWh/m³).

Les entreprises espagnoles GS INIMA et AQUALIA se spécialisent dans des activités liées au traitement de l'eau de pointe. En 2005, ils ont mis en place une station de dessalement des eaux en collaboration avec l'Union Temporaire des Entreprises Opération & Maintenance Mostaganem UTE O&M MTM, située à Sonachter dans la ville de Mostaganem. Elle fut mise en service en 2010 (ANRE, 2014).



Figure 25. Vue générale sur Station de dessalement de l'eau de mer Unité de Mostaganem (AEC - Algerian Energy Company www.aec.dz)

2.6. Tours et tuyauterie de captage

Deux tours de prise sont connectées au réservoir de pompage d'eau de mer pour capter l'eau de mer. Ces tuyaux en polyéthylène d'haute densité de 1.800 mm de diamètre permettent à l'eau de circuler à une vitesse d'environ 1 m/s. Les tours de prise sont submergées à environ 2500 mètres de la cote et à une profondeur de 16,5 mètres.

En général, l'aspiration des pompes d'eau de mer sera supérieure au niveau d'eau du réservoir de captage. Le but du dispositif d'amorçage des pompes d'eau de mer est d'extraire l'air des conduits d'aspiration des pompes d'eau de mer. Le dispositif de démarrage des pompes d'eau de mer est constitué de deux groupes à vide équipés de deux pompes de 4 kW chaque un. Un détecteur de vide installé dans le réservoir du groupe commande le démarrage et l'arrêt des pompes. Dans le linge de raccordement aux pompes de captage, le détecteur du vide émet un signal d'amorçage des pompes nécessaires pour leur démarrage. En général, le dispositif d'amorçage sera interrompu et les vannes seront fermées

Le système ne peut démarrer qu'une seule pompe simultanément. Le but du système de pompage d'eau de mer est d'assurer la quantité et la pression nécessaires pour prétraiter l'eau de mer afin de produire la quantité d'eau potable souhaitée. Les dispositifs de collecte d'eau de mer ont été élaborés afin de générer un débit de 2380 m³ par heure à une pression de 67 bars. Cependant, ces pompes sont munies de variateurs de fréquence afin de permettre le déplacement du point de travail afin de maintenir une pression constante lors de l'aspiration des pompes à haute pression.

Grâce à des échangeurs de fréquence, on maintient la pression des pompes de haute pression avant l'osmose à 2,5 bars. Les vannes de retenue et les vannes de papillon motorisées sont installées dans le processus d'impulsion des pompes, dont 13 unités sont destinées aux pompes de secours et sont connectées à chaque une de l'équipement de prétraitement. Les pompes de secours sont connectées à chaque machine de prétraitement de linge (ALPHA, 2005).

2.7. Description et fonctionnement normal des installations des procès

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

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

Le Système de prétraitement comprend 3 sous-systèmes à savoir :

- un sous-système de conditionnement chimique,
- un sous-système de filtration,
- un sous-système de microfiltration (ANRE, 2014).

2.8. Conditionnement chimique

a. Désinfection

Afin d'assurer une eau de mer traitée sans micro-organismes, il est possible d'effectuer une désinfection en ajoutant des produits chimiques désinfectants tels que le chlore, le dioxyde de chlore ou l'ozone afin de supprimer les bactéries, les virus et autres micro-organismes présents dans l'eau (OMS, 2006).

b. Coagulation – Flocculation

Dans cette étape, il est nécessaire d'incorporer des substances chimiques coagulantes afin de former des floccs plus gros des particules en suspension dans l'eau de mer. Il est plus aisé d'éliminer ces floccs lors des étapes suivantes du processus de traitement (OMS, 2006).

c. Dosage de méta-bisulfite

L'utilisation du méta-bisulfite de sodium permet d'éliminer le chlore résiduel contenu dans l'eau de mer avant son arrivée aux membranes d'osmose inverse, évitant leur détérioration par oxydation. L'injection de la solution de $\text{Na}_2\text{O}_5\text{S}_2$ se fait par un équipement qui est composé de deux réservoirs d'accumulation-dissolution et d'une pompe doseuse par ligne, plus une réserve.

d. Dosage d'inhibiteur anti-scalant

Dans le but d'éviter que les sels ne se précipitent dans les membranes, on appliquera un inhibiteur dont l'action consiste à empêcher la formation des réseaux cristallins, en tenant les ions dispersés et en permettant de dépasser la limite du produit de solubilité en sels.

2.9. Sous système de filtration (Filtration à sable)

Ce système élimine la plupart des particules en suspension, huile et graisses qui restent dans l'eau de mer. Ce système contient 36 filtres qui sont distribués d'une surface unitaire de 92 m² avec une longueur de 11,9 m et un largueur 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. La vitesse de filtration sera de 5,19 m/h.



