



DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA MER ET DE L'AQUACULTURE

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

Présenté par

DJEROUROU Chourouk

Pour l'obtention du diplôme de

MASTER EN HYDROBIOLOGIE MARINE ET CONTINENTALE

Spécialité : Ressources halieutiques

THÈME

**Impacts négatifs du dessalement de l'eau de mer
*par la technique d'osmose inverse***

Cas : Station de dessalement El-Magtaa TMM

Soutenue le 23/06/2026

DEVANT LE JURY

Encadreur : BENMEDDAH Mohammed Missoum

MCA

U. Mostaganem

Président de jury ; BORSALI Sofia

MCA

U. Mostaganem

Examineur : BILLAMI Malika

MAA

U. Mostaganem

Résumé

L'eau potable devient de plus en plus une ressource demandée et rare, particulièrement dans les zones arides comme le Moyen-Orient et l'Afrique du Nord. Les pays qui en ont les moyens comptent donc de plus en plus sur les usines de dessalement.

Dans ce processus énergivore, le sel est extrait de l'eau de mer afin d'en tirer finalement de l'eau potable. Il existe aujourd'hui près de 16 000 usines de dessalement sur la planète, en exploitation ou en construction. Mais, elles ne se contentent pas de produire de l'eau dessalée, elles produisent aussi de la saumure.

La station de dessalement de l'eau de mer d'**El Magtaa TMM** « TAHLYAT MYAH MAGTAA » (Wilaya d'Oran) est l'un des plus grands projets réalisés en Algérie pour l'approvisionnement en eau potable avec une capacité de 500.000 m³/ jour.

La présente étude a pour objectif l'étude des paramètres physico-chimiques de l'eau brute (eau de mer) et de la saumure (eau de rejet) de l'usine de dessalement d'**El Magtaa** utilisant le procédé de l'osmose inverse, ce qui est suivi par l'étude de l'impact des eaux rejet des saumures sur l'environnement sur l'équilibre écologique marin, à travers l'étude de cas de l'usine de dessalement de l'eau de mer d'**EL Magtaa TMM**.

Elle met en évidence les dommages causés par le rejet d'eau salée et propose des solutions pour les minimiser. L'objectif est de parvenir à un équilibre entre la production d'eau potable et la protection de l'écosystème marin.

Mots Clés : dessalement, l'eau dessalée, la saumure, paramètres physico-chimiques, le rejet d'eau salée.

Abstract

Freshwater is becoming an increasingly scarce and highly demanded resource, particularly in arid regions such as the Middle East and North Africa. To address this challenge, many countries rely on seawater desalination plants to ensure a sustainable supply of drinking water. Desalination is an energy-intensive process that removes salts from seawater, producing potable water while generating large quantities of brine as a by-product.

The El Magtaa Seawater Desalination Plant (TMM – Tahlyat Myah Magtaa), located in Oran, Algeria, is one of the largest desalination projects in the country, with a production capacity of 500,000 m³/day. This study focuses on the physicochemical characterization of both raw seawater and brine discharged from the El Magtaa desalination plant, which operates using the reverse

osmosis process. Furthermore, it investigates the environmental impact of brine discharge on the marine ecosystem and ecological balance through a case study of the El Magtaa plant.

The study highlights the potential environmental risks associated with brine disposal and proposes mitigation measures to reduce its adverse effects. The ultimate objective is to achieve a balance between the production of drinking water and the preservation of the marine environment.

Keywords: Desalination, Desalinated Water, Brine, Physicochemical Characteristics, Brine Discharge

الملخص

أصبحت مياه الشرب مورداً نادراً ومرغوباً فيه بشكل متزايد، لا سيما في المناطق القاحلة كالشرق الأوسط وشمال أفريقيا. ولذلك، تعتمد الدول القادرة على توفيرها بشكل متزايد على محطات تحلية المياه. في هذه العملية كثيفة الاستهلاك للطاقة، يُستخلص الملح من مياه البحر لإنتاج مياه الشرب. يوجد حالياً ما يقارب 16,000 محطة تحلية مياه حول العالم، إما عاملة أو قيد الإنشاء. إلا أنها لا تنتج المياه المحلاة فحسب، بل تنتج أيضاً المحلول الملحي.

تُعد محطة تحلية مياه البحر "المجتا" (ولاية وهران) من أكبر المشاريع المنفذة في الجزائر لتوفير مياه الشرب، بطاقة إنتاجية تبلغ 500,000 متر مكعب يومياً.

تهدف هذه الدراسة إلى تحليل الخصائص الفيزيائية والكيميائية لمياه البحر الخام والمحلول الملحي (مياه الصرف) من محطة تحلية "المجتا"، التي تستخدم تقنية التناضح العكسي. يلي ذلك دراسة لتأثير مياه الصرف المالحة على النظام البيئي البحري، باستخدام محطة تحلية مياه البحر "المجتا" التابعة لشركة "تي إم إم" كدراسة حالة.

تسلط الدراسة الضوء على الأضرار الناجمة عن تصريف المياه المالحة، وتقتترح حلولاً للحد منها. والهدف هو تحقيق التوازن بين إنتاج مياه الشرب وحماية النظام البيئي البحري.

الكلمات المفتاحية:

تحلية المياه، المياه المحلاة، الرجيع الملحي، المعايير الفيزيائية والكيميائية، تصريف المياه المالحة.

Remerciement

Avant tout, je rends grâce à Dieu, le tout-puissant, pour m'avoir accordé la force, la patience et la persévérance nécessaires pour mener à bien ce travail.

*Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à mon encadrant, **Monsieur BENMEDDAH Mohammed Missoum**, pour son accompagnement, ses précieux conseils, sa bienveillance et sa disponibilité tout au long de ce mémoire.*

Je remercie l'institution d'avoir reçus avec le plus chaleureux accueil

*(**TAHLYAT MYAH MAGTAA**).*

*Je remercie également la direction de la station pour avoir accepté
ma demande de stage.*

*Je remercie **Mr NABIL LAFI** chef du département de protection et **Mr REBHI Mouhammed** chef
du Quart,*

*Et un merci tout particulier au Directeur du Service Laboratoire, **BADANI DJILALI El Amine***

*Je remercie particulièrement Madame **BORSALI Soufia**, Présidente du jury, ainsi que Madame **BILLAMI Malika**, Examinatrice, pour l'honneur qu'elles nous ont fait en acceptant d'évaluer ce
mémoire et pour l'intérêt qu'elles ont porté à ce travail.*

*J'adresse également mes sincères remerciements à **l'ensemble du corps enseignant** de département de **science de mer et de l'aquaculture** pour la qualité de l'enseignement dispensé tout au long de mon parcours.*

« Celui qui ne remercie pas les gens ne remercie pas Dieu », et vous méritez les plus belles

Expressions de remerciement et de gratitude. Sans Dieu et vous, nous n'aurions pas réalisé ce que nous voulions. Vous étiez le premier soutien et le plus grand motivateur.

Nous. Et nous n'oublions pas que le succès a des gens qui en apprécient le sens, et que la créativité est récoltée par d'autre, nous visons à valeur votre travail assidu.

Vous devez obtenir du respect et de l'importance, Et nous avons appris à vous apprécier. Et appréciation, car vous étiez nos amis et frères

*Je remercie tout l'équipe de laboratoire de la station (**MELLE YBKA Bouchra, Mr MIDANI Mohammad et Mr ZEROUKI Mouhamed Amine et Mr BENNABI kada et Mr BOUHIZAB Mehadi**)*

*Il ne faut pas non plus oublier l'équipe de l'apprenti (**BABACI Lidia, AYAD Djamila, TOUBAL Amina**)*

« Je vous remercie pour votre compréhension et votre patience. Votre gentillesse à nos yeux a rendu une situation difficile plus acceptable. »

*Enfin, je remercie du fond du cœur **ma famille**, en particulier **mes parents**, pour leur amour inconditionnel, leurs sacrifices et leur confiance indéfectible. Ce travail leur est dédié avec gratitude et tendresse.*

Dédicace

Je dédie ce travail

A ma chère mère,

A ma famille

Et à mes amis

Listes des figures

Figure 01 : Principe d'un système de dessalement	4
Figure 02 : Capacité globale de dessalement en m ³ /j et %. (BETTAHAR, S.2025).....	5
Figure 03 : Capacités cumulatives de MSF, MED et SWRO en Méditerranée en m ³ /j. (BETTAHAR, S.2025).....	6
Figure 04 : Emplacement géographique des stations de dessalement en Algérie. (BEDANI, DJ.2026).....	7
Figure 05 : Présentation d'une installation de dessalement (BEDANI, DJ. 2016).....	9
Figure 06 : Les divers procédés de dessalement (BETTAHAR, S.2025)	13
Figure 07 : Distillation à simple effet. (BEDANI, DJ.2016)	14
Figure 08 : Distillation à multiples effets. (BEDANI, DJ.2016).....	15
Figure 09 : Distillation par compression de vapeur (BETTAHAR, S.2025)	16
Figure 10 : Procédé d'électrodialyse simplifié. (BETTAHAR, S.2025)	16
Figure 11 : Principe des phénomènes d'osmose et d'osmose inverse.....	17
Figure 12 : Phénomène de l'osmose.	18
Figure 13 : Phénomène de l'osmose inverse.....	19
Figure 14 : Principe d'osmose inverse.	19
Figure 15 : Modules plans. (RAID H, ET BENALI H, 2017)	20
Figure 16 : Modules tubulaires.....	21
Figure 17 : Modules spiralés.	22
Figure 18 : Modules à fibres creuses. (Maache, Y, ET kaikaa A. 2023)	22
Figure 19 : Herbiers de posidonie (Méditerranée)	29
Figure 20 : L'oursin violet. (Pradoet al., 2012).....	29
Figure 21: les mollusques endofauniques (Bivalves fouisseurs) (Roberts et al., 2010).....	30
Figure 22 : Le Rouget de roche (Mullus surmuletus), (Hureau, 1986).....	30
Figure 23 : Le Pageot commun (Pagellus erythrinus), (Hureau, 1986).	31
Figure 24: Adultes d'Artémia salina.	34
Figure 25: Exemple de zonation de la végétation halophyte au sein d'un écosystème de marais salé (Pennings & Callaway, 1992).	34
Figure 26: Culture de salicornia brachiata irriguée à l'eau saline.....	35
Figure 27: Le Tilapia du Mozambique (Sarà et al., 2011).	36
Figure 28 : Situation géographique de la station de dessalement TMM. (Tmm, 2008).....	38

Figure 29 : Processus du dessalement appliqué dans la station de dessalement d'El Magtaa TMM.	41
Figure 30 : Crible à barreaux CBS (coarse bar screen).....	42
Figure 31: Les Tamis fins rotatifs TBS (Travelling band screen).....	43
Figure 32 : Système de pompage d'eau de mer	43
Figure 33 : Système d'ultrafiltration.	44
Figure 34 : Train d'UF	44
Figure 35 : système de nettoyage-en-place (CIP) de l'UF.....	46
Figure 36 : système Osmose inverse.	46
Figure 37: Réservoirs de stockage des produits chimiques.....	47
Figure 38 : Dosage de méta-bisulfite, hydroxyde de sodium, anti tartare.	47
Figure 39 : Ligne d'alimentation du système d'osmose inverse (RO Feed).	48
Figure 40: Pompe à haute pression(HP).....	48
Figure 41 : système d'osmose inverse.....	49
Figure 42: turbo chargeur pour récupérer l'énergie du rejet d'osmose inverse.	49
Figure 43 : une turbine.	49
Figure 44 : train d'osmose inverse.	50
Figure 45: unités d'osmose inverse.....	50
Figure 46: Réservoir de l'eau dessalée.....	51
Figure 47: Post-traitement.	52
Figure 48: Bac de stockage du lait de chaux.	53
Figure 49: Bac de stockage du CO ₂	53
Figure 50: Réservoir de stockage de l'eau traitée.	54
Figure 51 : Station de pompage de l'eau traitée.....	54
Figure 52: La neutralisation.	55
Figure 53: les lignes de distribution.	56
Figure 54 : Photo du pH mètre.	57
Figure 55 : Conductivité-mètre de type (WTW inoLabcond 7110).et Conductivité-mètre de type (HACH HQ Séries).	58
Figure 56 : Turbidimètres.....	59
Figure 57 : Mesure du chlore libre.	60
Figure 58: DPD.....	60
Figure 59:Appareil de mesure TH.	62
Figure 60: Solution tampon pH10 et EDTA.....	62
Figure 61: Les matériels utilisés pour mesurer TDS.	64

Figure 62 : Comparaissant de potentiel hydrogène (pH) d'eau brute et d'eau rejet (2019/2025/2026).....	68
Figure 63 : Comparaissant entre la conductivité d'eau brute et d'eau rejet (2019/2025/2026).....	69
Figure 64 : Comparaissant entre TDS d'eau brute et eau rejet (2019/2025/2026)	70
Figure 65 : Comparaissant entre température d'eau brute et eau rejet (2019/2025/2026).....	70
Figure 66 : Comparaissant entre turbidité de l'eau brute et eau rejet (2019/2025/2026).....	71
Figure 67 : Comparaissant entre salinité d'eau brute et eau rejet (2019/2025/2026)	72

Listes des tableaux

Tableau 1. Représente les Usines de dessalement de l'eau de mer en Algérie. (BETTAHAR, S.2025)	8
Tableau 2 : les paramètres de la qualité de l'eau traitée.....	56
Tableau 3 : Evolution des résultats des paramètres physico-chimiques de l'eau de mer brute (EB) et de l'eau de rejet (ER) de l'année 2019(LARBI N & SAADAOUI S, 2019), et 2025(BETTAHAR, 2025) et 2026, comparée aux normes de qualité de l'eau de mer ;	67

Listes des abréviations

FAQ : Quantité d'eau Lenntech

IDA : Association Internationale de Dessalement

MRE : Ministère des Ressources en Eau

MED : Distillation à multiples effets

SWRO : Seawater reverse osmosis

RO : Reverse osmosis

OI : Osmose inverse

HP : Haute pression

CIP : Clean In Place

IAAS : Systèmes intégrés aquaculture-agriculture

TMM : TAHLYAT MYAH MAGTAA

OMS : Organisation mondiale de la sante.

