



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية
الشعبية
People's Democratic Republic of Algeria
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministry of Higher Education and Scientific Research
جامعة عبد الحميد بن باديس - مستغانم
Abdel Hamid Ibn Badis University - Mostaganem
كلية العلوم والتكنولوجيا
Faculty of Sciences and Technology
قسم هندسة الطرائق
Department of Process Engineering



N° d'ordre : M2...../GPE/2021

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES DE MASTER ACADEMIQUE

Filière : Génie des procédés

Option: Génie des procédés de l'environnement

Thème

**Etude du procédé de dessalement d'eau de mer de la station
HyFlux de Magtaa Oran**

Présenté par

1-KHAREZE Chahrazed

2-CHATER Sabrine

Soutenu le 15/07/ 2021 devant le jury composé de :

Président :	Pr. A. ADDOU	Pr.	Université de Mostaganem
Encadrant	Dr. H. BOUZID	MCA	Université de Mostaganem
Examinatrice	Dr. S. ATTOUTI	MCA	Université de Mostaganem
Examinatrice	Dr. N. DOUARA	MCB	Université de Mostaganem
Examineur	Dr. M. SAIDJ	MCB	Université de Mostaganem

Année Universitaire 2020-2021

Dédicace

Nous dédions notre travail à nos parents, que Dieu prolonge leur vie et les préserve, pour leurs sacrifices, leur amour, leur soutien et leurs prières tout au long de nos études.

A nos chères sœurs pour leurs encouragements constants et leur soutien moral.

A nos chers frères pour leur soutien et leurs encouragements, merci d'être toujours avec nous.

REMERCIEMENTS

Nous remercions Dieu Tout- Puissant de nous avoir donné la force de continuer, ainsi que le courage de surmonter toutes les difficultés.

Nous tenons à exprimer notre gratitude au maître d'œuvre, M. Habib BOUZID, pour ses conseils, son assistance et ses conseils.

Nos remerciements vont aux membres du jury d'avoir honoré notre soutenance et pour l'effort fourni afin de juger ce modeste travail. En l'occurrence Pr. A. ADDOU, Dr. S. ATTOUTI, Dr. N. DOUARA et
Dr. M. SAIDJ

Nous remercions nos parents, qui ont toujours été là pour nous.

Enfin, nous remercions nos sœurs et amis qui ont toujours été là. Leur soutien inconditionnel et leurs encouragements qui ont été très utiles.

A tous nos enseignants, nous adressons nos remerciements et notre gratitude.

Liste des Figures

Figure I.1	Représentation schématique d'un procédé de séparation membranaire.....	3
Figure I.2	Comparaison entre l'osmose inverse et l'ultrafiltration.....	5
Figure I.3	Principe de l'osmose inverse.....	6
Figure I.4	Schéma de principe d'une unité d'osmose inverse.....	7
Figure I.5	Représentation d'un module spirale.....	8
Figure I.6	Principe de l'électrodialyseur.....	10
Figure II.1	Schéma général d'une installation de dessalement.....	15
Figure II.2	Schéma d'un dégrilleur.....	16
Figure II.3	Unités d'ultrafiltration.....	17
Figure II.4	Réservoir d'eau filtrée.....	17
Figure II.5	Pompe haute pression.....	18
Figure II.6	Différentes pompes utilisées dans l'installation de dessalement d'eau de mer par osmose inverse.....	19
Figure II.7	Train d'osmose inverse.....	20
Figure II.8	Système de nettoyage chimique.....	22
Figure II.9	Système d'eau traitée.....	24
Figure III.1	Taux de conversion avant et après CIP Ultrafiltration (UF).....	34
Figure III.2	Taux de conversion avant et après CIP Osmose inverse (RO).....	36

Liste des tableaux

Tableau II.1	Caractéristiques principales de l'eau de mer et saumure.....	23
Tableau III.1	Eau brute d'alimentation de la station de dessalement Magtaa.....	28
Tableau III.2	Eau traitée (perméat) par osmose inverse.....	28
Tableau III.3	Les paramètres de fonctionnements avant et après le lavage chimique d'un seul Train (Stream 1 Système 1) de modules UF.....	30
Tableau III.4	: Les paramètres de fonctionnements avant et après le lavage chimique d'un seul Train (H/S1) de modules RO.....	31

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE	2
CHAPITRE I : Généralités sur le dessalement d'eau de mer	5
I.1. Historique :	5
I.2. L'eau de mer :	5
I.2.1. Composition de l'eau de mer :	5
I.3. Evolution des procédés de dessalement dans le monde	6
I.4. Les paramètres de choix d'un procédé de dessalement	6
I.5. Les différentes techniques de dessalement des eaux de mer :	6
I.6. Les procédés membranaires pour le traitement des eaux de mer	6
I.6.1. Microfiltration	7
I.6.2. Ultrafiltration	8
I.6.3. Nanofiltration	10
I.6.4. L'osmose inverse	10
I.7. Schéma général d'une installation d'osmose inverse	10
I.8. Caractéristiques principales d'une unité d'osmose inverse	11
I.9. Modules d'osmose inverse	11
I.10. Maintenance et Nettoyage des membranes d'osmose inverse	12
I.11. Electrodialyse	13
I.11.1. Principe de l'électrodialyse	13
I.11.2. Types d'électrodialyse	14
I.12. Procédé par échange ionique	15
CHAPITRE II : Description de la Station de dessalement d'eau de mer de Magtaa Error! Bookmark not defined.	
II.1. Introduction :	17
II.2. Situation Géographique :	17
II.3. Renseignements concernant la Station :	17
II.4. Le Processeur :	18
II.5. Etapes de prétraitement :	18
II.5.1. Dégrilleur / Tamiseur	18
Figure II.2 : Schéma d'un dégrilleur	19
II.5.2. Pompe d'eau de mer	19

II.5.3. Système d'ultrafiltration.....	19
Les eaux ultrafiltrées sont recueillies dans des réservoirs d'eau filtrée (Figure II.4).....	20
II.6. Système de nettoyage d'ultrafiltration :	20
II.7. Désinfection par Hypochlorite de Sodium :	20
II.8. Etape d'osmose inverse :.....	21
II.8.1. Pompe d'eau filtrée :.....	22
II.8.2. Pompe de haute pression :.....	22
II.8.4. Train d'osmose inverse d'eau de mer :.....	23
II.8.5. Système de récupération d'énergie :.....	24
II.8.6. Réservoir de rinçage :.....	24
II.8.7. Système de nettoyage chimique :.....	24
II.9. Injection d'hypochlorite de sodium :.....	25
II.10. Injection d'antiscalant	25
II.11. Etape de poste traitement :	26
II.11.1. Injection de dioxyde de carbone et de la chaux :.....	26
II.12. Rejet de saumure :.....	26
II.13. Système d'eau traitée :.....	27
II.14. Hygiène, Sécurité et Environnement :	28
CHAPITRE III : Dessalement des eaux de mer de la station MAGTAA par osmose inverse	29
III.1. Etude du procédé de dessalement de la station de MAGTAA :.....	30
III.1.1. Matériels et méthodes :.....	30
III.1.1.1. Mode de prélèvement :	31
III.1.1.2. Paramètres recommandés :.....	31
III.1.2. Les résultats d'analyses de l'eau d'alimentation et de perméat par la station de Magtaa :....	32
III.2. Nettoyage en place	33
III.2.1. Nettoyage en place (CIP) des membranes d'ultrafiltration.....	35
CONCLUSION GENERALE	37
Références Bibliographiques.....	39
ANNEXE.....	43

Introduction Générale

INTRODUCTION GENERALE

L'eau couvre 72 % de la surface de la terre et a un volume estimé à 1400 millions de km³. L'homme n'a pas nui à la disponibilité de l'eau au cours des millénaires. Cependant, dans le monde moderne, l'exploitation et le contrôle des ressources naturelles en eau ont modifié le régime de l'eau et perturbé son fonctionnement naturel.

L'eau sur Terre est composée de 97,5% d'eau salée, qui se trouve dans les mers, et de 2,5% d'eau douce, qui se trouve dans les lacs, les rivières, les glaciers, les nappes phréatiques, etc. Les êtres humains ne peuvent extraire que 0,7 % de l'approvisionnement total en eau.

Il a été calculé que le volume d'eau perdu en 4,6 milliards d'années équivaut à une hauteur de 3 m sur toute la surface de la terre. On peut conclure que les volumes sont cohérents. Pour mieux comprendre la nature de ces eaux, considérons les mers intérieures, les océans et certaines nappes phréatiques souterraines, qui représentent 97,2 % du volume. En conséquence, notre monde bleu est ainsi, la planète d'eau salée est d'abord et avant tout. En conséquence, toute l'eau douce représente 2,8 % du volume total. La glace et la neige permanentes représentent 2,1 % de cette petite quantité, l'eau douce accessible représentant 0,7 %. Les eaux souterraines représentent la moitié de ce 0,7 %.

Les gens ne peuvent consommer qu'environ 0,028 % de l'hydrosphère, soit moins de 1 % de la quantité totale d'eau sur Terre. Cela comprend les cours d'eau, les réservoirs naturels ou artificiels (baies côtières, lacs, rivières, cours d'eau, barrages, etc.) et les nappes phréatiques (aquifères) à faible profondeur qui permettent une extraction rentable abordables.

Le problème d'eau potable anticipé pour les années 2000-2020 a ravivé l'intérêt pour le développement rapide de systèmes de dessalement moins coûteux, plus simples, plus durables, plus fiables et, si possible, moins énergivores tout en respectant l'environnement.

Le dessalement peut être réalisé en utilisant une variété de concepts physiques, y compris la distillation, qui est basée sur un changement de phase de vapeur d'eau, la séparation d'eau salée utilisant des membranes semi-perméables avec soit la pression (osmose inverse) soit un champ électrique comme force motrice (électrodialyse) .

Cette étude présente un procédé de dessalement et des propriétés physico-chimiques de l'eau de mer et dessalée par l'usine de dessalement d'eau salée de Magtaa.

Le mémoire comporte trois chapitres :

Le premier chapitre présente des généralités sur les méthodes et techniques de dessalement.

Dans le deuxième chapitre, nous aborderons la description de l'usine de dessalement d'eau de mer de la station Magtaa Oran.

Le troisième chapitre, est consacré aux analyses physico-chimiques des eaux brutes (eau d'alimentation) et traitées (perméat) par osmose inverse. De plus, une étude du nettoyage en place (Cleaning-in-place (CIP)) des membranes d'ultrafiltration et d'osmose inverse a été effectuée en comparant certains paramètres, notamment le taux de conversion de l'eau, avant et après CIP.

En fin, Nous terminerons ce mémoire par une conclusion générale.

CHAPITRE I

Généralités sur le dessalement d'eau de mer

I.1. Historique

Le dessalement d'eau de mer ou d'eau saumâtre représente moins de 1 % de la consommation mondiale d'eau potable. Plus de 20 000 stations l'ont fourni en 2018, principalement dans le Golfe, aux États-Unis, en Chine et en Israël. Cette technique, fondée en 1965 par les américains, connaît une croissance rapide depuis 2000, est étroitement liée aux enjeux énergétiques.

I.2. L'eau de mer

Dans la mer ou l'océan, où la salinité est la plus élevée, l'eau de mer fait référence aux eaux marines côtières ou marines étendues. La salinité moyenne de l'eau de mer est d'environ 35 g/L, bien que cette valeur fluctue entre les régions et dans le temps.

Mer Baltique : 7 g/L, Méditerranée : 36-39 g/L, Golfe Persique : 40-70 g/L, Mer Morte : 270 g/L

La pression osmotique de l'eau de mer est d'environ 26 bars et le pH est de 7,5 à 8,4 (l'eau de mer est un milieu légèrement basique) [1].