Figure 26. Filtres à sable
Station de dessalement de l'eau de mer Unité de Mostaganem
(AEC - Algerian Energy Company www.aec.dz)

2.10. Système de microfiltration (Filtre à cartouche « micro-filtres »)

Les filtres à cartouches sont les plus efficaces et économique pour des applications traitant des effluents ayant une contamination inférieure à 100, c'est une microfiltration pour des contaminations plus élevées de 0.5 à 150 microns (aide à éliminer le sable, calcaire, chaux, rouille, particules fines).

Ils existent 22 filtres, chaque filtre est composé de 290 cartouches de formes cylindrique en polypropylène Après colmatage, les cartouches seront remplacées.



Figure 27. Filtres à cartouches
Station de dessalement de l'eau de mer Unité de Mostaganem
(AEC - Algerian Energy Company www.aec.dz)

Deux produits chimiques sont injectés à l'entrée des micro-filtres :

Un anti tartre AWC (American Water Company) : pour éviter la précipitation de sels incrustants qui produisent un colmatage rapide des membranes et par conséquent une diminution du débit d'eau traitée.

Réducteur de chlore (bisulfite de sodium) : afin de ne pas endommager les membranes qui sont trop sensibles au chlore.

A la sortie des micro-filtres, ils existent des instruments de mesure de ph, de la température, de la pression et du potentiel redox (indication sur la présence du chlore) pour contrôler la qualité de l'eau d'alimentation des membranes.

2.11. Système l'osmose inverse

Le centre de l'usine est le système d'osmose inverse (fig.28) qui a pour objectif de diminuer la quantité de sels dans l'eau micro-filtrée. Le système de nettoyage de la membrane, le système de pompage à haute pression et de récupération d'énergie, ainsi que le châssis d'osmose inverse, sont inclus.

L'osmose inverse consiste à purifier l'eau en utilisant le phénomène chimique de l'osmose. Afin d'appliquer le principe de l'osmose, deux solutions aqueuses de concentrations différentes sont séparées par une membrane semi-perméable qui ne permet de passer que l'eau pure. La solution la plus faible en concentration va donc tenter d'équilibrer les concentrations des deux solutions en introduisant de l'eau pure (H₂O) dans le compartiment de la solution la plus élevée en concentration.

Le système d'osmose inverse est utilisé dans l'usine pour diminuer la quantité de sels présente dans l'eau micro-filtrée.

Les sous-systèmes suivants constituent le système d'osmose inverse :

Le dispositif de pompage à haute pression et de récupération d'énergie

- Le châssis d'osmose inverse
- Le dispositif de purification des membranes
- Le processus de transport d'eau de mer et de saumure (MRE, 2021)



Figure 28. Bâtiment d'osmose inverse Station de dessalement de l'eau de mer Unité de Mostaganem
(AEC - Algerian Energy Company www.aec.dz)

2.11.1. La membrane

La membrane semi perméable est une membrane qui est formée de plusieurs couches ne laissant passer que la molécule d'eau. Elle est composée de plusieurs sous-membranes qui renforcent la purification de l'eau de mer.

La membrane semi perméable est une membrane qui est formée de plusieurs couches ne laissant passer que la molécule d'eau. Elle est composée de plusieurs sous-membranes qui renforcent la purification de l'eau de mer.

Cette membrane est formée d'une couche nommée « support » d'une taille d'environ 50 μ m de largeur et d'une autre couche appelée « barrière » qui a une taille très petite environ 0,2 μ m d'épaisseur.

L'eau de mer passe à travers des membranes semi-perméables qui ne laissent passer que les molécules d'eaux et stoppe les sels présents dans l'eau qui sont de l'ordre de 10⁻⁷ mm. De plus, cette technique permet de désinfecter l'eau de mer de plus près, c'est-à-dire grâce à la membrane semi-perméable, qui laisse que les molécules d'eau de passer et elle désinfecte cette eau de toutes les particules qui restent en suspension ou des micro-organismes. Donc Elle permet la production d'eau potable.

2.11.2. Système de Pompage Haut Pression, Pompe Booster et Récupérateur d'Énergie

Avant de l'entrée dans les membranes d'Osmose Inverse, l'eau prétraitée arrive au système de pompage de haute pression généralement entre 55 à 85 bar. Le nombre des pompes est de 5 dont 4 sont fonctionnelle et une de secours, en fournissant une pression totale de l'ordre de 60 bar. Un total de 12 rack d'OI, avec une capacité nominale de production nette d'eau dessalée de 17 391m³ /j chacune.