ISO : l'Organisation internationale de normalisation

AEC : Algerian Energy Company (SONATRACH + SONRLGAZ)

ADE : Algérien Des Eaux

UF : Ultrafiltration

CBS : Coarse bar screen

TBS : Travelling band screen

FWT : Filtered Water Tank

SMBS : Sodium méta bi sulfate

SDI : Silt density index

TDS : Total dissolved solid (Taux des sels dissout)

TSS : Total suspended solid

MES : Matières En Suspensions

PH : Potentiel Hydrogène

TH : Dureté totale

TAC : Titre alcali métrique complet

LSI : Indice de Langelier de saturation

NTU : Néphélométrie Turbidité Unit

mg : Milli Gramme

l : Litre

m³ : Mètre cube

j : Jour

μS : Micro siemens

Ms : Mili siemens

EDTA : Acide éthylène diaminetétraacétique

MES : Matières en suspensions

Ppm : Particules par million

ER : Eau de rejet

EB : Eau brute

Sommaire

Résumé

Remerciement

Dédicace

Listes des figures

Listes des tableaux

Listes des abréviations

Tables des matières

Introduction générale 1

Chapitre I: Dessalement dans le monde Et dans l'Algérie

I. Introduction : 4

I.1. Le dessalement dans le monde : 4

I.2. Dessalement en Méditerranée : 6

I.3. Dessalement en Algérie : 6

I.4. Nouvelles stations : 9

I.5. Etapes de dessalement de l'eau de mer : 9

I.5.1. Prise d'eau de mer : 10

I.5.2. Prétraitement : 10

I.5.3. Installation de dessalement : 10

I.5.4. Post traitement ou minéralisation : 10

Chapitre II: Les différents procédés de dessalement

II. Introduction : 13

II.1. Les différents procédés de dessalement : 13

II.2. Procédé thermique : 14

II.2.1. La distillation : 14

II.2.1.1. Distillation à simple effet : 14

II.2.1.2. Distillation à multiples effets (MED) : 15

II.2.1.3. Distillation par compression de vapeur :	15
II.3. Procédés membranaires :	16
II.3.1. L'électrodialyse :	16
II.3.2. L'osmose inverse (RO) :	17
II.3.3. Principe de l'osmose inverse :	18
II.4. Les rejets des différentes méthodes de dessalement :	24

Chapitre III : Impacts environnementaux des activités de dessalement

III. Introduction :	26
III.1. Caractéristiques physico-chimiques et dynamique de la saumure :	26
III.1.1. Sur salinité et phénomènes de stratification thermique :	26
III.1.2. Les additifs chimiques de procédé :	26
III.2. Altération de l'environnement physico-chimique marin :	28
III.2.1. Hypoxie des fonds marins :	28
III.2.2. Modifications locales du pH et eutrophisation :	28
III.3. Impacts écologiques sur la flore marine locale : le cas de la Posidonie	28
III.4. Impacts éco toxicologiques sur la faune marine :	29
III.4.1. Effets sur la faune benthique sédimentaire :	29
III.4.2. Effets sur l'ichtyofaune (les poissons) et les ressources halieutiques :	30
III.5. Les effets environnementaux liés au prélèvement d'eau de mer (Intake Impacts) :	31
III.5.1. L'entraînement (Entrainement) :	31
III.5.2. L'impaction ou collision (Impingement) :	32
III.6. Techniques pour minimiser les impacts du dessalement sur l'environnement :	32
III.7. Réutilisation de la saumure en Aquaculture saline :	33
III.7.1. Élevage de micro-algues à haute valeur ajoutée :	33
III.7.2. Production d'Artémia (Artémia salina) :	33
III.7.3. Pisciculture d'espèces euryhalines :	34
III.8. Réutilisation de la saumure en Agriculture biosaline :	34
III.8.1. Culture de plantes fourragères halophytes :	35

III.8.2. Systèmes intégrés aquaculture-agriculture (IAAS) :	35
Conclusion	36

Chapitre IV : Matériel et méthodes

IV. Description de la station TMM :	38
IV.1. Situation géographique :	38
IV.2. Cadre climatique :	38
IV.3. Présentation de la station de dessalement d'eau de mer MAGTAA (TMM) :	39
IV.3.1 Fiche technique de la station : (Tmm, 2008) :	39
IV .3.2. Matières premières et produits finis de la station :	40
IV .4. Description du processus de la station :	40
IV .4.1 Prétraitement (Captage et Filtration) :	41
IV .4.1.1. La chambre de prise d'eau mer :	42
IV .4.1.2 Système de filtration d'INTAKE (CBS/TBS) :	42
IV .4.1.3 Système de Chloration (choc) :	43
IV .4.1.4 Station de pompage de l'eau de mer :	43
IV .4.1.5 Le système membranaire d'ultrafiltration(UF) :	44
IV .5. Etape d'Osmose inverse (RO) :	46
IV .5.1 Dosage d'antitartre :	47
IV .5.2.Lignes et pompes d'alimentation du système d'osmose inverse (RO Feed pumps) :	48
IV.5. 3. Pompes à haute pression :	48
IV .5.4. Système de récupération d'énergie :	49
IV .5.6 Unités d'osmose inverse :	50
IV .5.7 Réservoir de l'eau dessalée :	51
IV .5.8 Système de nettoyage des membranes d'osmose inverse (RO CIP) :	51
IV .6. Système de post-traitement :	51
IV .6.1. Désinfection finale :	52
IV .6.2. Reminéralisation (Système de dosage du dioxyde de carbone CO2 et de la chaux) :	52
IV .6.3 Réservoir d'eau traitée :	53

IV .6.4 Station de pompage de l'eau traitée :	54
IV .6.5. Décharge de la saumure :	54
IV .7. Echantillonnage :	55
IV.7.1. Détermination du point d'échantillonnage :	55
IV. 7.2. Les Paramètres physico-chimiques analysés :	57
IV .7.3. L'analyse contractuelle de l'eau traitée :	57
IV.7.4. l'analyse contractuelle de l'eau de mer :	57
IV. 8. Titre hydrotimétrique (th) — Dureté Totale de l'Eau :	61
IV.9. Titre alcalimétrique complet (TAC)	62
IV.10. La matière solide dissoute totale (TDS) :(méthode gravimétrique) :	63
IV.11. Matières en suspensions (MES) :(Méthode gravimétrique)	64
Conclusion :	65

Chapitre V : Résultats et discussions

V.1. Les résultats fournis des analyses de l'eau de mer brute (EB) et de l'eau de rejet (ER) :	67
V.2. Interprétations des résultats :	67
V.3. Discussion des résultats d'analyse des paramètres physico-chimiques de l'eau de mer brute (EB) et de l'eau rejetée (ER) pour les années (2019, 2025 et 2026) révèle des tendances contrastées :	73
V.4. Recommandations et Perspectives pour la gestion des rejets de saumures :	75
V.4.1. Recommandations :	75
V.4.1.1. Techniques de dilution et de dispersion :	75
V.4.1.2. Réutilisation et Recyclage des saumures :	75
V.5. Réutilisation de la Saumure :	76
Conclusion :	77
Conclusion générale	78
Références Bibliographiques	81

Introduction générale

Introduction générale :

L'eau est un élément essentiel à la vie sur la Terre. La survie des humains, ainsi que celle des autres espèces, repose sur un accès régulier à de l'eau propre. Bien que 71 % de la surface terrestre soit recouverte par les océans, les réserves d'eau douce, présentes dans les aquifères, les rivières et les lacs, ne représentent que 3 % de la totalité de l'eau disponible sur notre planète. Si toute l'eau de la Terre était rassemblée, elle pourrait tenir dans une sphère dont le diamètre serait d'environ 1391 km. **(Benbrahim, F.2022)**

La terre est souvent surnommée la "planète bleue" en raison de la couleur dominante de sa surface. Cependant, environ 1 milliard de personnes n'ont pas accès à l'eau potable, et chaque année, 4 millions de personnes meurent en raison de ce manque d'accès. Le problème principal réside dans le fait que seulement 3% de l'eau totale est douce, et que seule une partie de cette eau est facilement accessible et utilisable. **(FAQ) (Benbrahim, F. 2022).**

Ces dernières années, l'accessibilité des ressources en eau a connu une diminution à l'échelle mondiale, liée à diverses raisons telles que les actions humaines et les éléments naturels. Cette situation pourrait provoquer un défi de sécheresse, ayant des conséquences sur le futur des activités humaines. **(BETTAHAR, S.2025).**

La majorité des nations utilisent le dessalement de l'eau de mer, une méthode qui permet d'obtenir de l'eau douce à partir d'une eau saumâtre ou salée (notamment eau de mer). L'eau ainsi dessalinisée peut servir à divers usages tels que : la consommation humaine, l'industrie, l'irrigation, production d'eau en bouteille, ou encore la production de l'eau distillée. Environ 177 pays dans le monde recourent à ce processus de production d'eau, y compris des pays de premier plan comme l'Arabie Saoudite, les Etats-Unis, les émirats arabes unis, l'Espagne, Singapour, la chine...etc. **(Zerouki, MA.2024).**

L'Algérie est parmi les pays qui utilisent le procédé de dessalement de l'eau de mer. Elle a conçu un plan stratégique dans ce domaine, commencé par l'établissement de 23 stations divisées le long d'un littoral mesurant plus de 1600 Km. A la Suite à cette expérience, entre 2003 et 2011, 14 majeures installations dotées d'une capacité totale de 1, 940,000 m³/j ont été mises en œuvre. Il est à noter que la plus grande station a été ouverte en juillet 2016 avec une capacité de 500,000 m³/j, et c'est la station **d'El Magtaa TMM « TAHLYAT MYAH MAGTAA »** (située dans la wilaya d'Oran).

D'après les spécialistes, la production d'eau au travers du dessalement de l'eau de mer en Algérie a augmenté, passant 500.000 m³/j en 2011 à 2.58 millions en 2020. **(ZEROUKI, MA.2024).**

Introduction générale :

L'osmose inverse constitue une technologie appliquée pour le dessalement de l'eau de mer. Ce procédé génère de grandes quantités de saumure concentrée qui sont régulièrement déversées en mer sans traitement approprié. Ces rejets, riches en sels et parfois en produits chimiques. **(BETTAHAR, S.2025).**

Malgré ses avantages socio-économiques, cette technologie qui défend la sécheresse n'est pas sans impact sur l'environnement marin, déséquilibrer la stabilité écologique des fonds marins, affecter la biodiversité marine et nuire à des habitats sensibles. **(BETTAHAR, S.2025)**

Ce mémoire a pour objectif d'étudier les paramètres physico-chimiques de la saumure issue de l'usine de dessalement d'eau de mer d'El Magtaa (Wilaya d'Oran) d'une capacité de 500 000 m³/j, ainsi que son impact sur l'environnement.

Ces impacts sont essentiellement issus de la saumure rejetée durant le processus du dessalement, mais également des rejets de produits chimiques utilisés pour le nettoyage des modules d'osmose inverse. Effectivement, ces rejets pourraient provoquer des risques possibles à l'environnement écologique (milieu marin). Malgré le nombre limité d'études sur le sujet, l'élimination des concentrés en mer nécessite une attention spécifique et une analyse scientifique des impacts sur la faune et la flore marines. **(BEDANI, DJ.2016).**

Après cette introduction générale, le premier chapitre est consacré à une étude bibliographique sur le dessalement dans le monde et dans l'Algérie, suivi du second chapitre présentant en détails les différents procédés de dessalement.

Dans le troisième chapitre l'impact négatif du dessalement de l'eau de mer sur l'environnement et la vie marine, suivi du quatrième chapitre matérielle et méthode consiste à la présentation de la station de dessalement **d'EL MAGTAA TMM « TAHLYAT MYAH MAGTAA »**. Dans le cinquième et dernier chapitre, résultats et discussion, On donnera quelques résultats des analyses de l'eau de mer et de l'eau de rejet (la saumure) comparée en trois périodes (2019/2025/2026), et des propositions pour minimiser les impacts des rejets des saumures. Qui sera clôturé par une conclusion générale.