I.2.1. Composition de l'eau de mer

Les sels se décomposent en cations et anions lorsqu'ils sont dissous dans l'eau. Considérez les deux exemples suivants :

- NaCl (Chlorure de sodium) se décompose en Na^+ et Cl^- .
- MgSO_4 (Sulfate de magnésium) se décompose en Mg^{2+} et SO_4^{2-} .

Les anions ont une charge électrique négative tandis que les cations ont une charge positive. Parce que la charge des cations et des anions est opposée et égale en valeur absolue, les sels sont électriquement neutres.

Plus de 99 % des sels dissous dans l'eau de mer sont constitués de six ions principaux. L'eau représente 96,5% (soit 965 g) dans 1 Kg (1000 mg) ou 1 L d'eau de mer. Le sel représente donc 3,5 % (soit 35 g) dont le Sodium (Na^+) (30,6% du sel soit 10,7g), Chlorure (Cl^-) (55% du sel soit 19,25g), Sulfate (SO_4^{2-}) (7,7% du sel soit 2,7g), Magnésium (Mg^{2+}) (3,7% du sel soit 1,3g), Calcium (Ca^{2+}) (1,2% du sel soit 0,42g), Potassium (K^+) (1,1% du sel soit 0,39g) et autres constituants 0,7% (0,7% du sel soit 0,25g) dans les 35 g du sel qui reste autrement dit dans les 3,5%.

I.3. Evolution des procédés de dessalement dans le monde

Les technologies de dessalement ont évolué depuis la première conférence européenne sur le dessalement (Athènes 1962) jusqu'à nos jours. Des centaines d'unités de dessalement ont été installées dans différents pays, notamment au Moyen-Orient.

80% de la capacité mondiale de production d'eau dessalée se trouve dans la péninsule arabique; l'Arabie Saoudite représente 40% de la production mondiale [2].

I.4. Les paramètres de choix d'un procédé de dessalement

Pour acquérir de l'eau potable, il existe de nombreuses méthodes de traitement disponibles; nous pouvons sélectionner une procédure de dessalement en fonction des facteurs énumérés ci-dessous.

- Apport chimique de l'eau à traiter, notamment dans le cas des eaux saumâtres.
- La salinité de l'eau produite varie selon l'usage prévu, allant de 300 à 500 ppm (mg/L) pour l'eau potable et de 15 à 30 ppm pour l'eau industrielle.
- Durée de vie de l'unité ;
- Impact sur l'environnement
- Le choix d'un procédé de dessalement reste tributaire du coût du m³ d'eau produit [3].

I.5. Les différentes techniques de dessalement des eaux de mer

Il existe deux catégories de technologies actuelles :

- Procédés thermiques faisant intervenir un changement de phases : la distillation.
- Procédés utilisant des membranes: l'osmose inverse, l'électrodialyse.

La distillation et l'osmose inverse sont deux de ces technologies qui ont fait leurs preuves pour le dessalement et sur lesquelles nous allons nous concentrer. Les autres procédés pourraient être énumérés dans l'annexe et classés par ordre d'importance.

Quelle que soit la méthode proposée pour séparer le sel de l'eau, il y a quatre étapes de dessalement.

- Une prise d'eau de mer avec une pompe et une filtration grossière
- Un prétraitement
- Le procédé de dessalement

- Le post-traitement

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

I.6. Les procédés membranaires pour le traitement des eaux de mer

Les procédés membranaires qui seront discutés, à savoir la Microfiltration (MF), l'Ultrafiltration (UF), Nanofiltration (NF) et Osmose inverse (RO), sont des procédés baromembranaires, ce qui signifie que la différence de pression de chaque côté de la membrane fournit la force motrice derrière le transfert de soluté à travers la membrane.

La pression transmembranaire (PTM) est un autre terme pour la pression qui existe entre les 2 côtés de la membrane à savoir rétentat et perméat. Les membranes qui fonctionnent sous cette force motrice sont au nombre de quatre : microfiltration, ultrafiltration, nanofiltration et osmose inverse. La pression appliquée est croissante de la microfiltration à l'osmose inverse (Figure I.1).

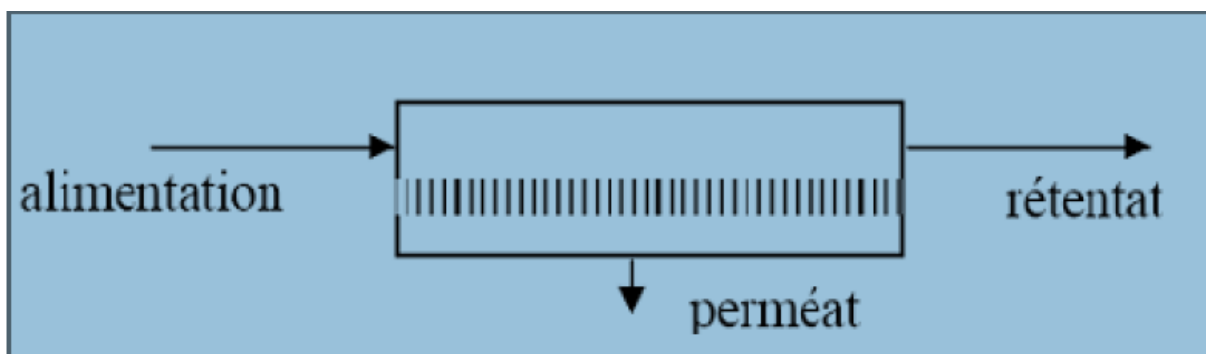


Figure I.1: Représentation schématique d'un procédé de séparation membranaire.

I.6.1. Microfiltration

La microfiltration est une méthode de séparation membranaire par lequel les micro-organismes (bactéries), les colloïdes et les oxydes ferriques sont séparés de mélanges liquides. La taille de ces matières varie entre 10⁴ - 10² nanomètre (nm). La microfiltration n'est pas fondamentalement différente de l'ultrafiltration ou de la nanofiltration, si ce n'est qu'elle retient des matières de tailles différentes de ces dernières. La microfiltration est majoritairement utilisée pour séparer des matières fines en suspension.

I.6.2. Ultrafiltration

L'ultrafiltration est une méthode de séparation membranaire (Figure I.2), qui ne se distingue de la microfiltration ou de la nanofiltration que par la taille des particules en suspension ou en solution qui peuvent passer à travers. Pour l'ultrafiltration cette taille est entre 1 et 100 nanomètres (nm); cette taille est trop petite pour les bactéries, levures et la plupart des virus. En pratique, L'ultrafiltration est majoritairement utilisée pour séparer des macromolécules notamment les protéines.

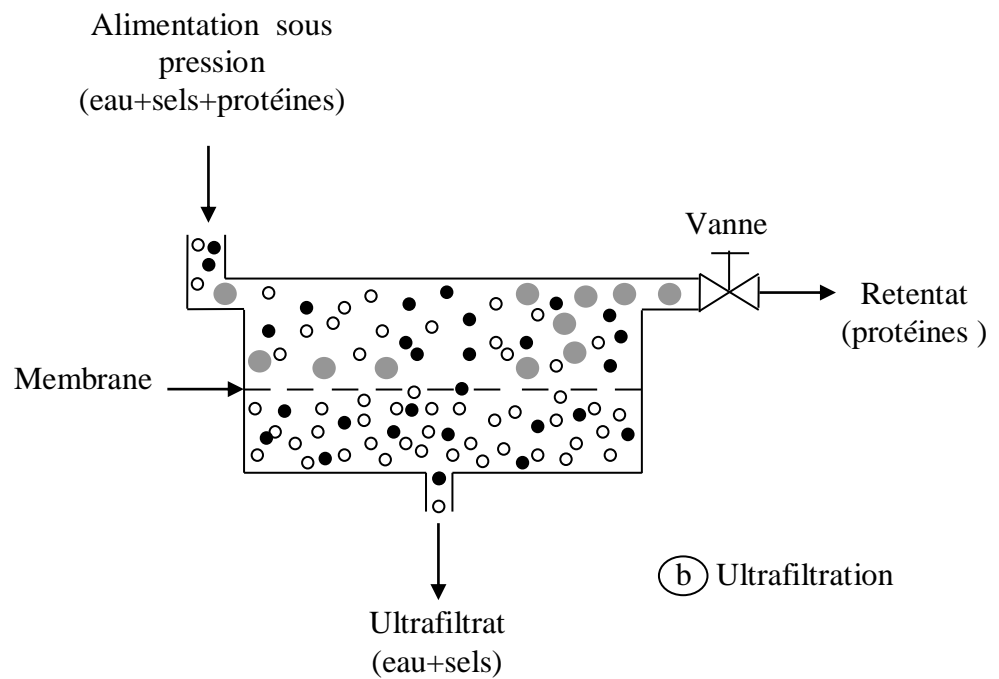
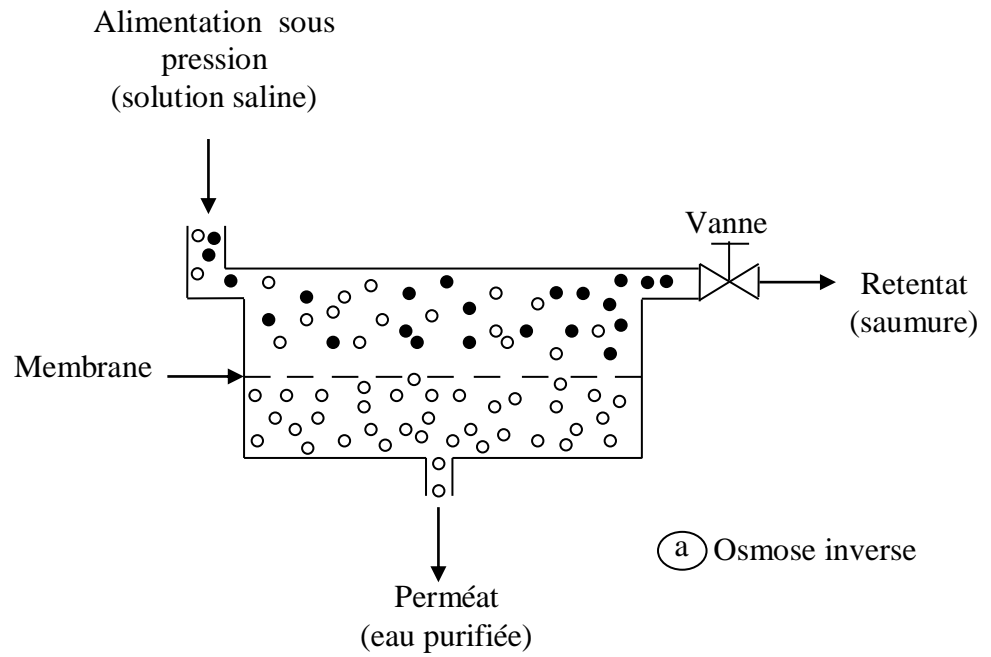


Figure I.2: Comparaison entre l'osmose inverse et l'ultrafiltration.

I.6.3. Nanofiltration

Cette technologie est située entre l'ultrafiltration et l'osmose inverse. Son nom vient du fait qu'il permet la séparation de composants en solution d'une taille proche du nanomètre (soit 10 à 14 Å). Sels divalents ionisés et composés organiques non ionisés de masse molaire inférieure à 200 g/mole sont retenus par la membrane de nanofiltration [5].

I.6.4. L'osmose inverse

Le passage d'un solvant à travers une membrane sous l'influence d'un gradient de concentration est appelé osmose (Figure I.3). Si l'on prend un système à deux compartiments séparés par une membrane semi-sélective et ayant deux concentrations différentes de solutions, l'osmose se traduit par un flux d'eau dirigé de la solution diluée vers la solution concentrée.