La consommation énergétique de l'osmose inverse est une préoccupation majeure. Puisque seulement la moitié de l'eau est extraite sous forme d'eau douce à partir de l'eau salée, l'unité rejette une saumure concentrée à une pression très élevée, de l'ordre de 60-70 10⁵Pa, quasiment égale à la pression de fonctionnement de l'osmoseur. Très rapidement, des dispositifs récupérant cette énergie de pression ont été intégrés.

Le système le plus élaboré est l'échangeur de pression développé par la société ERI car il est rotatif et ne comporte ni clapet ni piston. C'est la pression de la saumure qui assure la rotation du dispositif à une vitesse de 1200 tours par minute. Le rendement de récupération est supérieur à 95%. A cause de l'absence de piston, les fluides se mélangent partiellement mais seulement de quelques pour cent.

2.11.3. Châssis d'osmose inverse

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

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

La capacité nominale de la production de l'eau dessalée par Rack est 17 391 m³/j. Donc la capacité totale de production des 4 unités est 208 696 m³/j.

2.12. Nettoyage chimique

2.12.1. Lavage chimique

On procède à ce lavage pratiquement une fois par an lorsque la pression diffère de 2 bars et que la production diminue de (720 m³/h à 620 m³/h). La solution de lavage chimique, qui est un mélange, est préparée. Trois options sont disponibles : SLS, Na-EDTA, NaOH. Cette procédure est réalisée dans l'agitateur de l'unité de lavage, puis cette solution de pH basique (11.80-12) est utilisée. À l'intérieur de cette unité, il reste 12 heures grâce à un système de fraction : une heure et trente minutes de circulation et 2 heures de maturation dans la membrane. Après cette étape, on ajoute le permeat et on procède à un lavage acide. En ajoutant de l'acide tartrique avec un pH de (2.20 à 2.40) pendant 12 heures de maturation, puis en ajoutant le permeate pour permettre la maturation Une fois que le pH est régulé, nous effectuons un autre lavage basique pendant 12 heures, puis nous ajoutons du permeat. Ensuite, nous ajoutons une solution de biocide pour éliminer les micro-organismes pendant 2 heures, puis nous ajoutons également du permeat. Enfin, la solution est prête à résoudre le problème de colmatage du système.

2.12.2. Les procédures de nettoyage chimique et de désinfection des membranes

Il est nécessaire de réaliser un nettoyage chimique lorsque :

- La vitesse normalisée a diminué de 10%.
- La quantité totale de Seles dissous normalisés a augmenté de 10 %.
- La diminution de la charge entre le circuit d'alimentation et le circuit concentrât a connu une augmentation de 15 % par rapport à la dernière.

On circule la solution pendant une durée de 30 minutes, puis on effectue un trempage pendant environ deux heures.

Il est important de maintenir la température de l'eau à 25°C. Une fois la désinfection terminée, les corps de pression sont rincés à l'aide d'un perméat, jusqu'à ce que toute trace de stérilisant soit éliminée.

2.12.3. Procédures de protection des membranes en cas d'arrêt de la production

a. Procédure pour des arrêts de moins de 7 jours

- Fin de la fabrication.
- Lavage du système à l'aide d'un perméat sans oxydant, pendant une durée de 30 minutes.
- Il est nécessaire de répéter l'opération tous les deux jours lorsque la température de l'eau dépasse 20°C.

b. Procédure pour des arrêts prolonges

- Arrêt de la production
- Rinçage du système avec du perméat sans oxydant, la durée de rinçage est de l'ordre de 30 minutes.
- L'eau de rinçage est rejetée à l'égout.
- Le système étant rempli de solution, toutes les vannes l'isolant doivent être fermées.
- Répéter la procédure tous les mois.
- Pour le redémarrage du système, le perméat produit doit être rejeté à l'égout pendant au moins une heure.

2.12.4. Les solutions de nettoyage

- a. **Solution acide** : par m³ d'eau de dilution contenu dans le bac, ajoute 10kg d'acide citrique (C₆H₈O₇).

Contrôler régulièrement le pH. si celui-ci descend en dessous de 2,5 relever sa valeur en rajoutant de l'hydroxyde d'ammonium (NH₄OH).

- b. **Solution alcaline** : par m³ d'eau de dilution contenu dans le bac ajouter :

- 10kg de tri-poly-phosphate de sodium (Na₅P₃O₁₀).
- 10kg d'EDTA de sodium en poudre.
- 10kg de phosphate tri sodique (NaPO₄ 12H₂O).
- Le pH de la solution doit être contrôlé pour le maintenir entre 10 et 11 en ajoutant de l'acide chlorhydrique.