Chapitre I

Dessalement à l'échelle mondiale et en Algérie

Chapitre I : Dessalement dans le monde et dans l'Algérie :

I. Introduction :

Les ressources conventionnelles souterraines sont menacées d'épuisement ou de dégradation, tandis que la nécessité en eau potable continue d'augmenter. Le dessalement d'eau de mer ou d'eau saumâtre parmi les options envisagées pour réduire la surexploitation des nappes, et fournir une source supplémentaire d'eau de bonne qualité. Le dessalement représente donc l'un des défis principaux pour le développement économique et social du pays. (BEDANI, Dj. 2016)

Le processus dessalement est également connu sous le nom de dessalage. Il consiste à séparer l'eau et les sels à partir d'une eau brute, qui peut provenir soit de l'eau de mer, soit d'une eau saumâtre d'origine continentale. (BEDANI, Dj. 2016)

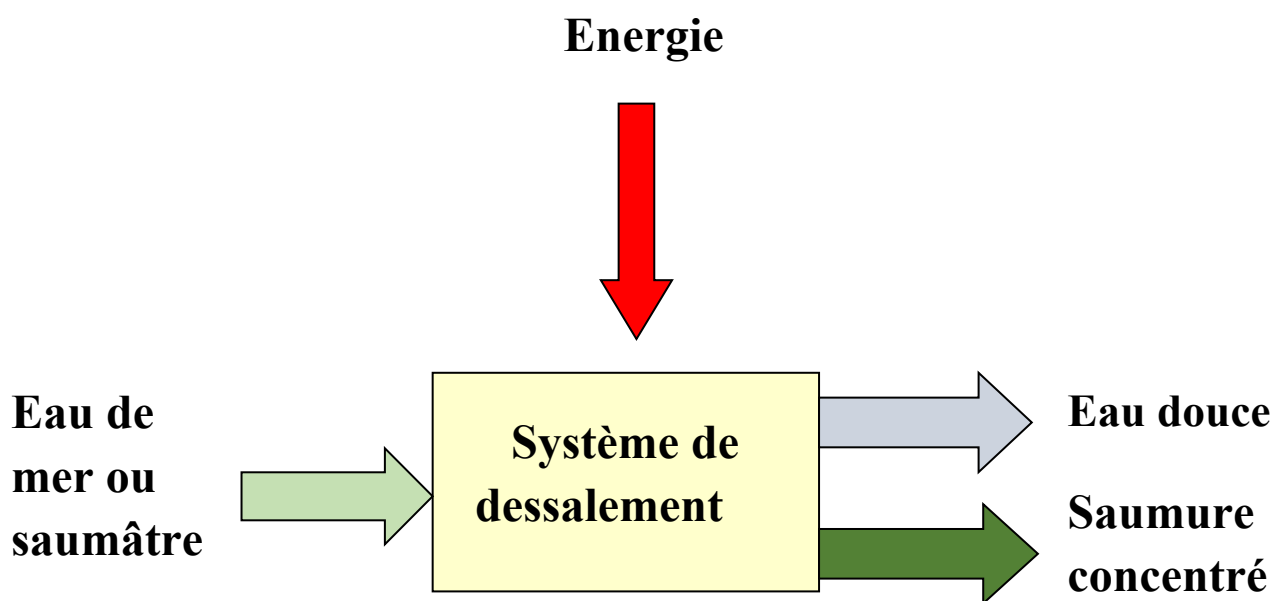


Figure 01 : Principe d'un système de dessalement

I.1. Le dessalement dans le monde :

Constitue une solution technologique majeure face aux problématiques liées à la rareté des ressources en eau douce, l'Association Internationale de Dessalement (IDA) présente les informations suivantes, en 2019 :

- 20 516 usines de dessalement dans le monde ;
- Environ de 122,32 millions de mètres cubes d'eau dessalée produits par jour ;
- Plus de 300 millions de personnes dépendent de l'eau douce produite par dessalement ;
- 175 pays où le dessalement est pratiqué.

Chapitre I : Dessalement dans le monde et dans l'Algérie :

Tout comme la répartition des ressources en eau dans le monde, le dessalement montre une répartition géographique inégale. Environ de 48% de la production mondiale de dessalement se concentre au Moyen-Orient, et plus particulièrement dans les pays du golfe. L'Amérique en représente 19%, l'Asie 14%, l'Europe juste de 6%, alors que l'Afrique est encore moins représentée.

Une répartition indicative des capacités totale de dessalement à travers le globe exprimé en m³/jr et en % et met une évidence non seulement l'ampleur mais aussi la dépendance régionale envers cette technologie. Ces capacités incluent diverses sources d'eau destinées au traitement, (eau de mer, eaux saumâtre, eaux usées). (BETTAHAR, S.2025)

Il est également essentiel de souligner que les usines de dessalement d'eau de mer ne se contentent pas de produire de l'eau douce, elles produisent aussi un sous-produit « la saumure ». Cette forte concentration saline nécessite une gestion appropriée en raison de ses répercussions potentielles sur les écosystèmes marins et côtiers.

Ainsi, si le dessalement est une solution clé pour répondre aux besoins mondiaux en eau potable, il pose également des défis environnementaux importants qui nécessitent des actions concentrées et des innovations technologiques pour en atténuer les impacts. (Benbrahim, F.2022)

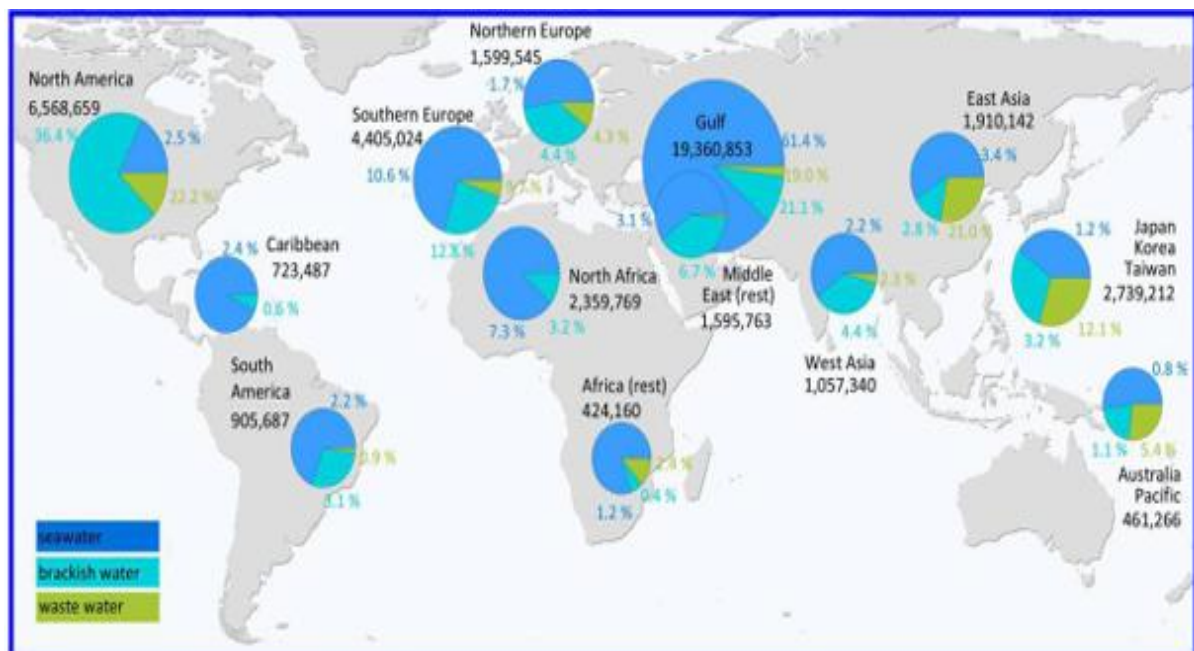


Figure 02 : Capacité globale de dessalement en m³/j et %. (BETTAHAR, S.2025)

I.2. Dessalement en Méditerranée :

Le dessalement en Méditerranée joue un rôle clé dans la production d'eau douce, à travers des eaux de mer avec une capacité globale d'environ 4.0 Millions m³/jour, (14% de la capacité mondiale), l'Espagne se distingue en étant le troisième plus grand producteur d'eau dessalée à l'échelle mondiale et le principal pays en matière de dessalement dans la région méditerranéenne, contribuant à 8% de la production mondiale.

Alors que les procédés thermiques dominent dans les régions du Golfe et de la mer rouge, le procédé le plus fréquent dans la Méditerranée est l'osmose inverse avec plus de 70%.

La figure ci-dessous représente la capacité du dessalement dans la région de la méditerranée avec les procédés utilisés. (BETTAHAR, S.2025)

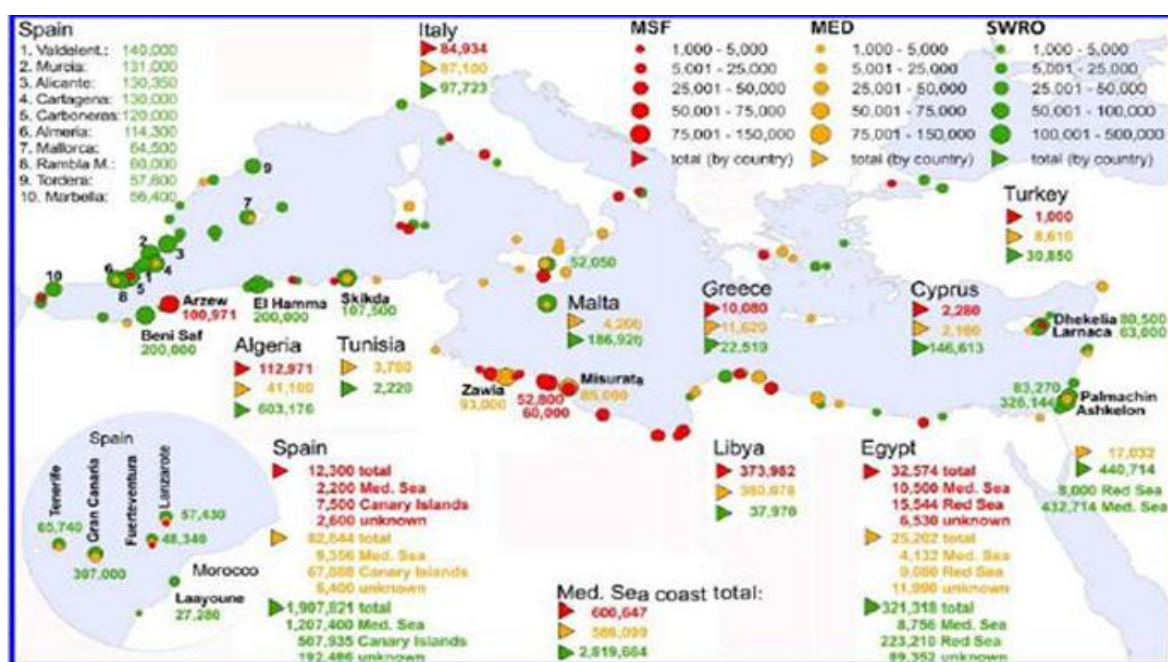


Figure 03 : Capacités cumulatives de MSF, MED et SWRO en Méditerranée en m³/j. (BETTAHAR, S.2025)

L'usine d'El Magtaa dans l'ouest de l'Algérie dans le littoral de la méditerranée représente la plus grande usine de dessalement par osmose inverse dans le monde, avec une capacité de production de 500000 m³ par jour. (BETTAHAR, S.2025)

I.3. Dessalement en Algérie :

Le dessalement de l'eau de mer en Algérie est une composante essentielle de la stratégie nationale pour assurer la sécurité hydrique du pays. Face aux défis posés par le changement climatique, la rareté des ressources en eau douce et la croissance démographiques, l'Algérie a investi massivement dans le développement de cette technologie. L'Algérie dispose d'un réseau

Chapitre I : Dessalement dans le monde et dans l'Algérie :

de stations de dessalement réparties sur son littoral, tout en adoptant un programme ambitieux pour augmenter leurs capacités de dessalement grâce à la construction de nouvelles installations.

a. Capacité Actuelle :

Le littoral de l'Algérie compte actuellement 25 stations de dessalement opérationnelles, ce qui la place en tête des pays africains dans ce domaine. Ces infrastructures sont réparties sur les 14 wilayas côtières sous la gestion Ministère des Ressources en Eau (MRE). Elles assurent environ 18% des besoins en eau du pays et approvisionnent près 6 millions de personnes avec un volume de 2,6 millions m³/jour. (BENSLIMANE, N. ET AMIROUCHE, M. 2025)

b. Technologies :

Les usines de dessalement reposent principalement sur la technologie de l'osmose inverse, un procédé largement adopté et mis en œuvre par Sonatrach et sa filiale Algerian Compagny, qui assure la supervisent des nouvelles stations. (BENSLIMANE N, ET AMIROUCHE, M. 2025)

c. Objectifs Futurs :

L'Algérie aspire à porter la couverture de ses besoins en eau potable grâce au dessalement à 62%. A plus long terme, l'eau potable issue du dessalement devrait couvrir 60% d'ici 2030. Par ailleurs, le 23 avril 2024, le ministre algérien des Mines et de l'Énergie a annoncé l'intention de valoriser le sel produit lors du processus de dessalement de l'eau de mer. Cette initiative sera menée par l'Entreprise nationale des sels (Enasel), une filiale du groupe industriel public SONAREM. (BENSLIMANE, N. ET AMIROUCHE, M. 2025)