La quantité d'eau transportée par osmose diminue à mesure que la pression est exercée à la solution concentrée. Le débit d'eau s'annulera même si la pression est suffisamment élevée : cette pression est appelée pression osmotique. Quand on dépasse la pression osmotique, on voit un écoulement d'eau dans le sens inverse du flux osmotique : c'est le phénomène de l'osmose inverse.

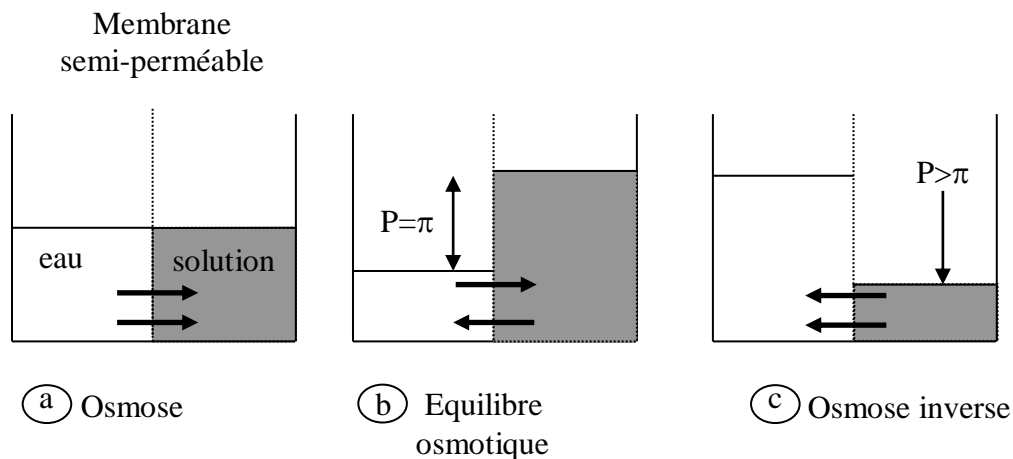


Figure I.3: Principe de l'osmose inverse.

I.7. Schéma général d'une installation d'osmose inverse

Voici les principaux composants d'une installation d'osmose inverse (Figure I.4):

- membrane proprement dite

- le module
- la pompe haute pression
- le poste de traitement

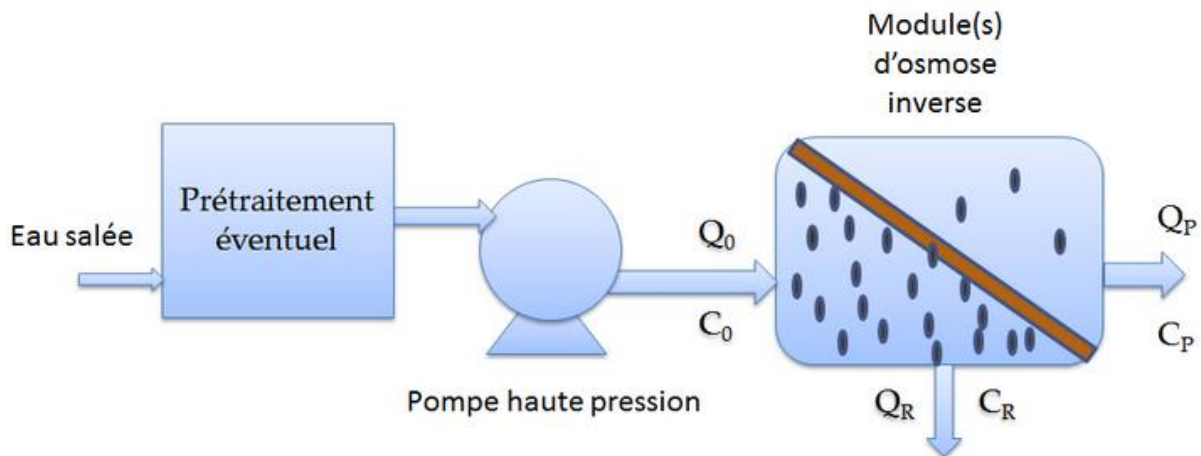


Figure I.4: Schéma de principe d'une unité d'osmose inverse.

I.8. Caractéristiques principales d'une unité d'osmose inverse

Deux facteurs sont considérés :

- le taux de conversion (TC), qui est le rapport du débit d'eau qui traverse la membrane (Q_P) et celui du débit d'eau d'alimentation du module d'osmose inverse (Q_A).
- la sélectivité de la membrane est déterminée par le taux de rejet R (ou taux de rétention) des espèces que la membrane peut retenir.

I.9. Modules d'osmose inverse

Une unité d'osmose inverse consiste en une juxtaposition de modules élémentaires selon une géométrie déterminée. Concernant leur géométrie, il existe 4 types de modules commercialisés:

I.9.1. Modules plans

Les modules plans sont les modules les plus simples et les plus anciens. Ils se présentent sous la forme de plaques unitaires disposées parallèlement les unes aux autres et séparées par des grilles.

I.9.2. Modules spirales

Une membrane plane est enroulée sur elle-même autour d'un tube poreux qui recueille le filtrat (Figure I.5). On obtient ainsi un cylindre multicouche où le perméat s'écoule selon un

chemin spiralé vers le tube poreux tandis que l'alimentation circule axialement dans les canaux

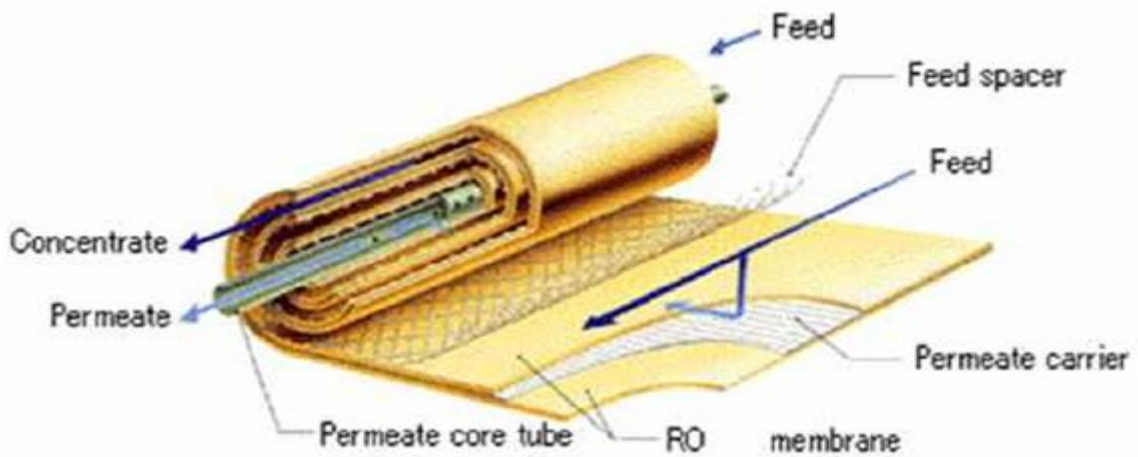


Figure I.5: Représentation d'un module spirale.

I.9.3. Modules tubulaires

Ce type de module est constitué de tubes métalliques ou plastiques sur lesquels est fixée la membrane semi-perméable. Le diamètre du tube est compris entre 7 et 25 mm et le plus souvent 12,5 mm. L'eau à traiter circule à l'intérieur des tubes et le perméat est recueilli à l'extérieur des tubes. Le tube est soit poreux, soit perforé de trous pour permettre l'évacuation du perméat.

I.9.4. Modules à fibres creuses

Ces modules peuvent être considérés comme des modules tubulaires composés de tubes de petit diamètre compris entre quelques millimètres et quelques dizaines de microns. Mais à la différence des modules tubulaires qui sont constitués d'une membrane et d'un support inerte, les fibres creuses jouent à la fois le rôle de membrane et de support.

I.10. Maintenance et Nettoyage des membranes d'osmose inverse

Le rétro-lavage des membranes d'osmose inverse n'est pas possible, comme c'est le cas dans d'autres procédés (sable, ultrafiltration, électrodialyse) [6]. Il existe trois méthodes de nettoyage :

- Rinçage post-service
- Nettoyage chimique standard : 1 à 4 fois par an (moyenne)
- Nettoyage chimique spécifique

I.10.1. Rinçage post-service

Pour rincer la membrane, il faut ouvrir la vanne (ne pas allumer la pompe booster si c'est disponible). L'eau qui sort du tuyau de rejet doit débiter à fond. Il faut rincer la membrane 10-15 min tous les 100L d'eau osmosée fabriquée.

I.10.2. Nettoyage chimique standard

L'eau de mer se déplace tangentiellement à travers la membrane, ce qui entraîne un gradient de concentration horizontal sur toute sa longueur.

Les membranes doivent typiquement être nettoyées lorsque:

- Le flux normalisé de perméat varie de 10-15%
- La conductivité normalisée du perméat varie de 10-15%
- La perte de charge normalisée entre l'alimentation et le rétentat varie de 10- 15%.

Les valeurs normalisées prennent en compte les variations de température et de salinité dans l'eau d'alimentation.

I.11. Electrodialyse

I.11.1. Principe de l'électrodialyse

La diffusion d'un soluté via une membrane perméable est appelée dialyse.

Le transport d'ions via une membrane perméable sous l'influence d'un champ électrique est appelé électrodialyse (Figure I.6).

Un électrodialyseur est généralement constitué par la répétition de compartiments séparés alternativement par des membranes anioniques et cationique.

Un champ électrique est appliqué perpendiculairement au plan des membranes.

Les ions ne peuvent migrer que dans un seul sens imposé par le champ électrique:

- les anions (chargés négativement) en direction de l'anode (pôle positif)
- les cations (chargés positivement) en direction de la cathode (pôle négatif).

I.11.2. Types d'électrodialyse

- **Electrodialyse conventionnelle (EDC)** : est la plus ancienne et reste encore la plus utilisée. Elle repose sur l'utilisation de membranes échangeuses d'ions (homopolaires). Différentes configurations peuvent être employées pour constituer le motif élémentaire afin de permettre diverses opérations de transformation.
- **L'électrodialyse à membranes bipolaires (EDMB)** : est beaucoup plus récente. Elle repose sur l'utilisation, dans des empilements de diverses configurations, de membranes bipolaires et de membranes échangeuses d'ions (homopolaires).