2.12.5. Procédures de désinfections

Il est essentiel d'appliquer cette procédure en cas de colmatage important causé par des substances biologiques qui ont pu se développer à la surface de la membrane côté perméat. Afin d'assurer une désinfection efficace, il est nécessaire d'augmenter la pression de recirculation en augmentant le débit du concentrât jusqu'à ce qu'il y ait un certain débit de perméabilité.

On peut préparer la solution stérilisante en utilisant du formaldéhyde (CH₂O, formol). Il est essentiel de suivre des mesures d'hygiène et de sécurité, car ce produit présente des risques.

2.12.6. Les différentes étapes d'un nettoyage chimique

Étape 1 : rinçage des corps de pression avec du perméat jusqu'à ce que la conductivité sortie du concentrât.

Étape 2 : choisie préparation de la solution de nettoyage.

Étape 3 : évacuation à l'égout du fluide de rinçage.

Étape 4 : recirculer la solution pendant une heure.

Étape 5 : permettre aux membranes de tremper dans la solution pendant deux heures en suivant le programme suivant :

- Trempage pendant 30 minutes.

- Recirculation pendant 15 à 30 minutes et en renouvelant quatre fois le cycle remplage/recirculation.
- Vérification périodique de valeur du pH, les variations sont de l'ordre de 0.5 unité de pH.

Étape 6 : recirculation de la solution au débit maximum toléré.

Étape 7 : vidange des solutions usées et remplissage du bac avec perméat. Rinçage des membranes en rejetant le fluide à l'égout, jusqu'à obtention d'une conductivité de celle du perméat.

Étape 8 : remise en service de l'osmoseur après que tous les tubes de pression du linge aient été nettoyés.

Étape 9 : mise à l'égout du perméat jusqu'à obtention de la qualité désirée.

2.13. Reminéralisations

Selon les normes OMS des eaux potables, le perméat sort des membranes avec une conductivité très faible (environ 190 uS/cm), ce qui indique une faible quantité de sels minéraux nécessaires pour la consommation humaine. L'unité corrige sa composition chimique en ajoutant deux produits chimiques : le CO₂ et la chaux liquide, qui sont fabriqués dans l'unité et injectés en permanence dans le perméat.

2.13.1. Préparation de la chaux liquide

Dans un premier temps, on mélange la chaux solide avec de l'eau industrielle (perméat) dans une cuve afin d'obtenir le lait de chaux, qui est ensuite transféré dans un bac plus grand (saturateur) et dilué avec de l'eau industrielle. On surveille régulièrement le pH et la conductivité de la chaux liquide préparée.

2.13.2. Production de CO₂

Le processus de production est basé sur le captage d'un solvant organique : la Mono-Éthanol-Amine (MEA) après la combustion d'un combustible. Le CO₂ généré est conservé dans deux récipients de 80 tonnes.

À la sortie des membranes, le CO₂ est injecté dans le perméat.

Afin de garantir le suivi de l'opération de reminéralisations, on installe des instruments de mesure qui affichent le pH et la conductivité à la sortie du réservoir d'eau. De plus, les agents du laboratoire de contrôle prélèvent un échantillon d'eau chaque heure afin de l'analyser.

2.13.3. Chloration

Après avoir été réhydratée, de l'eau de javel est ajoutée à l'eau grâce à des pompes doseuses afin de garantir une désinfection efficace. Des instruments de mesure de pH, de température, de conductivité, de turbidité et de teneur en chlore sont installés à la sortie finale de l'eau pour contrôler la qualité de l'eau produite. Le laboratoire de contrôle effectue également des contrôles chaque trois heures.

2.13.4. Stockage et pompage d'eau dessalée

L'eau minéralisée est transférée vers le réservoir de stockage ; puis est pompée vers les points de distribution grâce à 4 pompes HP avec une pression de 30 bar pour que l'eau arrive au loin point de distribution (3 bar pour 300 mètres).

2.14. Système de recirculation du ré minéralisation

Une période naturelle et temporaire de déséquilibre stoechiométrique et de dilution du dosage de calcite et du CO₂ contenu dans l'eau se produit lorsque la cuve supérieure de la couche est chargée en calcite. Ceci a conduit à la création d'un système permettant de renvoyer l'effluent des cellules de calcite vers l'entrée du collecteur d'eau osmotique avant de le reminéraliser afin de reprendre l'eau et la calcite en suspension. Le système est constitué de pompes submergées et de collecteurs de cellules et de distribution principalement utilisés pour la minéralisation. On utilise un débitmètre électromagnétique pour commander ce système (Chartier, 2002).