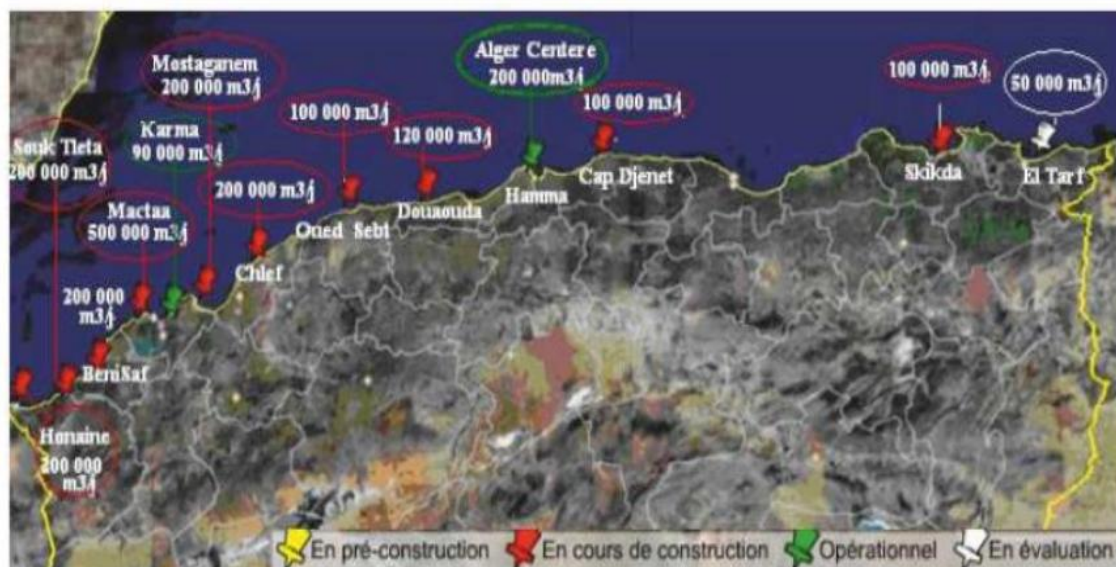


Figure 04 : Emplacement géographique des stations de dessalement en Algérie.
(BEDANI, DJ.2026)

Chapitre I : Dessalement dans le monde et dans l'Algérie :

d. Les principales unités de dessalement :

Les grandes unités de dessalement sont représentées dans le tableau suivant :

Tableau 1. Représente les Usines de dessalement de l'eau de mer en Algérie.
(BETTAHAR, S.2025)

Station	Localisation	Procédé	Capacité de production [m³/jour]	Date de mise en service
Ténès	Chleff	Osmose Inverse	200 000	Juin 2015
Souk tlata	Tlemcen	Osmose Inverse	200 000	Avril 2011
Skikda	Skikda	Osmose Inverse	100 000	Mars 2009
Mostaganem	Mostaganem	Osmose Inverse	200 000	Mars 2011
Macta	Oran	Osmose Inverse	500 000	Juillet 2016
Honaïne	Tlemcen	Osmose Inverse	200 000	Juillet 2012
Fouka I	Tipaza	Osmose Inverse	120 000	Juillet 2011
El Marsa	Alger	Osmose Inverse	60 000	Juillet 2022
El Hamma	Alger	Osmose Inverse	200 000	Juillet 2008
Corso	Boumerdes	Osmose Inverse	80 000	Janvier 2023
Cap Djinet I	Boumerdes	Osmose Inverse	100 000	Juillet 2012
Béni Saf	Ain T'émouchent	Osmose inverse	200 000	Mars 2010

Chapitre I : Dessalement dans le monde et dans l'Algérie :

Bateau Cassé	Alger	Osmose Inverse	10 000	Avril 2022
Fouka II	Tipaza	Osmose Inverse	300 000	Février 2025
El Taref	El Taraf	Osmose Inverse	300 000	Février 2025
Cap Blanc	Oran	Osmose Inverse	300 000	Février 2025
Cap Djanet II	Boumerdes	Osmose Inverse	300 000	Février 2025
Tighremt	Bejaïa	Osmose Inverse	300 000	En construction

I.4. Nouvelles stations :

Cinq nouvelles stations sont en cours de réalisation à d'El Tarf, Bejaïa, Boumerdè, Tipaza et Oran, avec une capacité cumulée de 1,5 million de mètres cubes par jour. (BENSLIMANE, N. ET AMIROUCH, M. 2025)

I.5. Etapes de dessalement de l'eau de mer :

Le processus de dessalement d'eau de mer se fait en quatre étapes :

- Une prise d'eau de mer ;
- Le prétraitement ;
- Une installation de dessalement ;
- Le post traitement ou minéralisation ; (BEDANI, DJ. 2016)

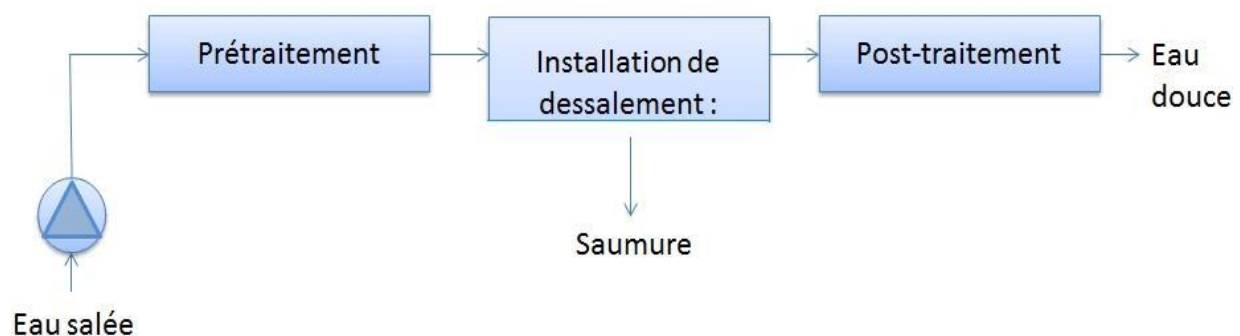


Figure 05 : Présentation d'une installation de dessalement (BEDANI, DJ. 2016)

Chapitre I : Dessalement dans le monde et dans l'Algérie :

I.5.1. Prise d'eau de mer :

La prise d'eau de mer peut être réalisée soit par une prise directe, soit par des puits côtiers. L'utilisation de puits côtiers permet d'obtenir une eau moins turbide, réduisant ainsi la charge sur les unités de prétraitement de la station de la station.

I.5.2. Prétraitement :

Le prétraitement inclut les étapes suivantes :

- a) **La chloration** : Cette étape vise à inactiver les micro-organismes tels que les bactéries, micro-algues, les champignons, afin de protéger les installations de dessalement.
- b) **Le dégrillage** : un procédé physique pour retirer les gros déchets et garantir la sécurité des équipements installés en aval.
- c) **Le micro-tamissage** : un procédé physique permettant l'élimination des micro-organismes présents dans l'eau.
- d) **La filtration** : La filtration gravitaire et utilisée pour traiter les débits plus élevés, afin de protéger les pompes et d'autres équipements.
- e) **L'anti-tartrage** : Cette étapes précède la phase de passage dans les membranes afin de disperser les carbonates de calcium et éviter les incrustants (entartage). (Benbrahim, F.2022)

I.5.3. Installation de dessalement :

- a. **Procédés de distillation** : L'eau de mer est chauffée pour générer de la vapeur, qui est ensuite condensée afin d'obtenir une eau pure.
- b. **Procédés membranaires** : L'eau et les sels dissous sont séparés au moyen de membranes sélectives. (Benbrahim, F.2022)

I.5.4. Post traitement ou minéralisation :

En général, Le poste traitement comprend deux étapes principales : l'ajustement du pH et la chloration.

a. Ajustement de pH

L'eau obtenue après dessalement est souvent agressive, avec un pH inférieur à celui de saturation. La correction du pH se fait par une solution alcaline, automatiquement par une fonction du pH. (BEDANI, DJ.2016)

b. Chloration

Une phase de désinfection est nécessaire pour éviter toute contamination ou développement biologique. Parmi les diverses méthodes disponibles, la chloration, via une solution d'Hypochlorite de sodium (eau de Javel), est la plus répandue en Algérie. Ce procédé est privilégié pour sa simplicité d'application, son efficacité à maintenir un résidu actif de chlore durant la distribution de l'eau. Bien que son efficacité dépende en partie des caractéristiques chimiques de l'eau traitée, elle offre une protection contre toute nouvelle contamination pendant le transport ou le stockage de l'eau. **(BEDANI, DJ. 2016)**

Chapitre II

Les différents procédés de dessalement

II. Introduction :

Dans le domaine de la gestion de la qualité totale, un processus désigne une méthode ou une technique utilisée pour accomplir une tâche spécifique. Il s'agit généralement de transformer des intrants, tels que des matières premières ou des ressources humaines, en extrants, tels que des produits finis ou du personnel formé.

Dans le cas du dessalement de l'eau de mer, quel que soit le procédé utilisé, le principe général reste le même : l'eau de mer est introduite dans une unité de dessalement et une certaine quantité d'énergie est fournie pour extraire de l'eau douce ainsi que de la saumure, qui est l'eau de mer plus concentrée. Ce processus consiste à transformer une substance (l'eau de mer) en d'autres substances (l'eau douce et la saumure) présentant des caractéristiques spécifiques.

On utilise principalement deux procédés pour le dessalement de l'eau de mer : les procédés membranaires et les procédés thermiques. Ces techniques ont connu un important développement industriel à partir de la deuxième moitié du 20^{ème} siècle. Depuis, la visibilité académique et industrielle pour ces techniques a significativement augmenté, provoquant des avancements en termes de fiabilité et de leurs performances, ainsi qu'une diminution des coûts liés à la production d'eau douce. (Maache, y. ET kaikaa, A. 2023).

II.1. Les différents procédés de dessalement :

Le dessalement est le processus qui vise à retirer les sels présents dans l'eau salée ou saumâtre. Diverses techniques de dessalement sont disponibles sur le marché international, selon l'énergie utilisée pour l'exploitation des unités de dessalement. (BETTAHAR, S.2025).

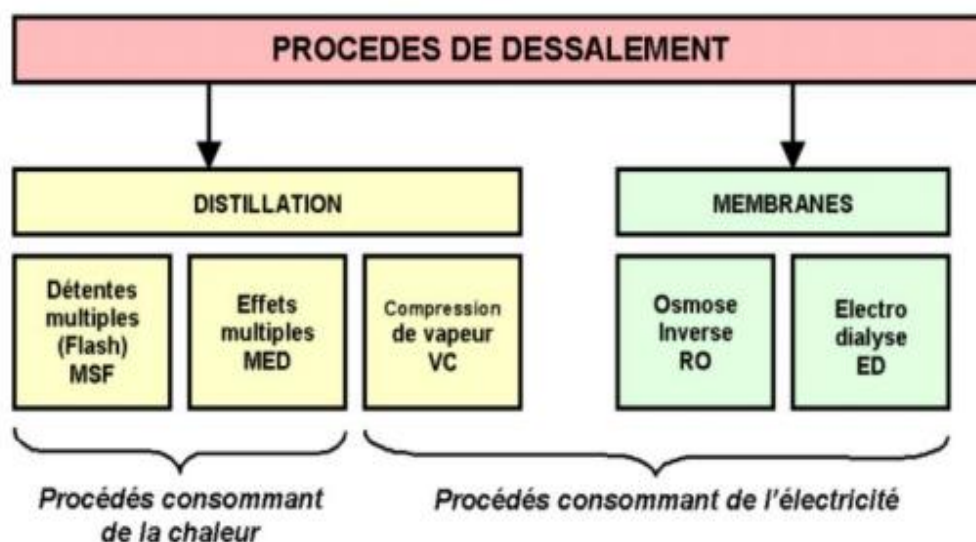


Figure 06 : Les divers procédés de dessalement (BETTAHAR, S.2025)

Chapitre II : les différents procédés de dessalement

Les deux principales techniques de dessalement sont :

1. Les procédés thermiques, qui basés sur le principe d'évaporation et de condensation successives.
2. Les techniques membranaires, qui exploitent les propriétés de certaines membranes capables de retenir les particules dissoutes dans l'eau. (BETTAHAR, S.2025).

II.2. Procédé thermique :

II.2.1. La distillation :

La distillation thermique est la méthode la plus répandue pour dessaler l'eau de mer. Elle consiste à chauffer l'eau jusqu'à ce qu'elle s'évapore. Les sels et autres impuretés restent dans le bassin, tandis que la vapeur est capturée, puis condensée pour obtenir de l'eau douce. Cette technique repose sur un principe simple utilisé depuis des nombreuses années. Elle se base sur l'ébullition de l'eau à une température inférieure en présence d'une pression plus élevée. Habituellement, cette technique s'appuie sur la distillation sous vide, ce qui permet de traiter l'eau à des températures inférieures à 120°C. (BETTAHAR, S.2025).

II.2.1.1. Distillation à simple effet :

Ce procédé imite le cycle naturel de transformation de l'eau, adapté à un contexte contrôlé. Dans une enceinte close, un serpentin de réchauffage élève la température de l'eau de mer jusqu'à provoquer son ébullition. La vapeur produite est ensuite condensée lorsqu'elle entre en contact avec un second serpentin refroidi par une circulation d'eau de mer à basse température. Un groupe électropompe et chargé d'extraire l'eau condensée, tandis qu'un autre système assure l'évacuation de l'eau de mer résiduelle, désormais enrichie en sels dissous du fait de l'évaporation. (BEDANI, DJ.2016).