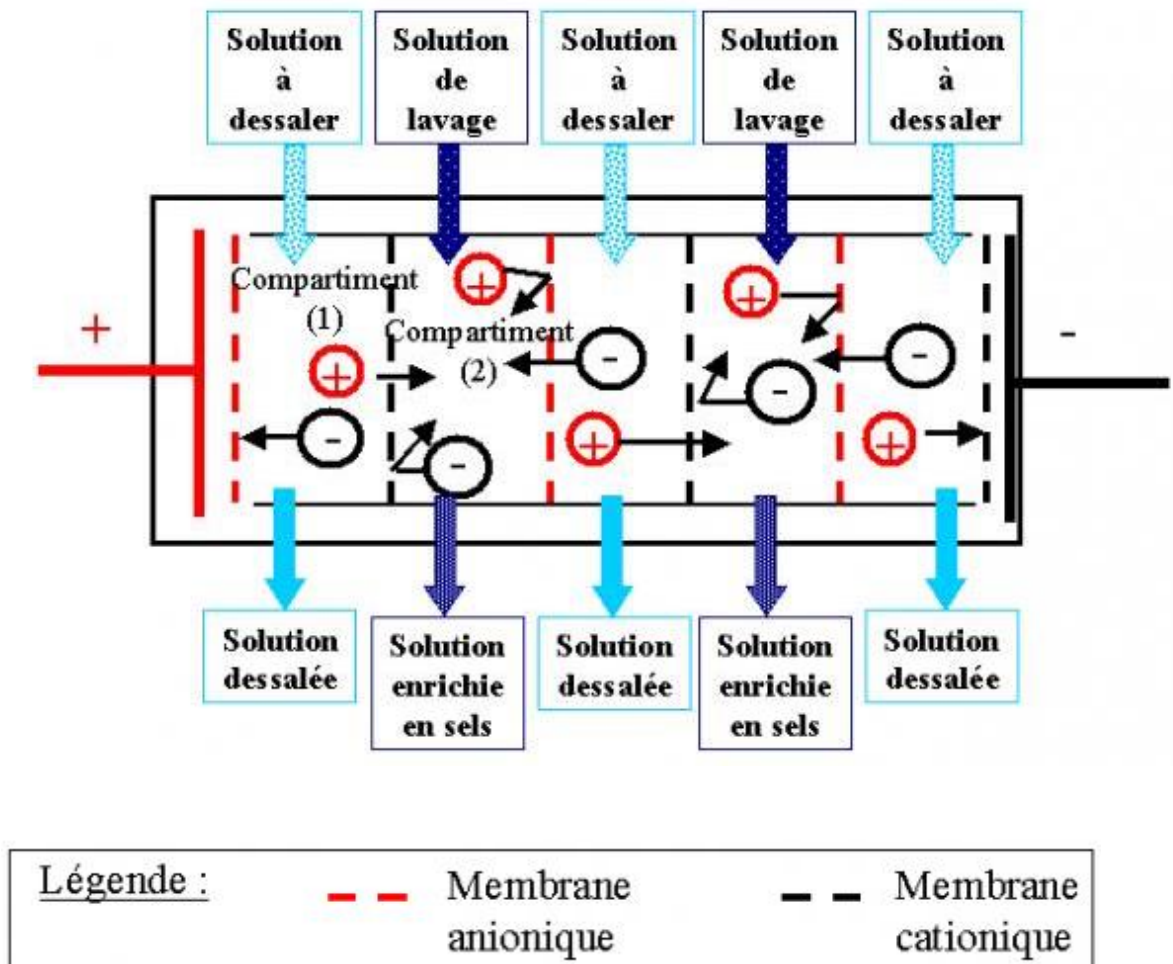


Figure I.6: Principe de l'électrodialyseur

I.12. Procédé par échange ionique

L'échange d'ions est un processus dans lequel les ions avec une certaine charge dans une solution sont éliminés par adsorption sur un matériau polymérique synthétique solide (l'échangeur d'ions), appelées résines échangeuses d'ions, et remplacés par un nombre égal d'autres ions avec la même charge libérée par le solide [7].

CHAPITRE II

Description de la Station de dessalement d'eau de mer de Magtaa

II.1. Introduction

Une quantité équivalant à 97,5% du stock d'eau de la planète est salée et seule une fraction correspondant à 2,5 % se compose d'eau douce. Environ 70% de cette eau douce de la planète est fixée dans les calottes glaciaires des pôles et une partie importante des 30% restants est constituée par des nappes aquifères souterraines de régions reculées. En effet, seule une fraction minuscule de l'eau douce (moins de 1% de l'eau douce totale) est disponible dans les cours d'eau, les lacs et les réservoirs et est facilement accessible à l'homme pour son utilisation directe. En outre, la répartition spatiale et temporelle du stock et du débit d'eau douce est très inégale [8].

Cette situation oblige tous les pays du monde à chercher des sources d'eau fiable, et qui ne sont pas soumises aux changements climatiques.

II.2. Situation Géographique

La zone de Magtaâ se trouve à environ 45 km à l'est de la ville d'Oran. Une localité relevant de la commune côtière de Mers El Hadjadj.

Le plateau de Magtaâ présente dans sa partie Nord-Ouest, en zone littorale les formations de lumachelles du calabrien pliocène supérieur et les assises de marnes grises vertes de miocène supérieur, du point de vue structural, ils s'accompagnent de nombreux accidents tectoniques secondaires susceptibles d'avoir un impact sur les conditions d'écoulement des eaux, le littoral de bordure du plateau de St Louis.

II.3. Renseignements concernant la Station

L'Algérie compte 21 stations de dessalement d'eau de mer réparties sur les 14 wilayas et 2 autres en construction, qui relèvent du Ministère des Ressources en Eau. Elles fournissent 17% de l'eau consommée dans le pays et alimentent 6 millions de personnes avec un volume de 2,6 millions m³/jour [9].

La wilaya d'Oran comprend les stations de dessalement d'eau de mer suivantes:

- Station de dessalement d'Arzew : 90 000 m³/jour d'eau potable.
- Station de dessalement de Bousfer : 5 500 m³/jour d'eau potable.
- Station de dessalement de Aïn Turck : 5 000 m³/jour d'eau potable.
- Station de dessalement de Chatt El Hilal : 200 000 m³/jour d'eau potable.
- Station de dessalement de Magtaâ : 500 000 m³/jour d'eau potable.

La chaîne de traitement de l'eau de mer dans la station Magtaa est basée sur trois étapes, commençant par le prétraitement par une filtration grossière, et par des procédés membranaires de basse pression de l'ultrafiltration. Ensuite l'eau passe par l'osmose inverse puis finalement par un poste de traitement qui garantit l'ajustement du pH et la désinfection des eaux traitées.

II.4. Le Processeur

Une installation de dessalement d'eau de mer peut être schématiquement subdivisée en 3 postes:

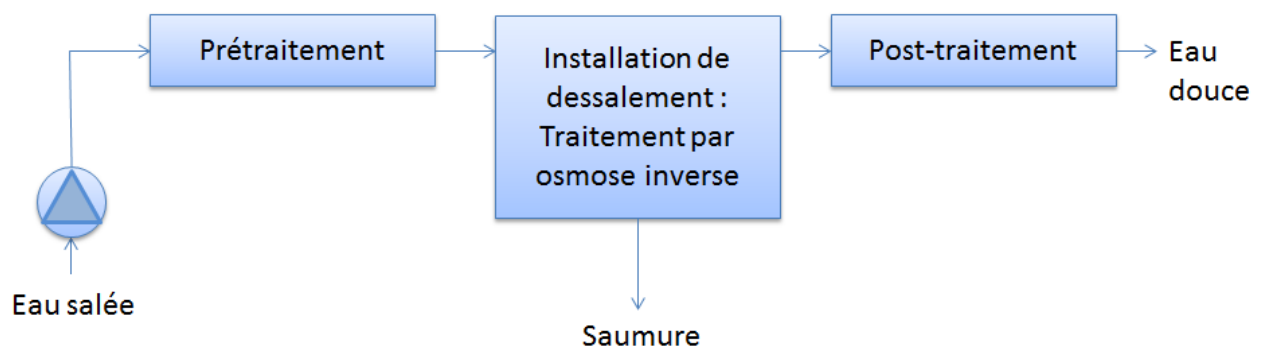


Figure II.1 : Schéma général d'une installation de dessalement

II.5. Etapes de prétraitement

Ces étapes ont pour but d'éliminer la pollution grossière et les particules non désirables contenues dans l'eau de mer brute avant traitement final par osmose inverse dans la station de dessalement.

II.5.1. Dégrilleur / Tamiseur

Le dégrillage est la première étape du prétraitement des eaux de notre installation. Il consiste à éliminer les déchets plus ou moins volumineux tels que les chiffons, les textiles, les papiers, les plastiques, ou encore les branches et les feuilles entraînés par les eaux s'écoulant dans les canalisations d'assainissement.

Un tamis peut être une bonne solution pour certaines branches industrielles. Les particules solides de petite taille (comme le sable, les pellets plastiques et autres particules), ainsi que les particules plus grandes n'ayant pas été retenue par un éventuel traitement de dégrillage préalable peuvent être éliminées de l'eau brute à l'aide d'un tamisage. Un

nettoyage périodique (automatique ou non) se déroule à l'aide de balais durs, d'air comprimé ou d'eau sous pression [10].

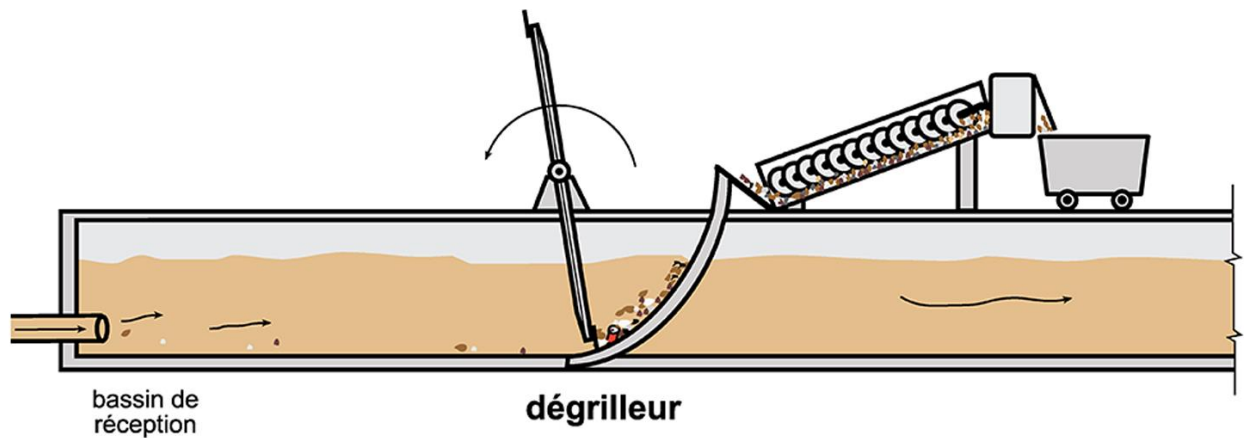


Figure II.2 : Schéma d'un dégrilleur

II.5.2. Pompe d'eau de mer

Différentes technologies de prétraitement peuvent être utilisées : filtration d'effluents, filtres à cartouche, ultrafiltration ou microfiltration, flottation à l'air dissous, etc. Une technologie ou une combinaison de plusieurs technologies sera utilisée en fonction de la qualité de l'eau brute. Les différentes technologies nécessiteront une pompe alimentant les dispositifs de filtration à la pression requise.

II.5.3. Système d'ultrafiltration

Le système d'ultrafiltration d'eau est utilisé dans différents domaines d'application telle que le prétraitement pour l'osmose inverse ainsi que le traitement d'eaux usées, il est proposé par la société CESI SAFEWATER.

Ce système pratique une méthode de filtration d'eau qui permet l'élimination d'un grand nombre d'impuretés présentes dans l'eau. Sa principale fonction est d'éliminer les virus et les bactéries présents dans l'eau.



Figure II.3 : Unités d'ultrafiltration

Les eaux ultrafiltrées sont recueillies dans des réservoirs d'eau filtrée (Figure II.4).



Figure II.4 : Réservoirs d'eau filtrée

II.6. Système de nettoyage d'ultrafiltration

Les membranes à ultrafiltration retiennent les particules ainsi que les virus et les bactéries de manière sûre. Une grande force de la membrane réside dans le traitement d'eau brute extrêmement polluée en particules, grâce à sa capacité à se nettoyer automatiquement.

II.7. Désinfection par Hypochlorite de Sodium

L'eau de mer contient divers micro-organismes, bactéries, protozoaires qui pourraient contribuer à la formation de biofilm sur la surface de la membrane. Un biofilm est une colonie

de bactéries qui croît sur une surface où il y a des nutriments et une source organique. Eliminer les bactéries et les micro-organismes avant l'entrée de l'eau dans les membranes empêchera toute précipitation biologique.

La dose de Chlore standard est de 3 mg/L de chlore actif. Ceci est injecté en dosant de l'Hypochlorite de Sodium (NaClO) pour des petites unités ou du chlore gazeux (Cl₂) pour des unités de taille moyenne.