2.15. Conclusion

L'Algérie a souffert ces dernières années d'un grand problème de manque d'eau. Les aléas climatiques persistants, doublés d'une forte croissance de la population ont largement contribué à l'actuelle carence des ressources mobilisables pour les besoins élémentaires du pays (eau potable, industrielle et irrigation). Le caractère stratégique du secteur de l'eau en Algérie rappelé sans

cesse par l'acuité des besoins, devrait justifier le maintien d'un haut niveau d'investissement de l'Etat.

Malgré l'importance des investissements réalisés en matière de mobilisation des ressources en eau et de développement des infrastructures d'alimentation en eau potable, la qualité de service demeure un sujet de préoccupation pour les pouvoirs publics.

Partie 3
Résultats et discussions

1. La Comparaison entre les deux procédés de dessalement des deux stations Mostaganem et Ténès

Selon les sorties de prospection des deux stations de dessalement de la Wilaya de Mostaganem ainsi que celle du Ténès, on retenu que les deux stations appliquent le même système technologique qui est l'Osmose inverse.

Il peut avoir des problèmes causés par la conductivité. Cependant, ils peuvent compromettre le bon fonctionnement des deux sites, tels que la saturation du filtre lors de l'osmose inverse et l'augmentation de la température de l'eau, ce qui entraîne une augmentation de la conductivité de l'eau.

Il est possible que le risque de conductivité soit extrêmement sérieux car il entraîne le dysfonctionnement de l'usine et du réseau de distribution de l'eau.

La conductivité peut même augmenter de manière minime, ce qui entraîne une augmentation exponentielle de la corrosion dans les tuyaux et les pompes de l'usine et du réseau commercial.

➤ Les principaux raisons de l'augmentation de la conductivité des eaux

Les équipements de dessalement d'eau (dessaleur) tels que les membranes, les filtres saturés, les fuites, ainsi que les injections de produits chimiques tels que les antitartres et les anti-mousse.

La température des eaux de mer augmente, ce qui entraîne une augmentation de la conductivité en raison de la quantité de chaleur que les ions de chlore, de sodium et d'oxygène reçoivent.

2. Solutions proposées

-La stabilisation de la température et la pression, spécialement dans les pompes.

-Utilisé la technique de thermocompression

-Une des solutions couramment utilisées est la réduction des substances chimiques -anti-mousse.- étant donné que la résolution du problème de moussage est plus simple que celle de l'augmentation de la conductivité.

La raison en est que le moussage a un impact limité sur les niveaux d'eau, et en tenant compte du fait que l'eau n'est pas un produit explosif ou inflammatoire, il est possible de réduire sans danger la quantité d'anti-mousse insufflée.

Il est préférable de ne pas attendre que le filtre soit complètement usé avant de le remplacer, en comparant la pression initiale et finale.

3. Les analyses physico-chimiques de l'eau potable obtenue par la station de Mostaganem

Ce qui concerne les analyses physico-chimiques de l'eau potable obtenue par dessalement de l'eau de mer au niveau des deux stations de dessalement :

- ✓ Pour la station de Ténès : On n'a pas pu avoir des données sur les analyses physico-chimiques de l'eau potable.
- ✓ Pour la station de Mostaganem : Les résultats que nous avons obtenus sur les analyses physico-chimiques de l'eau potable par la station de dessalement de l'eau de mer étaient celle de l'année 2023.

Les analyses physico-chimiques de l'eau potable obtenue par le dessalement de l'eau de mer de la station de Mostaganem sont réalisées dans un laboratoire de l'unité selon le respect des normes d'OMS.

Tableau 4. Les normes de potabilité de l'OMS

Paramètres physico-chimiques	Unités	Normes OMS
Température	°C	< 25
pH	/	6,5 – 8,5
CE	µS /cm	180 – 1000
NH ₄ ⁺	mg/l	0,5
NO ₂	mg/l	0,2
NO ₃	mg/l	≤ 50
Ca	mg/l	200
Mg	mg/l	150
Na	mg/l	≤ 200
K	mg/l	≤ 12
Fe	mg/l	≤ 0,3
Al ⁺	mg/l	≤ 0,3
HCO ₃	mg/l	450
Cl	mg/l	≤ 250
SO ₄	mg/l	≤ 250

3.1. Température

Il est essentiel de maintenir la température de l'eau potable à une valeur de 15°C-20°C pour des raisons d'hygiène.

3.2. pH

Le pH est utilisé pour évaluer l'acidité de l'eau potable. On le mesure à l'aide d'un pH-mètre.

3.3. La conductivité électrique

L'eau possède une conductivité électrique qui correspond à sa capacité à conduire le courant électrique, en fonction de la quantité d'ions présents dans l'eau.