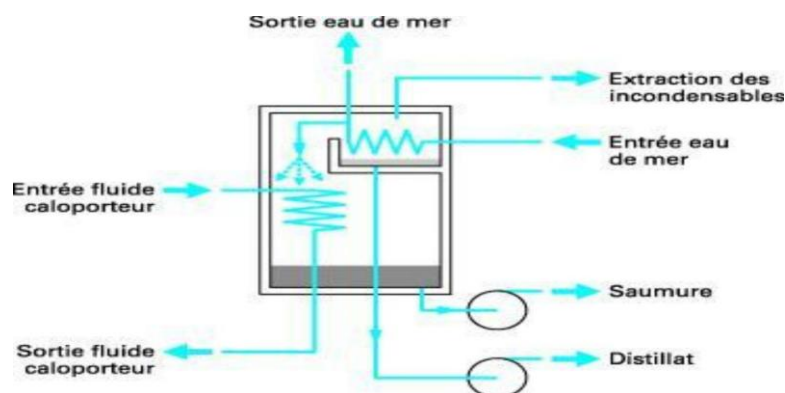


Figure 07 : Distillation à simple effet. (BEDANI, DJ.2016)

Chapitre II : les différents procédés de dessalement

II.2.1.2. Distillation à multiples effets (MED) :

La distillation multi-effets (MED) reprend le principe de la distillation simple effet, avec pour différence principale l'utilisation de plusieurs unités (ou effets) installées en parallèle. Dans la première unité, la plus chaude, un fluide caloporteur élève la température de l'eau de mer jusqu'à ce qu'elle s'évapore, produisant une vapeur. Cette vapeur est ensuite utilisée comme source de chaleur pour chauffer l'eau de mer dans l'unité suivante. Ce cycle se poursuit de manière séquentielle, chaque unité utilisant la vapeur produite par la précédente pour chauffer l'eau de mer qu'elle contient. En sortie, l'eau douce obtenue est collectée dans des bassins dédiés, tandis que la saumure est évacuée. A mesure que le processus progresse d'une unité à l'autre, la pression et la température diminuent progressivement, optimisant ainsi l'efficacité du système. (BETTAHAR, S.2025).

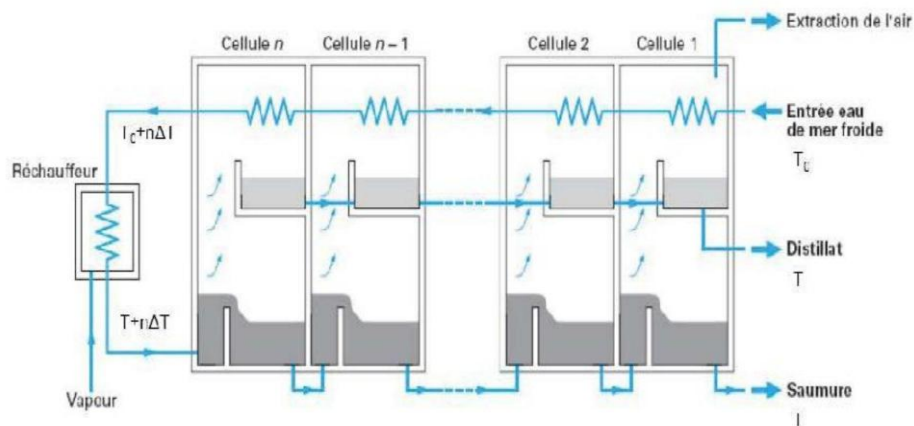


Figure 08 : Distillation à multiples effets. (BEDANI, DJ.2016)

II.2.1.3. Distillation par compression de vapeur :

La méthode de compression de vapeur se distingue par sa faible consommation d'énergétique dans la production d'eau douce.

Ce procédé implique de chauffer de l'eau salée dans un environnement clos, générant ainsi de la vapeur. Cette dernière est captée par un compresseur qui l'amène à une température de 138°C. Par la suite, elle est refroidie et condensée, permettant la récupération d'eau douce, issue du processus d'ébullition de l'eau salée. (BETTAHAR, S.2025).

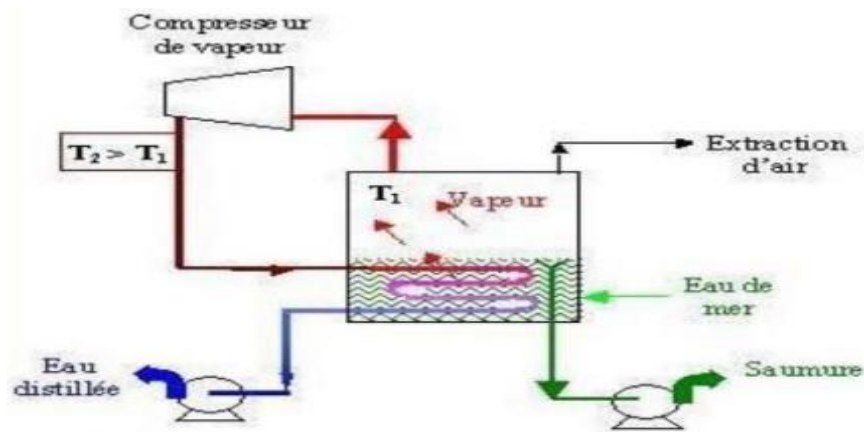


Figure 09 : Distillation par compression de vapeur (BETTAHAR, S.2025)

II.3. Procédés membranaires :

Plutôt que d'obtenir l'eau douce à partir de l'eau de mer par évaporation, on pourrait envisager d'utiliser des membranes sélectives pour séparer l'eau et les sels dissous. Actuellement, deux techniques exploitant ces membranes sont mises en vente. Il s'agit de l'électrodialyse et l'osmose inverse. (BEDANI, DJ.2016).

II.3.1. L'électrodialyse :

Le processus de l'électrodialyse s'appuie sur des membranes pour déplacer les ions issus des sels dissous, ce phénomène étant guidé par un champ électrique qui oriente les cations en directions de l'électrode négative et les anions vers l'électrode positive. Les usines comportent des compartiments superposés de membranes anioniques et cationiques, où chaque deuxième compartiment contient de la saumure concentrée et un sur deux renferme de l'eau purifiée. (BETTAHAR, S.2025).

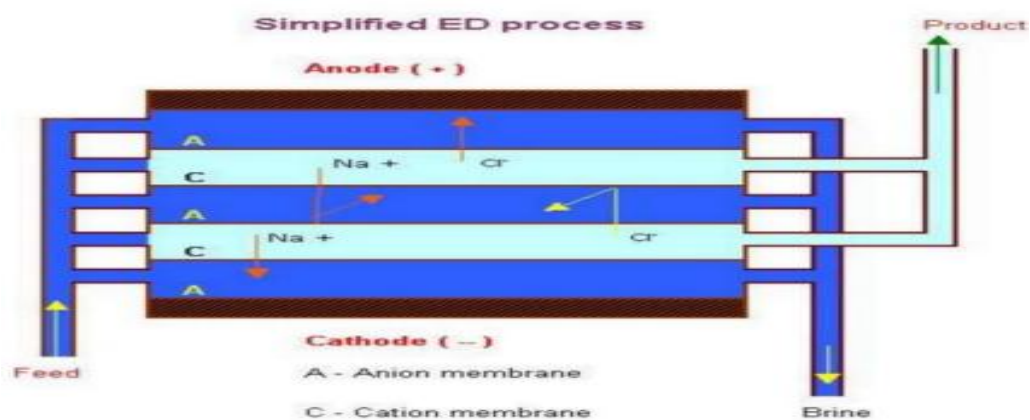


Figure 10 : Procédé d'électrodialyse simplifié. (BETTAHAR, S.2025)

II.3.2. L'osmose inverse (RO) :

L'osmose inverse est une technique qui utilise une membrane hydrophile pour transformer de l'eau salée en l'eau douce, sans qu'un changement de phase. Le procédé repose sur une pression exercée sur l'eau, supérieure à celle dernière à passer à travers la membrane. Ce processus retient les sels dissous, augmentant ainsi leur concentration dans l'eau restante. L'énergie est exploitée de manière efficace grâce à un échangeur de pression qui transfère celle-ci à la saumure résiduelle, réduisant ainsi les coûts d'exploitation. En général, la pression nécessaire pour réaliser le procédé varie entre 50 bars pour le dessalement de l'eau de mer et 20 bars celui de l'eau saumâtre.

La pression osmotique dépend principalement de la quantité de solutés présents. Un système de dessalement utilisant l'osmose inverse est généralement structuré en quatre étapes essentielles :

- Prétraitement de l'eau.
- Pompage haute pression vers les membranes .
- Séparation des membranes.
- Post-traitement.

La figure (11) présente le fonctionnement d'un système de dessalement par osmose inverse. Ce type de système reste toutefois onéreux. Sans dispositif de récupération d'énergie, le procédé peut consommer entre 6 et 8 kWh/m³ d'eau produite. Cependant, l'intégration de système de récupération d'énergie peut réduire cette consommation à environ 4-5 kWh/m³. Malgré son efficacité, ce procédé peut faire face à des défis, notamment au stade du prétraitement, où les membranes peuvent s'encrasser. De plus, la température de l'eau ne doit pas dépasser 40°C afin éviter tout dommage sur les membranes du système. (BETTAHAR, S.2025).

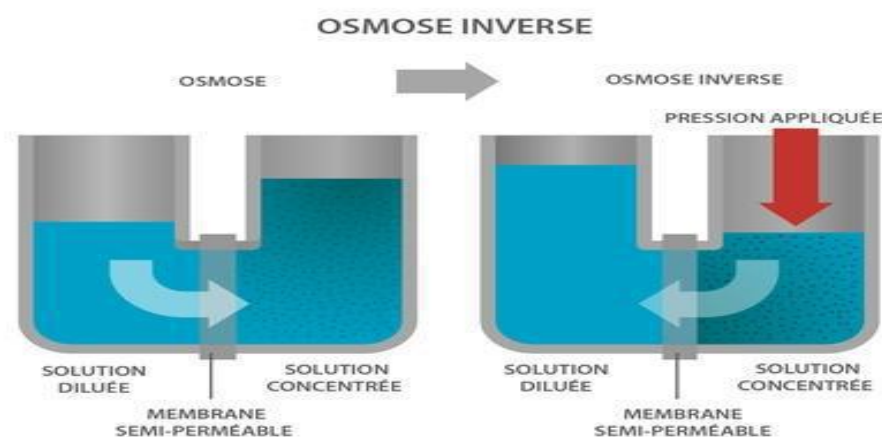


Figure 11 : Principe des phénomènes d'osmose et d'osmose inverse.
(Chatkaew, 2009)

II.3.3. Principe de l'osmose inverse :

a. Définition de l'osmose

L'osmose repose sur un principe clé : la recherche de l'équilibre. Lorsqu'on met en présence deux liquides ayant des concentrations différentes en substances dissoutes, ils tendent à se mélanger naturellement de manière à égaliser leurs concentrations respectives.

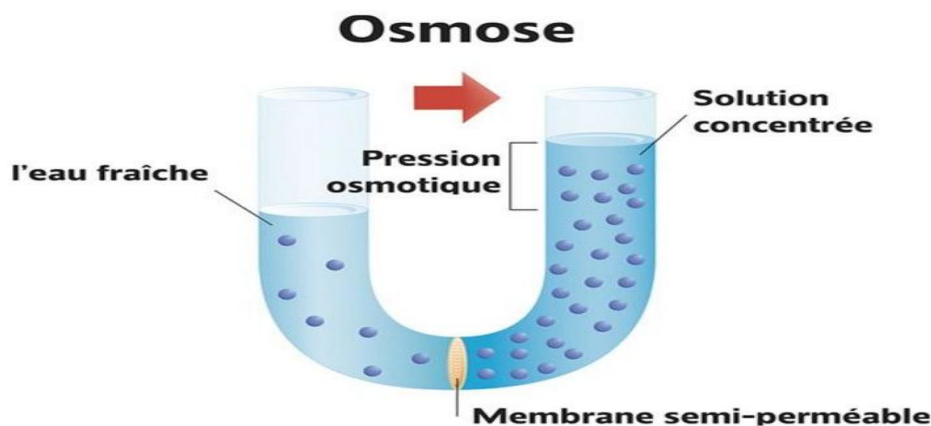


Figure 12 : Phénomène de l'osmose.

Si ces deux liquides sont séparés par une membrane semi-perméable (une structure qui laisse passer le liquide tout en retenant les solutés), le liquide ayant la concentration en solutés la plus faible traversera la membrane pour rejoindre celui dont la concentration est plus élevée. Après un certain temps, le niveau de liquide sera plus important d'un côté de la membrane que de l'autre. Cette différence de hauteur entre les deux cotés est ce qu'on appelle la pression osmotique. (Maache y ; Kaikaa A. 2023).

b. Définition de l'osmose inverse :

L'osmose inverse est un processus permettant de séparer l'eau de mer et ses sels minéraux à l'aide de membranes semi-perméables, en appliquant une pression élevée comprise entre (60 à 70 bars).

Ce procédé s'effectue à température ambiante, sans entraîner de changement d'état physique.

Les membranes utilisées ne laissent passer que les molécules d'eau, bloquant ainsi les particules solides, les sels minéraux les molécules organiques, afin d'assurer un équilibrer des concentrations.

La différence de concentration crée une pression appeler pression osmotique, pour augmenter cette différence il faut appliquer une pression supérieure à la pression osmotique.

Chapitre II : les différents procédés de dessalement

L'énergie nécessaire pour fonctionner est essentiellement d'origine électrique, principalement consommée par les pompes à haute pression qui permettent de maintenir le système opérationnel. (MABROUKI A ; BOUKHORS A. 2018).