Les grandes unités (> 300 m³/h) utilisent l'électrochloration pour produire de l'hypochlorite de sodium (NaClO) à partir du chlorure de sodium en excès (NaCl) présent dans l'eau de mer à 30-40 g/L:



Le pH devrait être de l'ordre de 7,5 afin d'avoir un potentiel de désinfection optimal.

II.8. Etape d'osmose inverse

II.8.1. Pompe d'eau filtrée

La filtration de l'eau, dans l'étape de prétraitement est nécessaire au « nettoyage », utilise une pompe d'eau filtrée.



Figure II.5 : pompe d'eau filtrée

II.8.2. Pompe de haute pression

La conception de l'unité d'osmose inverse (RO) est définie par la qualité de l'eau brute, par les membranes d'osmose inverse utilisées et par le dispositif sélectionné de récupération de l'énergie.

Les services de pompage trouvés dans l'unité d'osmose inverse sont les pompes hautes pression, alimentant les membranes et, lorsqu'un dispositif de récupération de l'énergie basé sur la technologie de chambre isobarique est sélectionné, la pompe de surpression est préconisée [11].

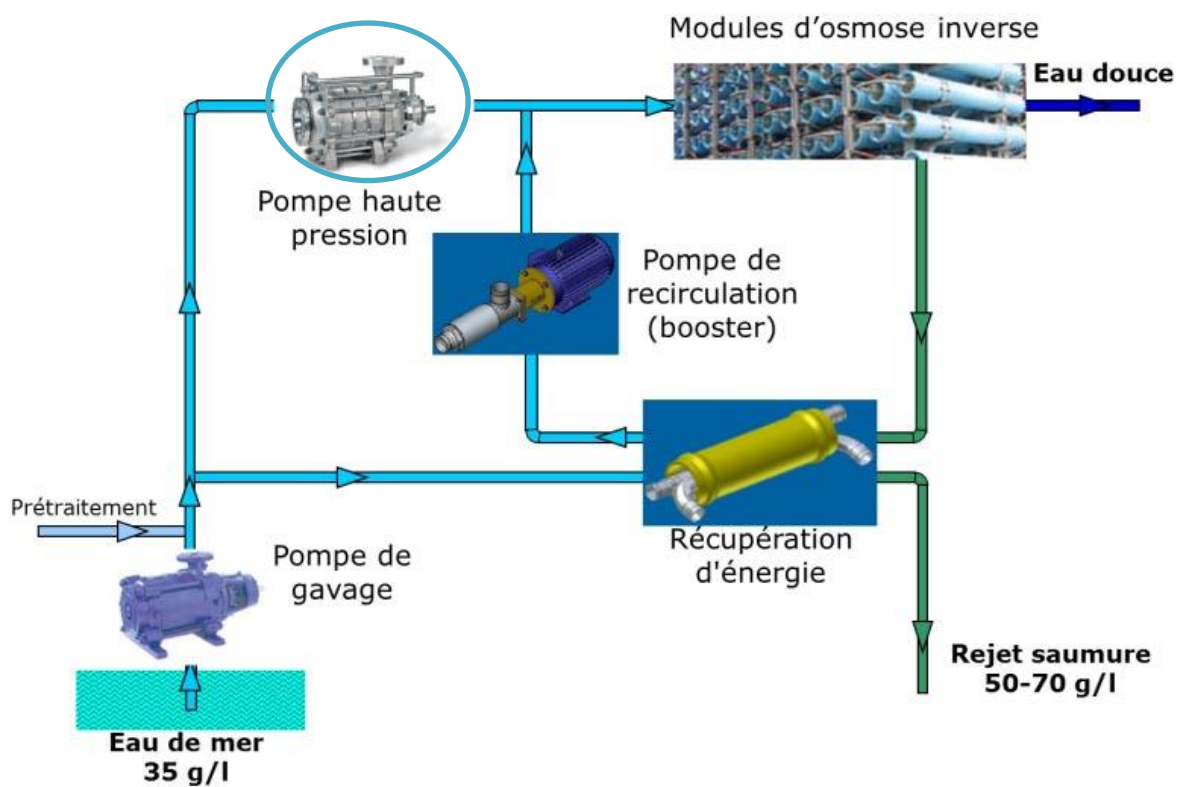


Figure II.6 : Différentes pompes utilisées dans l'installation de dessalement d'eau de mer par osmose inverse.

II.8.3. Les caractéristiques de la membrane d'osmose inverse

Caractéristiques des membranes de la station de dessalement de Magtaa sont :

Configuration	Spiralée
Matériel	Polyamide aromatique
Matériel du tube	Fibre de verre et époxy
Dimensions	D=20cm, longueur=101,6cm
Pression maximale	83 bar
pH d'opération	2-11
Température maximale d'opération	45°C
Débit nominal	27,7m ³ /jour
Réjection de sel	99%
Variation de débit admissible	8%

II.8.4. Train d'osmose inverse d'eau de mer

Train d'osmose inverse contient treize unités qui sont installées, où douze unités sont en opération qui permet de fournir un volume maximal de 20000 m³ avec une température variant entre 18 et 27°C et le treizième constitue un train de secours.

Chaque train se compose de 192 tubes, déposés en parallèle, il est équipé d'une pompe haute pression et d'un système de récupération d'énergie isobare.

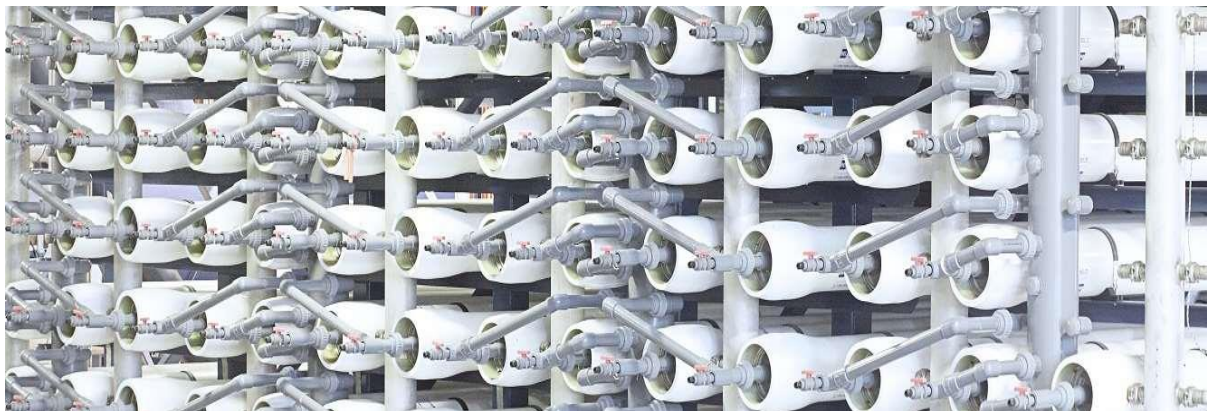


Figure II. 7 : Train d'osmose inverse

II.8.5. Système de récupération d'énergie

La perte de charge à travers les membranes d'osmose inverse est d'environ 1,5 à 2 bars, en fonction du nombre d'éléments par tube de pression, le concentrât sort donc à haute pression. Grâce au système de récupération d'énergie, il est possible de réutiliser l'énergie du concentrât (rétentat). Le concentrât est dirigé vers le système de récupération d'énergie, où il transmet directement son énergie à une partie de l'eau d'alimentation. Par conséquent, l'énergie de consommation dans les stations de dessalement par osmose inverse sans système de récupération varie de 5,5 à 8 kWh/m³, par contre les procédés avec installation de système de récupération, l'énergie (turbine ou échangeur de pression) varie entre 3- 5 kWh/m³ [12].

Le système de récupération d'énergie est au moyen d'une turbine Pelton ; où la quantité d'énergie récupérée est environ 4 bars c'est-à-dire 5% par rapport à l'énergie consommée par l'unité (1500 kW) [12].

II.8.6. Réservoir de rinçage

Au fur et à mesure de l'utilisation de système, diverses particules s'accumulent en surface de la membrane et peuvent finir par la colmater et donc nécessiter un remplacement précoce. Afin de prolonger sa durée de vie au maximum, nous avons mis en place un système de rinçage de la ou des membranes osmotiques. Ce système est manuel ou automatique en fonction des modèles d'osmoseurs.

II.8.7. Système de nettoyage chimique

L'eau de mer s'écoule de façon tangentielle le long de la membrane, créant un gradient de concentration horizontal sur la longueur de la membrane.

Les membranes doivent typiquement être nettoyées lorsque:

- Le flux normalisé de perméat varie de 10-15%
- La conductivité normalisée du perméat varie de 10-15%
- La perte de charge normalisée entre l'alimentation et le concentrât varie de 10-15%

Les valeurs normalisées prennent en compte les variations de température et de salinité dans l'eau d'alimentation.

Afin de faciliter le nettoyage chronique, nos systèmes peuvent être équipés de stations de Nettoyage En Place (NEP) (Cleaning-in-Place (CIP)), déjà connecté au rack de membranes [13].

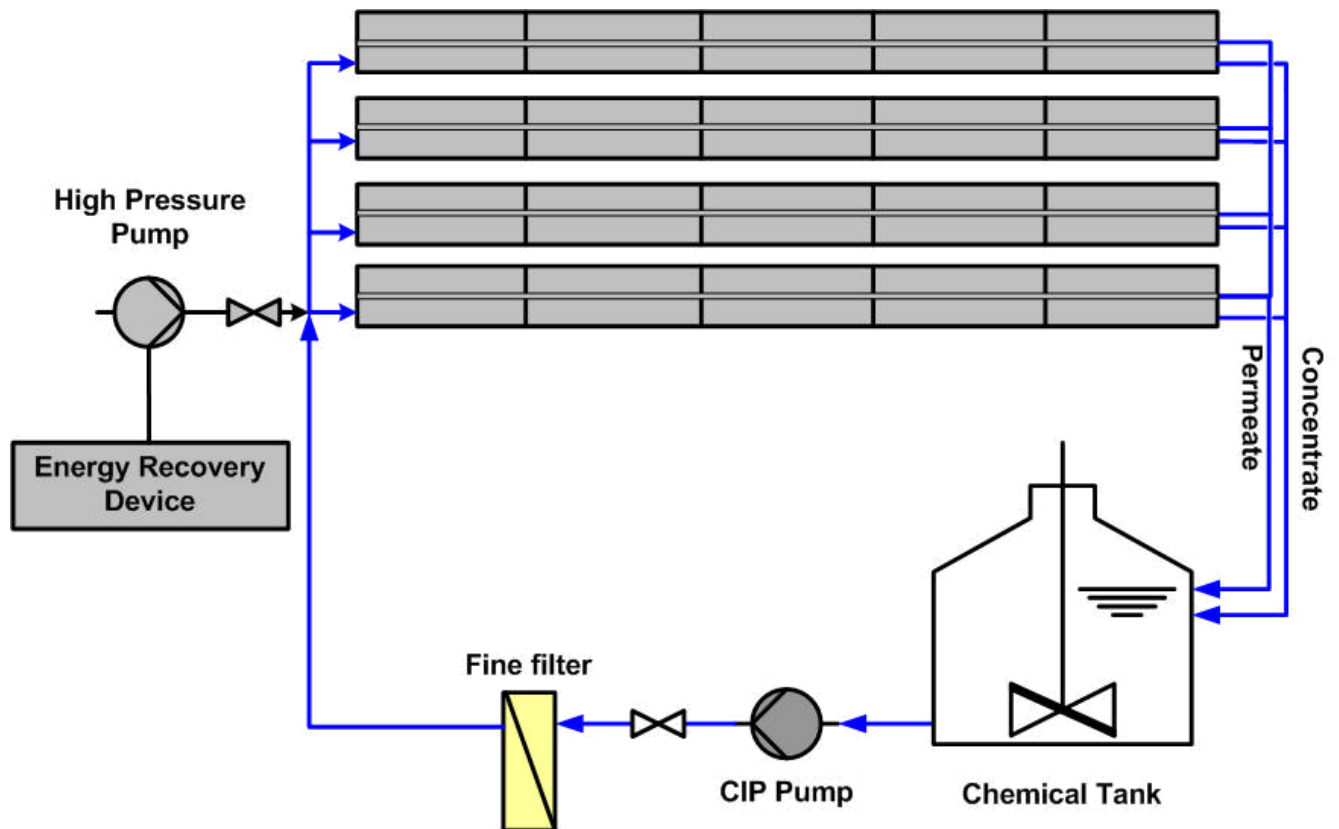


Figure II.8 : Système de nettoyage chimique

II.9. Injection d'hypochlorite de sodium

Le perméat doit être chloré en utilisant l'hypochlorite de sodium (NaClO) ou le chlore gazeux pour éviter toute contamination et développement biologique.