Il est simple de réaliser un test de conductivité de l'eau, qui permet d'obtenir des informations sur la qualité de l'eau. Ce test est utilisé comme une méthode pour suivre les variations de la composition des ions, en utilisant un capteur. La conductivité de l'eau potable est généralement comprise entre 0.0005 et 0.05 $\Omega^{-1} \text{ m}^{-1}$ ($\mu\text{S/cm}$).

3.4. Mesure la turbidité

Les particules en suspension, qu'elles soient minérales ou organiques, vivantes ou détritiques, sont responsables de la turbidité de l'eau. Elle a un impact sur la perception de la lumière, l'absorption des rayons ultraviolets, les mécanismes de photosynthèse et la croissance bactérienne. La turbidité d'une eau claire est inférieure à 5 NTU, tandis qu'une eau trouble est plus élevée. Les mesures sont réalisées par un turbidimètre.

Conclusion générale et perspectives

Conclusion générale et perspectives

Face au défi croissant de la rareté de l'eau douce, le dessalement des eaux de mer s'impose comme une solution stratégique pour l'Algérie.

Ce mémoire a exploré les techniques du dessalement dans le pays, en mettant l'accent sur les aspects suivants :

Besoins en eau et ressources disponibles : L'analyse du stress hydrique en Algérie a révélé une situation alarmante, avec une demande croissante et des ressources naturelles limitées. Le dessalement s'avère indispensable pour combler le déficit hydrique et garantir la sécurité alimentaire et sanitaire de la population.

Au vu du développement technologique, le processus de dessalement a connu un large développement technologique, où diverses technologies ont été présentées et évaluées, y compris l'osmose inverse, la distillation thermique et l'évaporation solaire, étant donné les avantages de la performance des coûts et son impact sur l'échelle environnementale, il est apparu que la technologie de l'osmose inverse est une technologie appropriée et plus largement utilisée et mature dans le pays de l'Algérie.

Des perspectives et des défis liés au coût élevé de l'énergie, à la gestion des déchets salins et à l'acceptabilité sociale du dessalement ont été identifiés.

Des perspectives prometteuses ont également été identifiées, notamment l'utilisation d'énergies renouvelables, l'optimisation des processus et la sensibilisation du public.

Pour résumer, le processus de dessalement joue un rôle crucial dans la stratégie de sécurité hydrique de l'Algérie.

L'élaboration d'un plan national ambitieux et cohérent, basé sur une planification minutieuse, une participation active des acteurs publics et privés et une prise en considération des enjeux environnementaux et sociaux, permettra à l'Algérie de faire face de manière durable au défi de la pénurie d'eau.

Les suggestions suivantes sont émises afin de guider les actions à venir :

Élargir les compétences de recherche et développement dans le domaine du dessalement, en favorisant la coopération entre les universités, les centres de recherche et les entreprises. Inciter à l'emploi des énergies renouvelables pour fournir l'énergie aux stations de dessalement, dans le but de diminuer leur empreinte écologique et énergétique.

Créer des approches novatrices pour gérer les rejets salins, en s'inspirant des meilleures pratiques internationales. Pour accroître la prise de conscience du public sur les problèmes de dessalement et encourager une participation citoyenne dans les processus de prise de décision.

Références bibliographiques

Références Bibliographiques

Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH):<https://www.pseau.org.com>

Bandelier P., (2016). le 29 novembre 2016 LE DESSALEMENT D'EAU DE MER ET DES EAUX SAUMÂTRES (www.encyclopedie-energie.org)

Bessenasse, M., (2006). Dessalement d'Eau de Mer : Etude de Trois Stations du Littoral Algérois; Université SAAD Dahleb (Blida), B.P 26 D Hadjout – W.Tipaza – 42200 – Algérie le 19 mai 2006

Bouabdallah, H. B. EL-amin (2021). Etude du procede et de la conductivite de dessalement de l'eau de mer de la station de Mostaganem

Bouaziza, S (2023). Organisation et principe de fonctionnement de la station de dessalement des eaux de mer de la ville de Ténès 2023.

Bouchakour. N. & S.A. (2017). Impact environnemental de la station de dessalement de l'eau de mer de Ténès (wilaya de Chlef).2017

Bureau d'étude National Eau et Environnement (2009). SPA Alger, janvier 2009.

Chartier, M., (2002). Les prix du dessalement, Marée d'eau douce, Hydroplus, 121, Mars 2002, p.24 à 39.