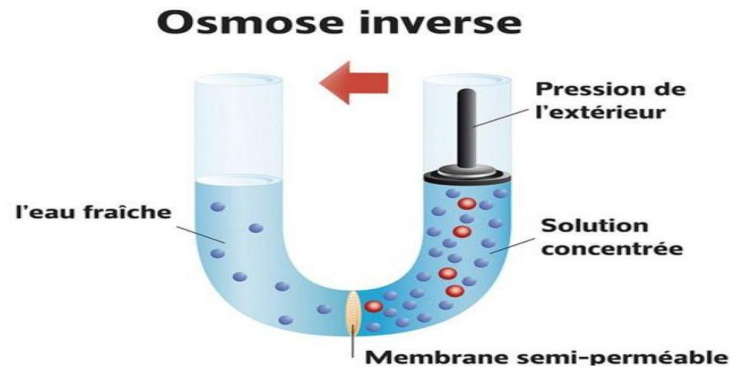


Figure 13 : Phénomène de l'osmose inverse.

b.1.Installation d'osmose inverse :

Les composants fondamentaux d'un système d'osmose inverses se composent des éléments suivants :

- La membrane proprement dite.
- Le module.
- La pompe haute pression (HP).
- Le système de récupération d'énergie.



Figure 14 : Principe d'osmose inverse.

b.2.Membranes d'osmose inverse :

Une membrane d'osmose inverse est une barrière physique mince qui régule le transfert de substances chimiques entre les deux milieux séparés. Cette barrière peut être homogène au niveau moléculaire, présentant une composition et une structure uniformes, ou être hétérogène, tant chimiquement que physiquement, intégrant des pores de dimensions spécifiques ou des couches successives. Du point de vue de leur classification, les membranes présentent une considérable variété. Elles sont classées en différentes catégories en fonction de leur composition chimique, leur structure et leur forme physique. (BEDANI, DJ.2016).

b.3.Modules d'osmose inverse :

Afin de fonctionner, les membranes doivent être intégrées dans des structures appelées modules. Ces modules nécessitent une enveloppe capable de résister à des niveaux élevés de pression. Les quatre principalement types des modules selon : (BEDANI, DJ.2016)

- **Modules plans**

Ce type est le plus ancien et le plus simple. Les membranes sont empilées en mille-feuilles, séparées par des cadres intermédiaires qui permettent la circulation des fluides. (BEDANI, DJ.2016).

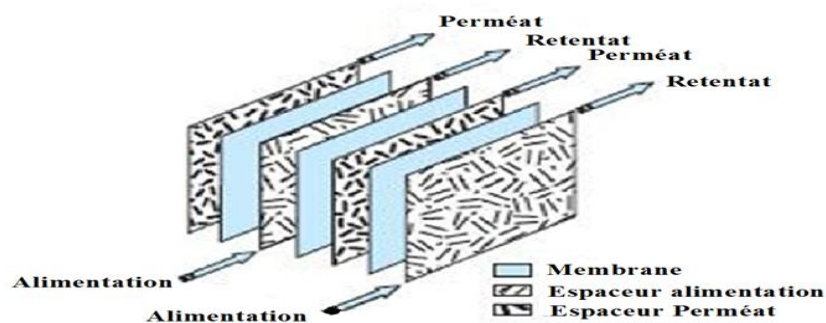


Figure 15 : Modules plans. (RAID H, ET BENALI H, 2017)

- **Modules tubulaires :**

Un module tubulaire est composé de plusieurs tubes, soit disposés en série, soit en parallèle. L'eau à traiter circule à l'intérieur des tubes, tandis que le perméat est collecté à l'extérieur. Les tubes agissent également comme des canaux pour favoriser un écoulement tangentiel efficace. (BEDANI, DJ.2016).

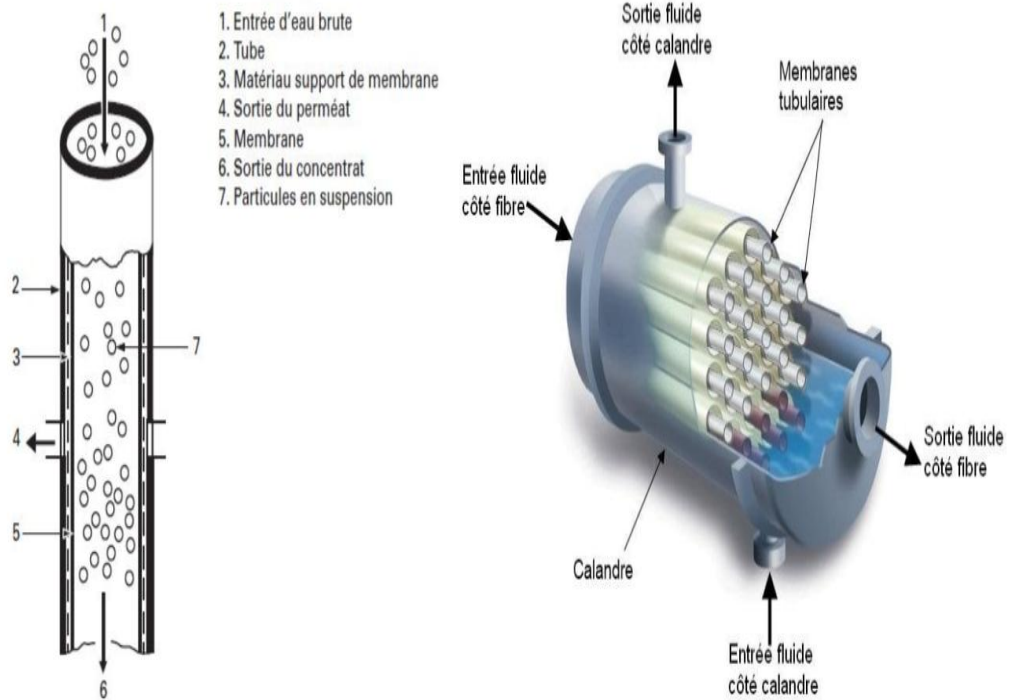
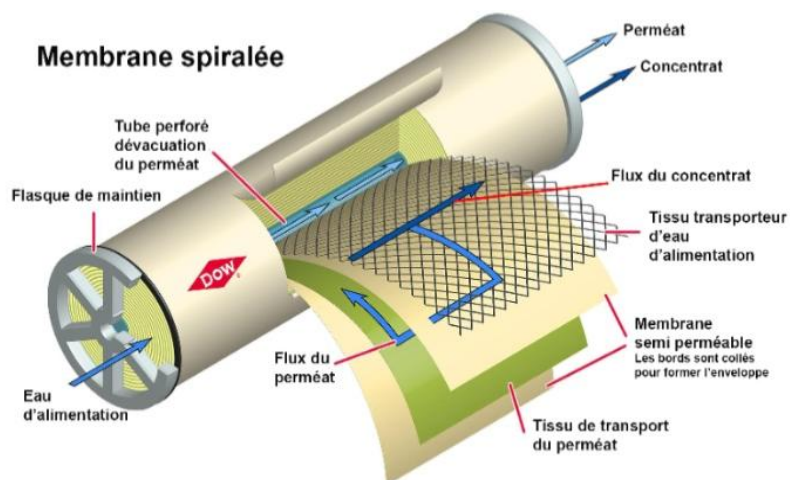


Figure 16 : Modules tubulaires.

- **Modules spirales**

Ces modules spécifient des membranes planes enroulées autour d'un axe creux servant à collecter le perméat. Le tout est inséré dans une enveloppe cylindrique, dont les sections permettent l'accès à l'entrée de l'alimentation et à la sortie du retentât. (BEDANI, DJ.2016)



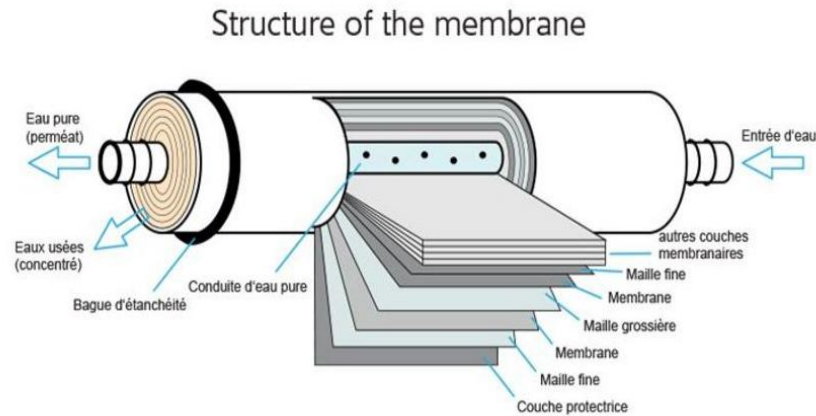


Figure 17 : Modules spirales.

- **Modules à fibres creuses**

Ces modules renferment plusieurs milliers de fibres dont le diamètre avoisine 1mm. Les faisceaux formés sont scellés à leurs extrémités pour garantir une séparation étanchéité entre le compartiment de perméat et celui de l'alimentation. L'alimentation peut être introduite soit à l'intérieur des fibres (interne- externe), soit à l'extérieur (externe-interne), selon la position de la couche active, qui se trouve sur la face interne ou externe des fibres creuse. (BEDANI, DJ.2016)

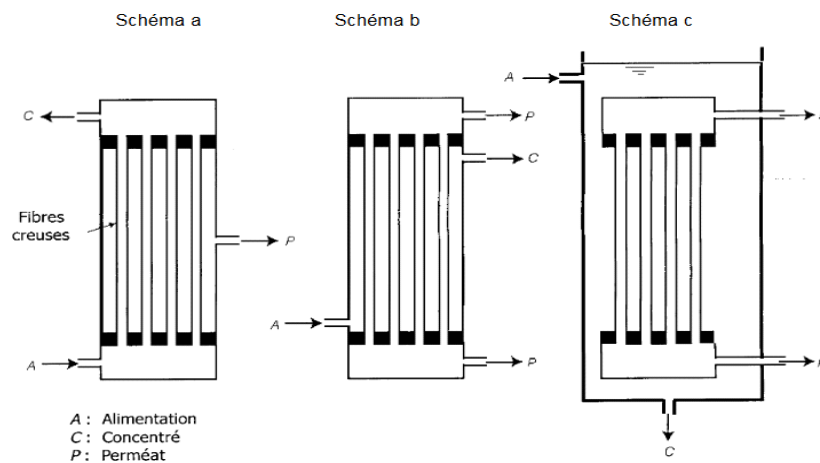


Figure 18 : Modules à fibres creuses. (Maache, Y, ET kaikaa A. 2023)

b.4. Colmatage des membranes et méthodes de nettoyage :

Le Colmatage des membranes entraîne une diminution du flux d'écoulement ou une augmentation de la pression d'opération. Il est essentiel d'identifier la nature et la structure des substances responsables de ce colmatage afin de choisir les agents nettoyants et les conditions d'opération les plus adaptées. On distingue principalement deux catégories de substances comatantes :

- Les résidus solubles dans l'eau, faciles à éliminer par un simple rinçage.
- Les résidus non solubles dans l'eau, formant une couche poreuse et résistante constituée, de sels, de microorganismes, colloïdes, de polysaccharides insolubles, etc.

Le nettoyage des membranes vise à limiter le colmatage irréversible qui affecte leur perméabilité, contribuant ainsi à prolonger leur durée de vie. Les techniques de nettoyage employées sont les suivantes :

- Nettoyage mécanique : cette méthode offre un nettoyage partiel mais rapide. Elle repose sur l'application de forces mécaniques pour retirer les matières accumulées à la surface de la membrane.
- Nettoyage chimique : bien que nécessitant un arrêt périodique du processus de production, cette méthode engendre également des couts liés à l'utilisation des solutions de nettoyage et au traitement des effluents. Elle combine généralement un lavage acide, un lavage basique et des phases de rinçage.
- Nettoyage enzymatique : cette alternative aux traitements chimiques est particulièrement adaptée aux membranes sensibles aux réactifs chimiques, aux variations extrêmes de pH ou aux températures élevées. Cette technique est également efficace dans les cas de colmatage avancé.

(BEDANI, DJ.2016)

b.5.Pompe haute-pression (HP) et système de récupération d'énergie :

Les pompes haute pression utilisées pour alimenter les modules d'osmose inverse dans le processus de dessalement de l'eau de mer, ainsi que les systèmes de récupération d'énergie hydraulique associés au concentrât, constituent des éléments fondamentaux dans le conception des usines de dessalement. Elles représentent des investissements majeurs tout en jouant un rôle crucial dans la consommation d'énergie électrique requise pour leur fonctionnement.

Ces pompes doivent garantir un débit d'eau sous une pression spécifique, tout en minimisant la consommation énergétique. **(BEDANI, DJ.2016).**

II.4. Les rejets des différentes méthodes de dessalement :

Les techniques de dessalement de l'eau de mer produisent des rejets dont les caractéristiques physico-chimiques varient en fonction de la technologie utilisée. La nature, la température et la composition chimique de ces rejets influencent significativement leur impact environnemental, notamment sur les écosystèmes marins côtiers. (BETTAHAR, S.2025)

- **Rejet des saumures :**

Après le processus du dessalement, l'eau est divisée en deux parties :

- Le perméat, qui correspond à l'eau dessalée, et le concentrât, une eau fortement salinisée et généralement rejeté en mer). (BETTAHAR, S.2025).