II.10. Injection d'antiscalant

L'antiscalant doit être injecté, au moyen d'une pompe doseuse, dans l'eau d'alimentation d'osmose inverse pour éviter la précipitation des carbonates et sulfates de calcium et magnésium sur la membrane. Le dépôt de ces sels sur la membrane forme un

colmatage obstruant les pores de la membrane qui affaiblie sa perméabilité et par suite le débit d'eau traitée.

II.11. Etape de poste traitement

Le post-traitement permet à l'eau traitée au préalable d'être apte à une utilisation plus spécifique ; C'est le cas de la reminéralisation de l'eau après un processus d'osmose inverse pour permettre son ingestion ou la désinfection chimique de l'eau lorsqu'elle est produite pour une utilisation de consommation.

II.11.1. Injection de dioxyde de carbone et de la chaux

Un post-traitement de reminéralisation permet de rendre à l'eau son équilibre calco-carbonique et de préserver ainsi le réseau de distribution de la dégradation par corrosion : ce traitement est généralement réalisé par ajout de CO₂ et de chaux (Ca(OH)₂) ou de CO₂ suivi d'une filtration sur lit de CaCO₃.

Le CO₂ sera stocké sous forme liquide à T= 20°C et p=20,5 kg/cm². Il sera ensuite évaporé jusqu'à sa forme gazeuse pour être enfin, introduit par des injecteurs dans la tuyauterie de sortie de la chambre d'eau osmotique. On dispose de deux réservoirs de stockage de 50.000 kg chacun. Deux panneaux pour le dosage (un par ligne de 100 000 m³ /jour d'eau osmotique) sont installés à proximité des points de dosage. Le réglage du dosage en dioxyde de carbone est commandé par un débitmètre massique installé dans le panneau [14].

II.12. Rejet de saumure

A la sortie de l'usine de dessalement, le flux d'eau de mer brute est séparé en deux flux : un flux d'eau douce et un flux de saumure qui contient l'ensemble du sel qu'il faut rejeter à la mer. Trois approches permettent de rejeter les saumures à la mer :

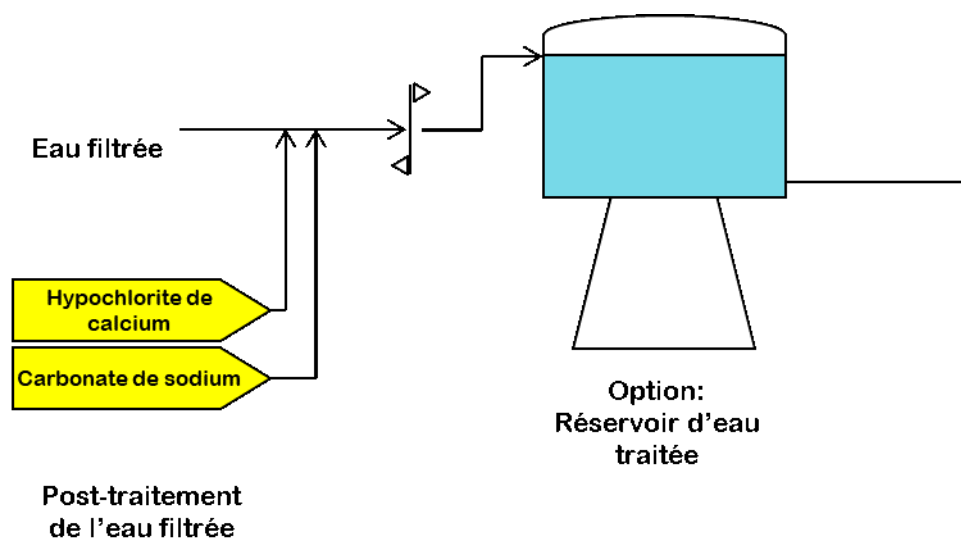
- Le rejet à la côte au moyen d'un canal,
- Le rejet au large au moyen d'un émissaire,
- Le rejet par infiltration sous la mer.

Tableau II.1 : Caractéristiques principales de l'eau de mer et saumure [15].

Paramètres	Eau de mer	Rejet (saumure)
Conductivité (ms/cm)	47	73.5
Salinité (g/L)	32	60
Turbidité (NTU)	1,14	2,03
pH	7,61	7,31
T (°C)	20	20
[Ca ²⁺] (g/L)	0,449	0,841
[Mg ²⁺] (g/L)	0,998	2,013
Chlorures (g/L)	14,200	22,412
Sulfates (g/L)	3,7	2,573
TA (°F)	0	0
TAC (°F)	13	28

II.13. Système d'eau traitée

Le post traitement chimique permet d'ajuster, ou de réajuster, la composition chimique de l'eau traitée.

**Figure II.9** : Système d'eau traitée

II.14. Hygiène, Sécurité et Environnement

Au niveau **hygiène et sécurité**, aucune règle spécifique ne s'applique aux unités de dessalement qui doivent donc suivre les règles en vigueur :

- sur les grands chantiers lors de leur construction ;
- dans les unités comportant de la vapeur sous pressions pour l'exploitation des unités de distillation ;
- dans les unités comportant de l'eau sous pression pour l'osmose inverse ;
- dans les deux cas, des produits chimiques y sont utilisés donc stockés et manipulés avec les règles spécifiques à chacun d'eux.

Au niveau **environnement**, deux aspects méritent d'être bien étudiés :

- la prise d'eau : en effet, les grands volumes prélevés (surtout en dessalant par distillation) peuvent créer des courants importants et entraînent les poissons (surtout juvéniles) vers les pompes, créant ainsi mortalité piscicole et problèmes de maintenance. Il convient donc de limiter les vitesses d'approche, de prévoir des tamisages avec des systèmes rejetant les juvéniles... ;

- les rejets qui, soit par leur salinité, soit par leur température différente de celle du milieu où ils sont rejetés, peuvent y provoquer des perturbations surtout sur les végétaux locaux (exemple : champs de posidonies). Il faut donc veiller à une bonne dispersion des rejets, soit dans des courants locaux, soit plus souvent via des diffuseurs à sorties multiples qui limitent les écarts de salinité à moins de 0,1 g/L en quelques dizaines, voire centaines de mètres pour les plus grosses unités. On notera que si l'on n'y prend pas garde, la différence de température et/ou de salinité crée des différences de densité qui peuvent au contraire créer des ségrégations, retardant le mélange naturel via les turbulences locales et la 2^{ème} loi de Fick [16].

CHAPITRE III

**Dessalement des eaux de mer de la station
MAGTAA par osmose inverse**

III.1. Etude du procédé de dessalement de la station de MAGTAA

Cette étude a été réalisée au niveau du laboratoire de contrôle de la qualité de cette station de dessalement où nous avons effectué quelques analyses physico-chimiques. Ensuite, nous avons évalué l'effet du nettoyage en place (cleaning-in-place (CIP)) des membranes d'osmose inverse en comparant leur efficacité en matière de taux de conversion de l'eau et de taux de rétention des sels avant et après le nettoyage.

III.1.1. Matériels et méthodes

Au cours du mois de juin 2021, nous avons prélevé des échantillons sur cinq jours pour une étude physico-chimique sur deux sites de la station :

- A l'entrée de la station (eau de mer (eau d'alimentation)) ,
- A la sortie de l'osmose inverse (eau traitée) ;

Nous avons donc mesuré des paramètres physico-chimiques tels que : pH, température, conductivité, TDS et turbidité.

III.1.1.1. Mode de prélèvement

Des échantillons d'eau ont été prélevés pour des tests physico-chimiques. Le processus suivant est suivi lors de la collecte d'un échantillon d'eau pour analyses physico-chimiques :

- Le contenant doit être propre mais pas nécessairement stérilisé ; nous avons utilisé des bouteilles en plastique de 500 ml, ainsi que des bouteilles en verre préalablement rincées à l'eau distillée au moins trois fois.
- Laisser l'eau s'écouler à débit maximum pendant 5 à 10 secondes, puis à débit moyen pendant 2 à 5 minutes avant de prélever un échantillon.
- Ouvrez l'emballage, remplissez-le et scellez-le dès que possible.

III.1.1.2. Paramètres recommandés

Pour connaître l'efficacité des membranes d'osmose inverse, le taux de conversion de l'eau et le taux de rétention des sels doivent être calculés.

III.1.1.2.1. Taux de conversion

Le taux de conversion (TC) est donné par l'équation (III.1) :

$$TC (\%) = \frac{Q_P}{Q_F} \times 100 \quad (III.1)$$

Où Q_P est le débit d'eau de perméat et Q_F est le débit d'eau d'alimentation d'osmose inverse.

III.1.1.2.2. Taux de rétention

La performance du procédé RO est exprimée en rétention observée (R) (taux de rejet) des sels selon l'équation (III.2) [17–19] :

$$R (\%) = \frac{1 - C_P}{C_F} \times 100 \quad (\text{III.2})$$

Où C_F et C_P sont la concentration dans l'alimentation et le perméat, respectivement.

III.1.2. Les résultats d'analyses de l'eau d'alimentation et de perméat par la station de Magtaa

Les valeurs des paramètres physico-chimiques des échantillons analysés de l'eau de mer (eau brute) et de l'eau traitée (perméat) sont récapitulées dans les tableaux suivants.

Tableau III.1 : Eau brute d'alimentation de la station de dessalement Magtaa.

Paramètre	pH	Température	Conductivité	TDS	Turbidité	Chlore libre
Unités		°C	µs/cm	mg /L	NTU	ppm
Jour 1	8,14	21,9	53800	34237	1,11	1,36
Jour2	8,18	23,6	53900	33908	0,90	1,07
Jour3	8,16	21,8	53200	33950	0,75	1,03
Jour4	8,13	21,5	53300	34090	0,92	1,01
Jour5	8,11	21,3	53280	34020	0,90	1,03

Tableau III.2 : Eau traitée (perméat) par osmose inverse

Paramètre	pH	Température	Conductivité	TDS	Turbidité	Chlore libre
Unités		°C	µs/cm	mg /L	NTU	Ppm
Jour1	8,22	23,5	2991	1277	0,450	0,01
Jour2	8,50	23,1	2960	1270	0,361	0,01
Jour3	8,50	23,8	2650	1325	0,333	0,01
Jour4	8,26	23,7	2640	1320	0,425	0,01
Jour5	8,30	23,4	2540	1270	0,366	0,01

Comme la concentration en carbone de l'eau de mer change, son pH n'est pas constant. Les eaux d'alimentation ont un pH de 8,11 à 8,18 en moyenne. Il peut atteindre 8,5 lorsque l'activité photosynthétique consomme beaucoup de carbone.