Document de la station (2016). UTE, desalodra Ténès Opéracion et Maitenimients O &M

Dunglas, J., (2014). Le dessalement de l'eau de mer Une nouvelle méthode pour accroître la ressource en eau. Membre de l'Académie d'agriculture de France Manuscrit publié en février 2014

El Watan. (2024). Mostaganem : Une station de dessalement de l'eau de mer en projet. Consulté le 15 juin 2024, sur elwatan-dz.com

Fonds mondial pour la nature (WWF): [URL non valide supprimée]

Kehal, S., (2001). « Rétrospective et perspective du dessalement en Algérie. Désalinisation» Saumâtres) Publié le 18.11.2003 (WWW.Culturesciences.chimie.ens.fr)

Kester, D. R., et al. (2018). A potpourri of marine salt. Oceanography, 31(1), 8-21.**
<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/aa98a5/meta>**

Kuntz, D.J., (2012). Eau potable : enjeux géopolitiques. Le dessalement est-il une solution d'avenir ? Publié par Delphine KUNTZ (1ère ES) et Juliette KUNTZ (1ère S). Février 2012(
www.tpeorableu.wordpress.com)

Maurel, A., (2006). « Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres », 2ème édition, TEC & doc. 286p

Ministère de l'Énergie et des Mines : <https://www.energy.gov.dz/?article=projet-de-dessalement-de-l'eau-de-mer>

Ministère des ressources en eaux. (2023)

National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA):

ONM (2005). (Office National de la Météorologie) de Dar El-Beida période (1995-2005)

PNUE-UNEP, (2001). Dessalement de l'eau de mer dans les pays méditerranéens ; impacts sur l'environnement, Athènes

Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE):

Société des Eaux et de l'Assainissement d'Alger (SEAA). <https://seaal.dz/fr/.com>

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

Viviane, R., (2003). Article. Le Dessalement de l'eau de mer et des eaux

Web graphie ou Sitographie

1. www.tpeorbleu.wordpress.com
2. WWW.Culturesciences.chimie.ens.fr
3. (www.encyclopedie-energie.org)
4. <https://www.sciencephoto.fr/images/titrage%20acide-base>
5. <https://fr.hach.com/spectrophotometres/spectrophotometre>
6. https://fr.wikipedia.org/wiki/Liste_des_stations_de_dessalement_en_Algerie

Annexes

Les modes opératoires des analyses physicochimiques de l'eau potable au niveau de la station de dessalement d'eau de mer de la wilaya de Mosataganem

1. Détermination de la dureté de l'eau

En réalité, cela consiste à évaluer la concentration des ions Ca^{2+} dans l'eau.

Nous ajoutons 100 ml d'eau à analyser dans un erlenmeyer, puis nous ajoutons 8 ml de la solution tampon (pH=10), puis quelques gouttes de l'indicateur coloré. Finalement, cette solution est tirée avec de l'EDTA à une concentration de 0,02N.

L'équivalence se produit lorsque la solution passe du rose au bleu. Le taux de Ca^{2+} est calculé en utilisant la formule suivante : $\mathbf{N1V1=N2V}$.

2. Détermination du titre d'alcalinité TA

Procédure :

On ajoute 50ml d'eau à analyser dans un récipient en forme d'erlenmeyer, quelques gouttes d'indicateur coloré phénophtaléine, puis l'indicateur mixte. Le mélange avec de l'acide sulfurique 0,01N est appelé le titre.

3. Dosage de Calcium et de Magnésium

❖ Appareillage et réactifs

- Erlenmeyer de 100 ml
- Firole jaugée de 50 ml
- Burette + support
- Entonnoir
- Pipette graduée de 5ml + pro-pipette
- Solution EDTA 0,01N
- Solution de $\text{NaOH}_2 \text{ N}$
- Murexide.

❖ Mode opératoire

- 1- A l'aide d'une firole jaugée propre de 50ml, introduire 50ml d'échantillon dans un erlenmeyer propre de 250ml
- 2- Ajouter 4ml de $\text{NaOH}_2 \text{ N}$ à l'aide de la pipette en plastique propre
- 3- A l'aide de la spatule, ajouter un peu de murexide jusqu'à obtenir une coloration bien rose ;
- 4- Mélanger le tout et commencer à verser l'EDTA goutte à goutte tout en mélangeant énergiquement jusqu'à la coloration violette
- 5- Noter le volume « V » de la burette et calculer la concentration en calcium à l'aide de la formule suivante :

Concentration en Calcium en mg/l = 8,016.V

En cas de dilution :

En multipliant la relation par 100, on obtient :

Concentration en Calcium en mg/l = 100.8, 016.V

Concentration en Magnésium

Magnésium (mg/l en CaCO_3) : c'est la concentration totale des ions (calcium + magnésium) en mg/l en CaCO_3 – Concentration en calcium en mg/l en CaCO_3 .