La saumure issue du dessalement représente un déchet liquide particulier du procédé destiné à la production d'eau potable à partir de l'eau de mer. Ce résidu est non seulement plus dense et plus salin que l'eau de mer d'origine, mais il contient également des résidus des produits chimiques utilisés pour le prétraitement et l'entretien des installations.

Les techniques de dessalement, comme l'osmose inverse, génèrent une saumure encore plus concentrée, avec une salinité comprise entre 50 et 75 grammes par litre, soit 3 à 5 fois celle de l'eau de mer standard. Le débit de la saumure représente environ 55 à 70% du volume d'eau de mer traité dans les usines de dessalement. Si ce rejet est effectué directement dans le milieu marin sans mesures adéquates d'atténuation, il peut engendrer des conséquences écologiques significatives. (YOUSFI A ; CHEDIK L. 2024).

Chapitre III

*Impacts environnementaux
des activités de dessalement*

III. Introduction :

L'augmentation de la capacité de production d'eau potable par dessalement en Algérie, bien qu'indispensable pour garantir une sécurité hydrique durable à l'échelle nationale, s'accompagne des défis environnementaux majeurs. (Kebaili & Taleb, 2020)

Parmi ces enjeux, la gestion des effluents, le plus souvent désignés sous le terme de saumures, représente une problématique écologique centrale et complexe. (Lattemann & Höpner, 2008)

Ce chapitre vise à examiner en détail les propriétés physico-chimiques de ces rejets, leur dynamique hydrodynamique dans le milieu récepteur, ainsi que leurs impacts éco toxicologiques tant directs qu'indirects, sur la biodiversité marine. Une attention particulière est portée aux écosystèmes vulnérables qui caractérisent le littoral oranais, lesquels sont soumis à une anthropisation croissante. Ces analyses reposent sur des contributions scientifiques permettant des mieux comprendre les interactions entre ces saumures et les écosystèmes aquatiques concernés. (Belkahlabor & boutoutaou, 2017 ; Benamar & Boutiba, 2017).

III.1. Caractéristiques physico-chimiques et dynamique de la saumure :

III.1.1. Sur salinité et phénomènes de stratification thermique :

Le processus d'osmose inverse vise à séparer l'eau douce de l'eau de mer, ce qui entraîne une concentration accrue des sels dissous dans le flux de rejet, appelé saumure. Alors que la salinité moyenne de la mer Méditerranée se situe autour de 38 g/L, les rejets des stations de dessalement à grande capacité peuvent atteindre des concentrations comprises entre 60 g/L et 75 g/L (Lattemann et Höpner, 2008).

Cette forte concentration en sels modifie considérablement les propriétés physiques de l'eau, notamment sa densité. La densité de la saumure est bien supérieure à celle de l'eau de mer environnante. Lorsqu'elle est évacuée par l'émissaire de rejet, et en l'absence de dispositif permettant une diffusion active, l'effluent ne se mélange pas immédiatement avec les eaux marines avoisinantes. En raison de l'effet de la gravité, la saumure migre vers le fond marin, formant un "courant de densité" ou encore un panache hyper salin benthique (Fernández-Torquemada et al, 2005).

Ce phénomène de stratification entraîne une isolation de la couche d'eau inférieure, réduisant significativement les échanges gazeux avec la surface et altérant ainsi localement des conditions environnementales.

III.1.2. Les additifs chimiques de procédé :

La saumure générée par les systèmes de dessalement ne se limite pas à une simple solution d'eau de mer concentrée, elle est également enrichie de composés chimiques provenant des étapes

Chapitre III : Impacts environnementaux des activités de dessalement

préalables de traitement et du nettoyage des membranes d'osmose inverse. Ces ajouts chimiques peuvent être regroupés comme suit : (Sadhvani et al, 2005).

- **Les biocides (par exemple, le chlore ou hypochlorite de sodium) :** ces agents chimiques sont introduits en cde prévenir le phénomène de biofouling (colonisation biologique des installations). Malgré une neutralisation partielle avant leur rejet dans l'environnement, des résidus de chlore libre ainsi que des sous-produits dérivés des processus de désinfection, tels que les trihalométhanes, persistent dans l'effluent. (BETTAHAR, S.2025).
- **Les produits anti-tartre :** Ces composés chimiques sont employés pour minimiser les dépôts incrustants, principalement le carbonate de calcium, sur les membranes d'osmose inverse. Toutefois, ces substances se retrouvent intégralement incorporées dans la saumure rejetée. (BETTAHAR, S.2025).
- D'autre part, certains composés tels que les acides polycarbonates et les phosphorâtes se distinguent par leur stabilité chimique et leur faible biodégradabilité. Cette propriété chimique entraîne leur persistance prolongée dans les écosystèmes marins côtiers, augmentant leur impact environnemental à long terme.
- **Produits de nettoyage des membranes :** (acides, bases, détergents) : **utilisés lors des lavages chimiques périodiques (CIP – Clean In Place), provoquant des variations ponctuelles mais significatives du pH dans les effluents.**
- La méthode de nettoyage dépend du type de dépôts. Dans les installations d'osmose inverse (OI), des solutions alcalines (pH 11-12) servent à éliminer les biofilms et dépôts calcaires des membranes, tandis que des solutions acides (pH 2-3) dissolvent les oxydes ou dépôt métalliques.
- Ces produits contiennent souvent des additifs tels que détergents (par exemple, sulfate de dodécyle, sulfonates de dodécylbenzène) ou oxydants (par exemple, perborate de sodium, hypochlorite de sodium) afin d'améliorer leur efficacité.
- Après le nettoyage ou en vue d'un stockage, les membranes sont généralement désinfectées à l'aide de biocides. Les désinfectants utilisés incluent des biocides oxydants (tels que le chlore et le peroxyde d'hydrogène) ainsi que des biocides non oxydants (tels que le formaldéhyde, le glutaraldéhyde ou l'isothiazole).
- En parallèle, dans les installations de distillation, de l'eau de mer chaude et acidifiée est employée pour éliminer les dépôts alcalins sur les surfaces des échangeurs de chaleur. Pour protéger ces installations, des inhibiteurs de corrosion tels que des dérivés du benzotriazole peuvent être ajoutés.

Chapitre III : Impacts environnementaux des activités de dessalement

- Toutefois, il convient de noter que les solutions de nettoyage et leurs additifs peuvent causer des dommages à la faune et la flore a dans le milieu marin sans traitement préalable. (BETTAHAR, S.2025).

III.2. Altération de l'environnement physico-chimique marin :

III.2.1. Hypoxie des fonds marins :

Le développement d'un panache de saumure au fond de l'eau entraîne une diminution critique de l'oxygène dissous, créant un état d'hypoxie. Deux facteurs principaux expliquent ce phénomène : premièrement, l'augmentation de la salinité réduit naturellement la capacité de l'eau à dissoudre l'oxygène, deuxièmement, la stratification benthique empêche le renouvellement des masses d'eau et limite la circulation d'oxygène en provenance des courants de surface (Danoun, 2007).

En conséquence, les sédiments profonds souffrent d'asphyxie.

III.2.2. Modifications locales du pH et eutrophisation :

Les rejets chimiques répétés affectent l'équilibre acido-basique des eaux réceptrices en perturbant la chimie des carbonates marins via des variations du pH. Par ailleurs, le possible rejet de polyphosphates volatils agit comme un engrais en milieu aquatique, favorisant la prolifération excessive d'organismes comme les micro-algues opportunistes. Ce processus contribue à intensifier l'eutrophisation ainsi que la turbidité dans des zones où la circulation de l'eau est faible, amplifiant ainsi les déséquilibres écologiques. (Belkahlabor et al., 2017).

III.3. Impacts écologiques sur la flore marine locale : le cas de la Posidonie

L'écosystème côtier algérien, et plus spécifiquement le littoral de la région d'Oran, constitue un habitat privilégié pour des formations végétales essentielles : les herbiers de *Posidonia oceanica*. Cette plante marine joue un rôle multifonctionnel : elle agit comme une barrière contre l'érosion, un important puits de carbone et une zone de frayère (nursérie) pour de nombreuses espèces de poissons.

La Posidonie, organisme strictement **sténohalin**, est particulièrement sensible aux variations de salinité, s'épanouissant dans une plage stable comprise entre 37 g/L et 38 g/L. Des études majeures, notamment celles menées par Sanchez-Lizaso et al. (2008), ont révélé que des niveaux de salinité plongés au-delà de 40 g/L sont responsables d'une mortalité significative des feuilles.

Sous l'effet de la saumure, cette plante subit un stress osmotique sévère : l'eau contenue dans ses cellules migre vers le milieu externe salin afin d'équilibrer les concentrations. Ce phénomène conduit à une plasmolyse des cellules, une forte réduction de l'activité photosynthétique, la nécrose progressive des extrémités foliaires et, à terme, l'arrachage et la mort des rhizomes. La

Chapitre III : Impacts environnementaux des activités de dessalement

régression des herbiers qui s'ensuit perturbe profondément la chaîne trophique côtière et menace l'équilibre écosystémique. (Sanchez-Lizaso et al. 2008)



Figure 19 : Herbiers de posidonie (Méditerranée)

Diminution de la lumière : La présence d'un fluide hyper salin modifie le coefficient de réflexion de la lumière dans l'eau, engendrant un effet brumeux qui limite la pénétration lumineuse. Cette réduction de la lumière impacte directement les processus photosynthèse des espèces végétales marines environnantes, fragilisant davantage l'écosystème. (Benbrahim, F.2022)

III.4. Impacts éco toxicologiques sur la faune marine :

III.4.1. Effets sur la faune benthique sédimentaire :

Les organismes benthiques, (qui vivent sur ou dans des fonds marins) sont directement touchés par la saumure à cause de leur faible mobilité ou de leur habitat fixé.

- **Les Échinodermes :** L'oursin violet (*Paracentrotus lividus*), présente des capacités très limitées en termes de régulation osmotique. Une augmentation de la salinité dérange l'intégrité de son système aquifère, perturbe les mouvements de ses podia et engendre une toxicité mortelle pour ses larves, ce qui entrave le renouvellement des populations. (Pradoet al. 2012)



Figure 20 : L'oursin violet. (Pradoet al., 2012).

Chapitre III : Impacts environnementaux des activités de dessalement

- **Les mollusques endo fauniques** : les bivalves fouisseurs qui habitent les sables et les limons de la région côtière d'El Magtaa ferment de manière préventive leurs valves afin de se protéger de la salinité excessive. Si cette réponse défensive persiste, elle interrompt leur apport nutritionnel par filtrage, ce qui entraîne une dégradation par famine et une bioaccumulation des métaux ou des additifs chimiques contenus dans les effluents. (Roberts et al, 2010).



Figure 21: les mollusques endo fauniques (Bivalves fouisseurs) (Roberts et al., 2010).

III.4.2. Effets sur l'ichtyofaune (les poissons) et les ressources halieutiques :

Bien que les poissons adultes aient la capacité de fuir les zones thermique ou saline défavorables autour de l'émissaire, cela n'enlève rien à l'importance de l'impact sur leurs cycles biologiques :

- **Perturbation des corridors de migration et des zones de ponte** : les rejets altèrent les indices chimiques sensoriels des poissons. Les espèces de fond ayant une grande valeur commerciale, comme le rouget de roche (*Mullus surmuletus*) ou le pageot (*Pagellus erythrinus*), fuient les régions touchées par la destruction de leurs sources alimentaires benthiques. Les zones impactées en raison de la destruction de leurs sources de nourriture benthique.



Figure 22 : Le Rouget de roche (*Mullus surmuletus*), (Hureau, 1986).



Figure 23 : Le Pageot commun (*Pagellus erythrinus*), (Hureau, 1986).

- **Vulnérabilité des premières étapes de croissance** : les œufs et les larves de poissons, transportés par les courants benthiques profonds, sont incapables d'échapper au cœur de saumures. Le chlore résiduel cause des dommages irréparables sur leurs membranes cellulaires et leurs structures branchiales en formation, ce qui réduit de manière significative le recrutement des populations de poissons locaux (Riera et al., 2012).

III.5. Les effets environnementaux liés au prélèvement d'eau de mer (Intake Impacts) :

L'effet écologique d'une station de dessalement ne contient pas seulement le rejet de la saumure ; il débute dès la phase d'aspiration de l'eau de mer non traitée. Les systèmes de prise d'eau marine de surface (comme c'est fréquemment le cas pour les infrastructures de grande taille) affectent directement les communautés planctoniques et pélagiques grâce à deux processus physiques différents (Pankratz, 2004) :

III.5.1. L'entraînement (Entrainement) :

Ce processus touche essentiellement les petits organismes, tels que le holoplancton (par exemple : les copépodes), le méroplancton (larves de poissons et de mollusques) ainsi que les œufs. Du fait de leur dimension microscopique, ces organismes passent à travers les grilles de pré-traitement de la station. Ils sont donc transportés à l'intérieur du système industriel, où ils rencontrent des pressions mécaniques considérables (forces de cisaillement dans les pompes de haute pression), des chocs thermiques et des traitements biocides (chloration). Le taux de mortalité des décès formés atteint généralement près de 100 % (Lattemann et Höpner, 2008).

Pour une grande station de dessalement, cela équivaut à l'élimination quotidienne de millions de larves, diminuant directement le renouvellement des espèces de poissons locale.