Le pH de l'eau traitée, quant à lui, se situe entre 8,22 et 8,50 en moyenne. Ces valeurs respectent les normes (6,5-9,5) de l'organisation mondiale de la santé (OMS) et les normes européennes concernant les eaux potables destinées à la consommation humaine [20,21]. Le pH de l'eau salée diffère quelque peu de celui de l'eau douce.

Il peut être facilement observé que les valeurs de conductivité pour l'eau de mer sont élevées, avec une valeur moyenne mensuelle de 53800 $\mu\text{s}/\text{cm}$, mais peut atteindre, pour l'eau traitée, une valeur de 2990 $\mu\text{s}/\text{cm}$, en raison de la forte présence d'ions liés dans l'eau de mer.

Nous continuons de croire que la conductivité est directement proportionnelle à la quantité de solides dissous dans l'eau. En conséquence, plus la concentration de matière dissoute est élevée, plus la conductivité est élevée. Les valeurs de conductivité de l'eau traitée sont toujours supérieures aux normes réglementaires (2500 $\mu\text{s}/\text{cm}$) [20,21]. Ceci ne doit pas obligatoirement refléter la qualité médiocre des eaux brutes, mais plutôt l'inefficacité du nettoyage en place des membranes d'osmose inverse, où un mauvais nettoyage conduit forcément à un abaissement des performances de ce procédé en matière de taux de conversion de l'eau et de rétention des sels.

La valeur moyenne du TDS est élevée pour l'eau de mer, elle varie de 33908 à 34237 mg/L et de 1270 à 1325 mg/L pour l'eau traitée, en raison de la forte présence d'ions dans l'eau de mer. Il peut être constaté que le total des solides dissous de l'eau de mer est le double de sa teneur dans l'eau traitée ; cependant, elle demeure toujours supérieure à la norme (1000 mg/L) recommandée par l'OMS [20]. A partir des valeurs moyennes mensuelles des matières dissoutes totales pour les 2 types d'eaux, on déduit que le taux de rétention (taux de rejet), selon l'équation III.2, est environ 96%. Ce dernier est légèrement inférieur à la valeur pour laquelle le système d'osmose inverse est conçu et qui est de 99% [22], ce qui est expliqué par un colmatage persistant des membranes d'osmose inverse.

Il est à remarqué aussi, que la turbidité de l'eau traitée est inférieure à la turbidité de l'eau de mer puisque les matières en suspensions (MES) ont été retenus par les membranes

d'ultrafiltration pendant les étapes de prétraitement. Ces valeurs respectent bien les normes (0,5 NTU) de l'OMS [20].

La teneur du Chlore libre a été réduit par le métabisulfite de sodium avant passage de l'eau dans les modules RO et ce, pour éviter la dégradation du polymère (Polyamide aromatique) constituant la membrane.

III.2. Nettoyage en place

Le Nettoyage en place (NEP) ou Clean-in-Place (CIP) en anglais est un système automatique de nettoyage des installations sans démontage. Le plus souvent intégré à la machine lors de la conception, les cuves, tuyaux ou autres machines sont lavés à l'aide d'un circuit d'eau parallèle. Dans les systèmes les plus complexes, le nettoyage de circulation utilise différents cycles avec produits de lavage et de rinçage, pilotés automatiquement par un programmateur central.

III.2.1. Nettoyage en place (CIP) des membranes d'ultrafiltration

Le CIP des membranes d'ultrafiltration (UF) est mis en place pour éliminer les impuretés notamment les MES fines et les colloïdes. Le système UF CIP se compose de réservoirs UF CIP, d'une pompe UF CIP. Filtre à cartouche, pompe de rinçage RO et système de dosage de produits chimiques tels que le dosage de NaClO, système de dosage NaOH et système de dosage HCl. Les résultats du CIP sont regroupés dans le tableau III.3.

Tableau III.3 : Les paramètres de fonctionnements avant et après le lavage chimique d'un seul Train (Stream 1 Système 1) de modules UF.

	05/06/2021		06/06/2021		07/06/2021	
	Avant	Après	avant	après	avant	après
Q_F (m ³ /h)	317,46	441,67	353,33	454,27	367,06	478,89
Q_P (m ³ /h)	65,02	90,46	69,49	93,04	75,18	92,98
Q_R (m ³ /h)	252,44	351,21	283,84	361,23	291,88	385,91
Perte de charge (bar)	1,43	1,43	1,55	1,51	1,51	1,51
TC (%)	20,5	20,5	19,7	20,5	20,5	19,4

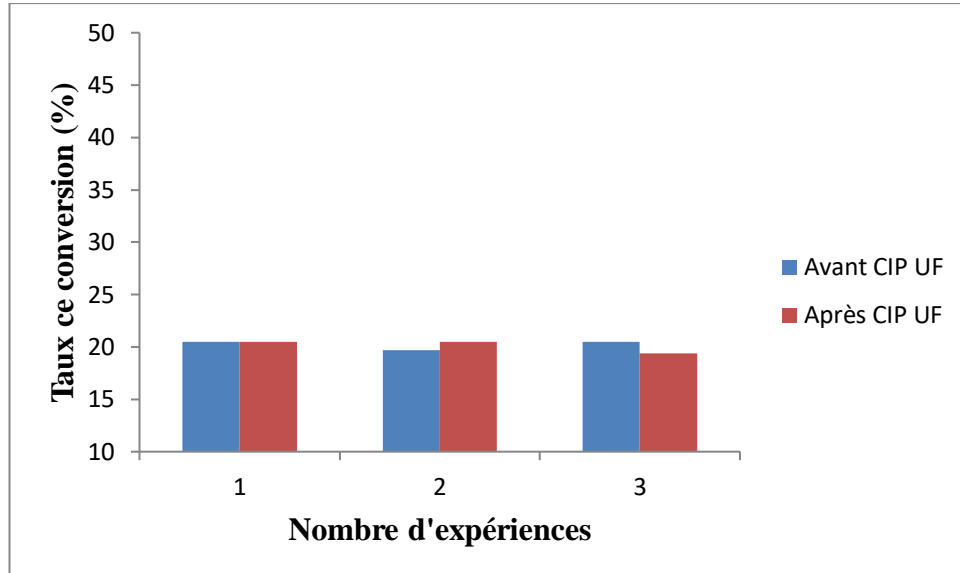


Figure III.1: Taux de conversion avant et après CIP Ultrafiltration (UF)

Il est à remarqué que le débit de perméat (Q_P) n'a pas augmenté relativement au débit d'alimentation, autrement dit le taux de conversion de l'eau, selon l'équation III.1, est resté constant après avoir effectué le CIP des membranes UF. Ceci peut être expliqué par l'absence de matières organiques dans l'eau prétraitée alimentant les modules d'UF puisque la totalité des matières minérales passent à travers les pores de ces membranes en créant une différence de pression osmotique ($\Delta\pi$) nulle de part et d'autre de la membrane (côté rétentat et perméat). Ceci est confirmé par la constance de perte de charge avant et après CIP puisque les résistances hydrauliques du colmatage total (réversible, irréversible et celui de la membrane propre) ne sont pas affectées. Pour cette raison, le CIP à base de soude (NaOH), attaquant les matières organiques, est inutile. Egalement, le CIP à base d'acide fort (HCl) est inapproprié ici puisque les membranes UF ne peuvent pas retenir les matières minérales. A cet effet, le CIP effectué est inefficace, ce qui peut nous imposer à suivre une nouvelle stratégie de nettoyage à savoir l'optimisation de la durée de CIP, le pH, la température, la pression en testant d'autres agents chimiques de nettoyage.

III.2.2. Nettoyage en place (CIP) des membranes d'osmose inverse

Le système Seawater Reverse Osmosis (SWRO CIP) est conçu pour éliminer la contamination des surfaces de la membrane en utilisant des agents chimiques pour dissoudre et/ou séparer, par des moyens physiques et interaction chimique, le colmatage afin de restaurer les performances de la membrane en modifiant la morphologie et/ou la chimie de surface de la couche d'encrassement [23].

Il est recommandé d'appliquer le SWRO CIP après le rinçage du LTDS. En même temps, effectuer le CIP en tant qu'un moyen d'entretien périodique et préventif ou avant une prolongation fermeture de la période.

L'osmose inverse d'eau de mer (SWRO) Cleaning-In-Place est composé de :

- Pompes RO CIP.
- Récipients à pression et racks d'osmose inverse (RO).
- Membranes RO.
- Réservoir RO CIP.
- Pompe de transfert de solution RO CIP (pompe à membrane pneumatique).

Tableau III.4 : Les paramètres de fonctionnements avant et après le lavage chimique d'un seul Train (H/S1) de modules d'osmose inverse (RO).

Paramètre	13/05/2021		28/05/2021		06/06/2021	
	Avant	Après	avant	après	avant	après
Q_A (m ³ /h)	1093	1093	1093	1093	1093	1093
Q_P (m ³ /h)	672	690	668	710	669	701
Q_R (m ³ /h)	421	403	425	383	424	392
Perte de charge (bar)	3,22	2,61	3,46	2,47	3,24	2,65
TC (%)	61,5	63,1	61,1	65	61,2	64,1

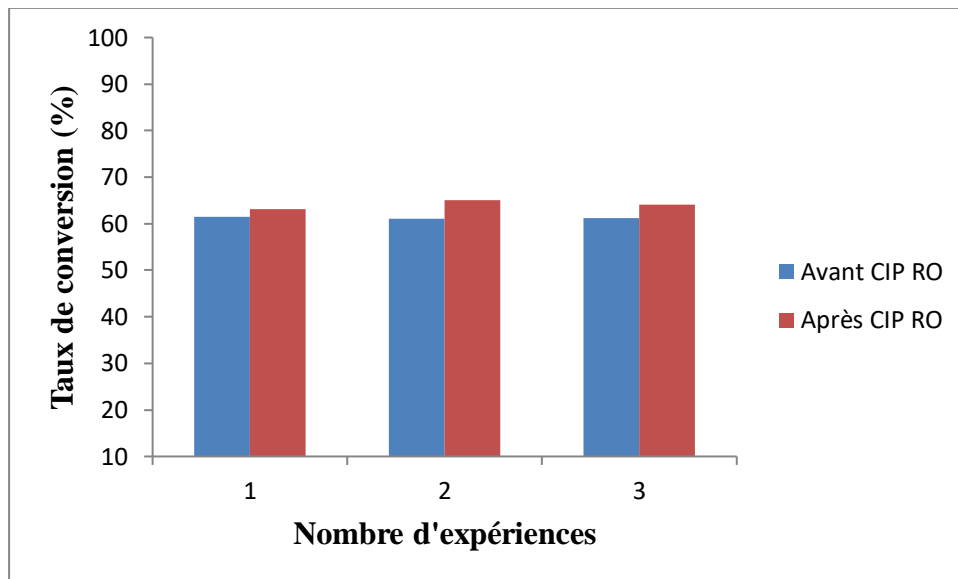


Figure III.2: Taux de conversion avant et après CIP Osmose inverse (RO)

Il est à constaté, selon le tableau III.4 et la Figure III.2, que le taux de conversion de l'eau s'est légèrement amélioré après CIP. Ceci est confirmé par une légère diminution de la perte de charge générée par les résistances hydrauliques du colmatage indiquant un CIP insuffisant et inefficace. Ceci peut nous conduire à revoir la stratégie suivie de nettoyage des membranes d'osmose inverse au sein de la station de dessalement d'eau de mer de Magtaa. Cette procédure affecte directement la qualité et la quantité d'eau potable produite destinée à la consommation humaine, ainsi que la durée de vie des membranes.

Conclusion Générale

CONCLUSION GENERALE

Le dessalement va ainsi s'imposer comme une ressource alternative essentielle à la pérennité de grandes zones urbaines du littoral ou le besoin se fait sentir. Il est devenu une nécessité vitale pour les grands centres urbains algériens du littoral méditerranéen tels que Oran, Mostaganem, Alger et Arzew.