Mg (mg/l en CaCO_3) = [(Dureté totale /50,044) – (Ca₂ /20,04)].12, 156

4. Mesure de la matière totale dissoute MTD

❖ **Mode opératoire :**

L'évaluation du MTD permet d'évaluer la salinité d'une eau. L'objectif est de prélever 100ml d'eau dans un bécher afin de l'analyser. Elle est alors mise dans une étuve à une température de 180°C pendant 24 heures.

Par la suite, le bécher est placé dans un dessiccateur qui préserve l'eau de l'humidité, et le contenu est pesé immédiatement. Notez bien. La pesée du bécher vide est nécessaire avant l'expérience.

La masse obtenue correspond donc à la dilution entre la masse du bécher rempli d'eau m_1 et celle du bécher vide m_0 .

5. Mesure de la matière en état stationnaire MES

La MES permet d'évaluer la quantité de matières en suspension présentes dans une eau en se basant sur des membranes.

❖ **Mode opératoire :**

- Placer la membrane sur une montre en utilisant une pince, puis la placer dans une étuve pendant 30 minutes. - Placer la membrane dans un dessiccateur.

- Peser la masse m_0 de la membrane.

- Effectuer une filtration.

- la placer dans l'étuve à une température de 105°C pendant une heure - la placer dans un dessiccateur

- mesurer la masse m_1

6. Mesure de la Chlorure

Elle est réalisée en utilisant un colorimètre en ajoutant une quantité totale de DPD dans l'eau (elle est de teinte rose).

ملخص :

في مواجهة التوزيع غير العادل لمياه الشرب على كوكب الأرض وآثار ارتفاع درجات الحرارة وعواقب الاحتباس الحراري في شكل جفاف ونقص في المياه، ازداد الطلب على تحلية مياه البحر في السنوات الأخيرة. نظراً للتطور الديموغرافي وتركز السكان في نفس المنطقة التي يتزايد فيها النشاط البشري، شهدت الجزائر فترة من الجفاف الشديد والمستمر في السنوات الأخيرة، والتي تميزت بعجز كبير في هطول الأمطار في جميع أنحاء البلاد. وقد دفعتنا هذه المشكلة إلى إجراء دراسة حول تحلية مياه البحر، باستخدام مثال محطة تحلية مياه البحر في مدينة تنس وولاية مستغانم.

وتركز هذه الدراسة على عملية تحلية مياه البحر من خلال دراسة التقطير والتناضح العكسي، مع الأخ بعين الاعتبار تأثير ذلك على السلامة البيئية، واستشراف حلول أفضل بحلول جديدة فعالة من حيث التكلفة لتحلية مياه البحر المطلوبة للحد من هذه الظاهرة.

الكلمات المفتاحية : مياه ، تحليه المياه ، التناضح العكسي ، الجودة الفيزيائية و الكيميائية ، قابلية الشرب .

Abstract:

Faced with the inequitable distribution of drinking water on the planet and the effects of rising temperatures and the consequences of global warming in the form of drought and water shortages, demand for seawater desalination has increased in recent years. Due to demographic development and the concentration of the population in the same area where human activity is increasing, Algeria has experienced a period of severe and persistent drought in recent years, characterised by a significant rainfall deficit throughout the country.

This problem prompted us to carry out a study on seawater desalination, using the Ténès and Mostaganem seawater desalination plant as an example.

This study focuses on the seawater desalination process by studying distillation and reverse osmosis, taking into account the impact on environmental safety, and considering better solutions with new cost-effective seawater desalination solutions needed to mitigate this phenomenon.

Keywords: waters, desalination, reverse osmosis, physic-chemical quality, portability

Résumé :

Face à la répartition inéquitable de l'eau potable sur la planète et aux effets de la hausse des températures et des conséquences du réchauffement climatique sous forme de sécheresse et de pénurie d'eau, la demande en dessalement de l'eau de mer a augmenté ces dernières années. En raison du développement démographique et de la concentration de la population dans la même zone où l'activité humaine augmente, l'Algérie a connu ces dernières années une période de sécheresse sévère et persistante, caractérisée par un déficit pluviométrique important sur l'ensemble du territoire.

Cette problématique nous a incité à réaliser une étude sur le dessalement de l'eau de mer, en prenant l'exemple de la station de dessalement d'eau de mer de Ténès et Mostaganem.

L'objectif de ce travail se concentre sur le processus de dessalement de l'eau de mer en étudiant la distillation et l'osmose inverse, en tenant compte de l'impact sur la sécurité environnementale, et en envisageant de meilleures solutions avec de nouvelles solutions rentables de dessalement de l'eau de mer nécessaires pour atténuer ce phénomène.

Mots clés : eaux, dessalement, osmose inverse, qualité physico-chimique, potabilisation.