Il a été constaté, durant cette étude effectuée au niveau de la station de dessalement d'eau de mer de Magtaa Oran, que l'osmose inverse est le moyen le plus efficace et le plus performant pour éliminer la salinité de l'eau en particulier et les résidus indésirables en générale et l'obtention d'un débit important d'eau traitée, où le prétraitement de l'eau de mer avant atteindre l'étape finale d'osmose inverse est absolument nécessaire et indispensable afin d'éviter un colmatage prématuré des membranes RO affectant ainsi la qualité et la quantité d'eau traitée et réduisant la durée de vie des membranes. Cependant, il a été trouvé que la conductivité et le taux de salinité d'eau traitée sont supérieurs aux normes recommandées par l'OMS reflétant un mauvais CIP effectué. Cette avancée est confirmée par le taux de conversion de l'eau qui s'est légèrement amélioré après CIP et le taux de rétention des sels qui a baissé par rapport à la valeur guide du constructeur.

Il peut être conclu, que la stratégie de CIP suivie au sein de cette station est inappropriée et inefficace, où la recherche d'une autre stratégie de nettoyage s'avère indispensable pour assurer une meilleure qualité et une importante quantité d'eau traitée ainsi que prolonger la durée de vie des membranes.

Références Bibliographiques

Références Bibliographiques

- [1] DANIS P., Dessalement de l'eau de mer, Techniques de l'ingénieur, J2700, 2003.
- [2] GUEZLANE W., AGGOUN M., Etude et simulation par modèle mathématique d'une unité d'osmose inverse pour le dessalement de l'eau de mer, Mémoire de master en Génie Chimique, université d'OUM EL BOUAGHI, Algérie, 2017.
- [3] AMMOUR F., KETTAB A. et OUSSEDIK S., Le dessalement des eaux de mer, 2001.
- [4] AL-SHAYJI K. A., Modeling, Simulation and Optimization of Large-scale Commercial desalination Plants, Doctoral dissertation in Chemical Engineering, Virginia, USA, 1998.
- [5] MAUREL A., Techniques séparatives à membranes : osmose inverse, Techniques de l'ingénieur, J2790, pp J2790.1-J2790.24, 1993.
- [6] BENAÏSSA F. Z., Etude sur le procédé d'osmose inverse pour le dessalement des eaux faiblement saumâtres, Mémoire de master en Hydraulique, Université de Tlemcen, Algérie, 2013.
- [7] de DARDEL F., Échange d'ions-Principes de base, Techniques de l'ingénieur, J2783, 2015.
- [8] BOUKELLAL I. HANANE A., Etude du procédé de dessalement de l'eau de mer et de la qualité physico-chimique de l'eau dessalée de la station de CAP DJINET de la Wilaya de Boumerdes, Mémoire de master en Hydraulique, Université de Bejaia, Algérie, 2015.
- [9] Oran opte pour le rationnement de l'eau, Archive, Agence APS Algérie, 25 Juin 2020. Disponible : https://fr.wikipedia.org/wiki/Liste_des_stations_de_dessalement_en_Alg%C3%A9rie#Wilaya_d'Oran
- [10] Traitement primaire : dégrillage et tamisage, Trevi Environmental solutions, Gentbrugge, Belgique, 2021. Disponible : <https://www.trevi-env.com/fr/eau-realizations/eau-overzicht/129-eau-techniekfiches-fr/447-degrillage-tamisage>
- [11] Pumping solutions for desalination, Sulzer Ltd, 2019. Disponible: https://www.sulzer.com/france/-/media/files/applications/water-wastewater/desalination/brochures/pumpingsolutionsfordesalinationandwaterreuse_e00551.aspx?la=en
- [12] ADDA A., NACEUR W.M. et ABBAS M., Modélisation et optimisation de la consommation d'énergie d'une station de dessalement par procédé d'osmose inverse en Algérie, Revue des Energies Renouvelables, Vol. 19 N°2 (2016) 157 – 164.

- [13] Maintenance et nettoyage des membranes d'osmose inverse, Lenntech B. V., 2021. Disponible : <https://www.lenntech.fr/procedes/dessalement/membranes/dessalement/nettoyage-membranes.htm>
- [14] BABADJI K. et MAAMERI T, Caractérisation physico-chimique et bactériologique de l'eau potable produite à l'usine de dessalement de l'eau de mer SONACTER Mostaganem, Mémoire de Master en Génie des procédés, 2016.
- [15] KARA OMAR A., KHALDI A., Dessalement de l'eau de mer et impacts environnementaux : Cas de la station d'el Magtaa, Desalination of seawater and environmental impacts: Case of Mactaâ station, J. Wat. Env. Sci. Vol. 1 (Numéro spécial ICWR 2) (2017) 249-253.
- [16] ROVEL J. M., Dessalement de l'eau de mer, Environnement – Sécurité / Technologies de l'eau, 10 février 2010.
- [17] H. Bouzid, M. Rabiller-Baudry, Z. Derriche, N. Bettahar, Fluxes in reverse osmosis of model acidic and alkaline transient effluents issued from skim milk filtration, Desalin. Water Treat., 43 (1-3) (2012) 52–62.
- [18] J.C. Crittenden, R.B. Trussell, D.W. Hand, K.J. Howe, G. Tchobanoglous, Water treatment: principles and desing, MWH 2nd ed. John Willey & Sons, Inc., Hoboken, New jersey, USA, 2005, p 984.
- [19] D. Vasanth, G. Pugazhenth, R. Uppaluri, Fabrication and properties of low cost ceramic microfiltration membranes for separation of oil and bacteria from its solution, J. Membr. Sci., 379 (2011) 154–163.
- [20] Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first addendum, Geneva: World Health Organization; 2017. Licence: CCBY-NC-SA3.0IGO. Available at: <file://C:/Users/MPI071~1/AppData/Local/Temp/9789241549950-eng.pdf>, Accessed on 22 February 2021.
- [21] Directive of the European Parliament and of the Council, On the quality of water intended for human consumption, 2017/0332(COD), 1998/83 (adapted), Brussels, 2018. Available at : <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1519210589057&uri=CELEX:520117PC0753>, Accessed on 22 February 2021.
- [22] HyFlux, Technical manual for water treatment required by the manufacturer of the Magtaa water desalination plant (Algeria), Singapore.
- [23] T. Majeed, S. Phuntsho, L. Chekli, S.H. Lee, K. Kim, H.K. Shon, Role of various physical and chemical techniques for hollow fibre forward osmosis membrane cleaning, Desalin. Water Treat., 57(17) (2016) 7742–7752.

Annexe

ANNEXE

1- Méthodes d'analyse physico-chimique

1.1-Mesure de la turbidité

La turbidité a été mesurée à l'aide d'un turbidimètre (HACH, TL2300) préalablement étalonné à 0,02 NTU (Figure A). L'échantillon sera testé à l'aide de capsules de verre soigneusement nettoyées et bien séchées, remplies d'eau à étudier, et le résultat sera présenté en NTU (Nephelometric Turbidity Unit).



Figure A: Turbidimètre

1.2-Mesure de la conductivité

La mesure de la conductivité se fait à l'aide d'un appareil "Tout en Un" (HACH EC7) comme indiqué sur la Figure B.

➤ Mode opératoire

Allumez l'instrument, étalonnez-le avec de l'eau distillée, puis plongez la sonde tout en la faisant tourner doucement dans un bécher contenant environ 100 ml de notre échantillon ; laissez se stabiliser avant de lire la conductivité en $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Après chaque mesure, la sonde doit également être lavée.

Nous avons pu détecter la température et le TDS en utilisant le même instrument.



Figure B : Conductimètre

1.3- Mesure de la Température

Au niveau du laboratoire, cette mesure de T° est réalisée sur les échantillons à l'aide d'un instrument multiparamétrique (Hach, PH3).

1.4- Mesure du pH

La mesure du pH s'effectue à l'aide d'un dispositif de sonde différent (HACH, PH3) et du même mode de fonctionnement que la mesure de conductivité.



Figure C : pH-mètre

1.5- Mesure du Chlore libre

La concentration de Chlore peut être représentée par le Chlore libre, le Chlore mélangé ou le Chlore total. Dans la plupart des applications potentielles, la mesure du Chlore libre est la plus importante. La technique DPD détermine la quantité de Chlore libre, mélangé et total.

Pour faciliter les choses, les réactifs sont donnés sous forme de comprimés dans cette approche.

La coloration rose est produite lorsque le Chlore libre interagit avec la molécule DPD (Diéthyl-p-Phénylène-Diamine). L'intensité de cette teinte générée est liée à la concentration requise de Chlore libre.

➤ **Mode opératoire**

La mesure du paramètre Chlore libre se fait avec un colorimètre. Mettre 10 ml de l'échantillon dans une cuvette propre et calibrer le colorimètre à 0 mg/l ; et 10 ml de l'échantillon dans une autre cuvette propre et ajouter un comprimé de DPD (Figure D), insérer la cellule dans le colorimètre et obtenir la lecture immédiatement.

Le résultat (concentration du Chlore libre) est exprimé en mg/L



Figure D : Colorimètre

RESUME

La station « HyFlux » de dessalement d'eau de mer de Magtaa Oran, une des plus grands projets en Algérie, doit fournir 500 000 m³/jour d'eau potable pour faire face à la raréfaction des ressources en eau dans notre pays. Pour relever ce défi, la station se base sur l'utilisation des procédés à membranes à savoir l'ultrafiltration (UF) et l'osmose inverse (RO) afin d'obtenir une quantité importante d'eau traitée avec une excellente qualité. Cependant, cet objectif est confronté par plusieurs contraintes qui seraient identifiées lors d'une étude menée dans cette usine.

Les analyses physico-chimiques ont montré que la conductivité et le taux de salinité (TDS) de l'eau traitée (Perméat) dépassent les normes réglementaires de l'organisation mondiale de la santé (OMS) et les normes européennes, ce qui peut être expliqué par un colmatage persistant des membranes d'osmose inverse.

Le nettoyage en place (CIP) des membranes RO a montré que le taux de conversion (TC) de l'eau s'est légèrement amélioré après CIP. Ceci est confirmé par une légère diminution de la pression générée par les résistances hydrauliques du colmatage notamment irréversible indiquant un CIP inefficace. Cette stratégie de CIP doit être révisée afin d'améliorer la qualité, la quantité et prolonger la durée de vie des membranes.

Mots clés : dessalement des eaux de mer, membrane, ultrafiltration, osmose inverse, taux de conversion, nettoyage en place

ABSTRACT

Seawater desalination plant « HyFlux » of Magtaa Oran, one of the largest projects in Algeria, must provide 500,000 m³/day of drinking water to face the scarcity of water resources in our country. To meet this challenge, the plant relies on the use of membrane processes such as ultrafiltration (UF) and reverse osmosis (RO) to obtain a large quantity of treated water with excellent quality. However, this aim is confronted by several constraints that would be identified during a study carried out at this plant.

The physicochemical analyses have shown that conductivity and Total Dissolved Solids (TDS) of treated water (permeate) were higher than WHO (World Health Organization) and European directive drinking water standards, which can be explained by a persistent fouling of the RO membranes.

Cleaning-in-place (CIP) of the RO membranes showed that the water recover rate (TC) improved slightly after CIP. This is confirmed by a slight decrease in the pressure generated by the hydraulic resistances of the fouling particularly irreversible indicating an inefficient CIP. This CIP strategy needs to be revised to improve the quality, quantity and service life of membranes.

Keywords: Seawater desalination, membrane, ultrafiltration, reverse osmosis, recovery rate, cleaning-in-place