III.5.2. L'impaction ou collision (Impingement) :

L'impaction désigne un phénomène où des organismes marins de plus grande taille, tels que **les poissons adultes ou juvéniles, les crabes et les crevettes**, sont entraînés par le courant d'aspiration et se retrouvent bloqués contre les grilles d'entrée munies de tamis à mailles fines. Incapables lutter contre la force du courant au niveau de l'embouchure de la prise d'eau, ces succomber, soit asphyxie, soit par épuisement physique (Missimer et al., 2013).

III.6. Techniques pour minimiser les impacts du dessalement sur l'environnement :

Afin de réduire au maximum les effets négatifs des usines de dessalement de l'eau de mer sur l'écosystème marin, plusieurs mesures peuvent être mises en place pour gérer efficacement le rejet des saumures concentrées :

- Pour une dilution optimale de la saumure, il serait préférable de situer le point de déversement loin des plages et des zones rocheuses riches en vie marine. Cela peut se faire grâce à un émissaire sous-marin ou en intégrant des diffuseurs dans les conduits de décharge
- Utilisation de l'eau déchargée de la centrale électrique pour diluer les saumures concentrées (une forte dilution pourrait diminuer la tendance de dessalement au fond).
- Transférer les saumures vers une usine de fabrication de sel. Cette solution présente de nombreux d'avantages à la fois écologiques et économiques.
- L'élimination zéro grâce à une technique d'évaporation des produits concentrés qui permet de produire des résidus secs. Cette solution nécessitera une augmentation essentielle du capital d'investissement et de la consommation d'énergétique.
- Utilisation des énergies renouvelables (solaires) pour le fonctionnement des usines de dessalement et assurer un rejet zéro de la saumure dans les océans (usine de dessalement écologique).
- La conception d'un schéma d'organisation sous-marine des milieux écologiques à conserver dans l'ensemble de la région. Cette donnée doit avoir autant d'importance que les limitations sociales ou économiques lors de la sélection de l'emplacement pour l'installation de l'usine de dessalement. (Benbrahim, F.2022).

• Vers le "Zéro Rejet Liquide" (ZLD) et la valorisation de la saumure

Afin d'utiliser une approche écologique, la saumure ne doit plus être vue comme un déchet, mais plutôt comme une ressource :

- **Extraction de composés à haute valeur ajoutée** : les technologies innovantes telles que l'électrodialyse ou de distillation par membrane offrent la possibilité de récupérer des sels

Chapitre III : Impacts environnementaux des activités de dessalement

industriels (pureté supérieure à 99 %), ainsi que des minéraux stratégiques très prisés tels que le magnésium, le calcium et le lithium très valorisés. (Pérez-González et al., 2012).

- **Utilisation en aquaculture surveillée :** une fois les biocides éliminés, la saumure diluée peut être utilisée pour alimenter des réservoirs d'aquaculture destinés à certaines espèces **halophiles** (comme la micro-algue "Dunaliella salina", riche en bêta-carotène, ou l'artémie), ce qui génère ainsi une valeur économique locale.

III.7. Réutilisation de la saumure en Aquaculture saline :

L'utilisation de l'usage de la saumure en aquaculture se base sur le choix d'espèces euryhalines (qui peuvent résister à d'importantes différences de salinité) ou seulement halophiles. Cette méthode simplifie la dilution ou l'exploitation directe de l'effluent dans des bassins terrestres contrôlés, prévenant ainsi un déversement direct en mer (Sarà et al. 2011).

III.7.1. Élevage de micro-algues à haute valeur ajoutée :

La saumure, riche en nutriments concentrés et en macro-éléments, concentrés, offre un environnement de culture particulièrement favorable à certaines micro-algues. Parmi celles-ci, « *Dunaliella salina* » est l'espèce de référence la plus couramment exploitée. Cette micro-algue unicellulaire est capable d'accumuler des quantités considérablement de bêta-carotène, un antioxydant puissant largement utilisé dans les secteurs pharmaceutique et agroalimentaire, lorsqu'elle est exposée à un stress salin extrême, comparables à celui présent dans une saumure issue du procédé d'osmose inverse. Sa culture à une purification indirecte de l'eau tout en produisant une biomasse à forte valeur commercial. (Pérez-González et al. 2012).

III.7.2. Production d'Artémia (*Artémia salina*) :

« L'*Artémia salina* » est un petit crustacé benthique et pélagique qui se développe exclusivement dans des environnements hypersalins tels que les chotts, les sebkhas, et rejets industriels. Les œufs d'*Artémia* appelés cystes, sont une ressource clé à l'échelle mondiale pour les éclosiers de pisciculture marine, car ils servent à nourrir les larves de poissons (comme le loup de mer ou la daurade). Le développement l'*Artémia* dans les bassins de saumure des stations de dessalement représente une opportunité stratégique pour établir une filière locale dédiée à la production d'aliments pour l'aquaculture nationale dans le cadre de systèmes intégrés (Aquaculture Integrated System).



Figure 24: Adultes d'Artémia salina.

III.7.3. Pisciculture d'espèces euryhalines :

Certaines espèces de poissons consommées couramment possèdent une grande plasticité osmotique, leur permettant de s'adapter à des variations de salinité remarquables. Par exemple, le tilapia du Mozambique et la dorade royale peuvent être élevés dans des effluents de dessalement. Cependant, pour garantir leur survie et leur développement, la saumure doit être préalablement mélangée à des eaux saumâtres ou à des eaux usées traitées, de manière à stabiliser la salinité entre de 40 g/L et 45 g/L. (Sarà et al., 2011).

III.8. Réutilisation de la saumure en Agriculture biosaline :

L'utilisation directe de la saumure sur des cultures conventionnelles est impraticable en raison du risque de choc osmotique léthal et de la salinisation irréversible des sols. Néanmoins, des avancées en science agronomiques ont permis de développer l'agriculture bio saline, qui repose sur la culture de plantes tolérantes au sel (**halophytes**) ou sur des systèmes d'irrigation innovants adaptés à ces conditions extrêmes. (Glenn et al., 1999)



Figure 25: Exemple de zonation de la végétation halophyte au sein d'un écosystème de marais salé (Pennings & Callaway, 1992).

III.8.1. Culture de plantes fourragères halophytes :

Certaines plantes terrestres ont évolué avec des mécanismes physiologiques spécifiques leur permettant de stocker ou d'excréter le sel. Parmi celles qui permettent une valorisation efficace des saumures, on distingue notamment deux genres principaux :

- **La Salicorne (*Salicornia europaea* ou *bigelovii*)** : Cette plante est capable d'être irriguée avec de la saumure pure à 100 %. Elle offre une huile de haute qualité issue de ses graines, particulièrement riche en acide linoléique, tandis que sa biomasse peut être consommée comme légume gastronomique ou utilisée pour produire du biocarburant (Glenn et al., 1999).



Figure 26: Culture de *salicornia brachiata* irriguée à l'eau saline

- **L'Arroche (*Atriplex halimus*)** : Très répandue dans les steppes algériennes, l'*Atriplex* supporte une irrigation avec de l'eau à forte salinité. Lorsqu'elle est irriguée à l'aide de saumures diluées, cette plante fournit un fourrage vert riche en protéine, particulièrement bénéfique pour l'alimentation du bétail, notamment durant les périodes de sécheresse intense.

III.8.2. Systèmes intégrés aquaculture-agriculture (IAAS) :

Le système intégré est considéré comme le modèle le plus performant sur le plan environnemental. Dans ce dispositif, la saumure est d'abord dirigée vers des bassins de pisciculture abritant des tilapias. Les déjections des poissons enrichissent l'eau en azote et en phosphore. Cette eau, est riche en éléments nutritifs et légère salinité. Ensuite est utilisée pour irriguer des cultures adaptées, telles que la salicorne ou l'*atriplex*. Ces plantes jouent un rôle clé comme filtre biologique et sédimentaire, absorbant les nutriments tout en purifiant l'eau. Le résidu final, fortement salin, peut ensuite être transféré vers des bassins d'évaporation solaire pour produire du sel solide, garantissant ainsi une approche (**Zéro Liquid Discharge**) (Boyd, 2015).



Figure 27: Le Tilapia du Mozambique (Sarà et al., 2011).

Conclusion :

L'analyse scientifique des impacts environnement des rejets de saumure révèle un double problématique. D'une part, il existe un stress physique permanent sur l'écosystème marin causé par l'hypersalinité et la dynamique de submersion des fonds marins. D'autre part, une toxicité chimique chronique résulte des additifs industriels contenus dans ces rejets. Les herbiers sous-marins, notamment les posidonies, ainsi que les communautés d'invertébrés benthiques locaux figurent parmi les organismes les plus sensibles à ces perturbations. Pour mieux comprendre et transposer ces analyses théoriques dans un contexte industriel concert, particulièrement sur le littoral algérien, il est essentiel d'étudier les caractéristiques techniques et le milieu récepteur d'une installation représentative.

C'est l'objet du chapitre suivant, consacré au matériel et aux méthodes appliqués à la station de dessalement d'El Magtaa.

Chapitre IV

Matériels et méthodes

IV. Description de la station TMM :

IV.1. Situation géographique :

Le site de l'usine de dessalement d'eau de mer de **Magtaa** (latitude : $35^{\circ}49'$; longitude : $00^{\circ}16' W$; Altitude : 3) est localisé dans la wilaya d'**Oran** (Daïra de Béthioua), commune de **Mers El Hadjadj** au niveau de la ferme MOZA à **03 km** du chef lieu. A **48 km** à l'Est de la wilaya d'Oran et à environ **30 km** à l'Ouest de la wilaya de Mostaganem, le site est sillonné par la route nationale **RN°11** en provenance de Mostaganem et en direction d'Oran. De même le site du projet est situé à **05 km** de la zone industrielle d'**Arzew**. (Tmm, 2008)



Figure 28 : Situation géographique de la station de dessalement TMM. (Tmm, 2008)

IV.2. Cadre climatique :

a) La température : Le climat de la région est méditerranéen tempéré, caractérisé par des températures relativement stables tout au long de l'année.

b) Les vents : Les observations effectuées sur toutes les stations des côtes oranaises indiquent que les vents proviennent principalement des zones Nord et Ouest pendant la saison de pluies, et des directions Nord et Est durant la saison sèche. Les massifs côtiers constituent des barrières naturelles pouvant orienter la direction de circulation des vents. Le golf d'Arzew est exposé principalement aux vents du secteur Nord-Ouest et Nord-Nord-Est, avec une dominance des vents Ouest et Nord-Ouest. Les vents d'Est-Nord-Est soufflent de façon presque continue durant le mois de Mai jusqu'à la fin du mois d'Aout, avec une alternance de brise de terre et de mer. Ces vents présentent une vitesse moyenne variant entre 4 à 5m/s. (Tmm, 2008).

IV.3. Présentation de la station de dessalement d'eau de mer MAGTAA (TMM) :

TAHLYAT MYAH MAGTAA spa par abréviation **TMM**, la plus grande station de Dessalement d'eau de mer en Afrique et au monde, utilisant le procédé de l'osmose inverse. La station située à l'entrée Est de la wilaya d'Oran sur ses limites géographiques avec la wilaya de Mostaganem, commune de Mers el Hadjadj, et a été inaugurée en **juillet 2016**.

L'objectif de ce projet est **le renforcement des capacités de production d'eau en quantité et qualité** pour satisfaire les besoins de la wilaya d'une part et pour consolider l'approvisionnement en eau d'autres secteurs tels que l'industrie et l'agriculture, dans le cadre d'une stratégie d'exploitation rationnelle de l'excédent de la production. L'eau produite est exclusivement destinée à la consommation humaine et doit respecter les normes algériennes de potabilité ainsi que les standards internationaux (OMS, ISO...). (Tmm, 2008)

IV.3.1 Fiche technique de la station : (Tmm, 2008) :

Projet	Réalisation d'une usine de dessalement d'eau de mer à Magtaa (Wilaya d'Oran)
Capacité	500 000 m ³ /jour
Localisation	Commune de Mers El Hadjadj
Destination de l'eau produite	Wilaya d'Oran, Mascara, Mostaganem
Clôture financière	18 mars 2009
Société de Projet	Tahlyat Myah Magtaa(TMM Spa)
Technologie Utilisée	Dessalement par Osmose Inverse (RO)
Coût de l'investissement	491 millions USD
Structure de l'investissement	30% en fonds propres 70% en emprunt national

Chapitre IV : Matériel et méthodes

Structure du capital	43% AEC 47% Hyflux 10% ADE
Acheteur de l'eau produite	SONATRACH et ADE sur 25ans
Constructeur	HYFLUXENGINEERINGALGERIAEURL
Date de commencement des travaux	Avril 2009
Essais de mise en service	Du 30/10/2014 au 07/05/2015

IV .3.2. Matières premières et produits finis de la station :

a) Matière première :

- Eau de mer (riche en sel)
- Énergie (électricité, selon la technologie utilisée)
- Produits chimiques (anti-scalants, agents de nettoyage, etc.)
- Matériaux pour membranes (dans le cas de l'osmose inverse)

b) Produits finis :

- Eau douce (potable ou pour usage industriel)
- Saumure (résidu riche en sel, souvent rejeté dans la mer)

IV .4. Description du processus de la station :

Le processus du dessalement appliqué dans cette station est basé sur l'élimination des matières en suspension et un prétraitement avec le système d'ultrafiltration et l'élimination des matières solides dissoutes avec le système d'osmose inverse et à la fin l'étape de post-traitement.

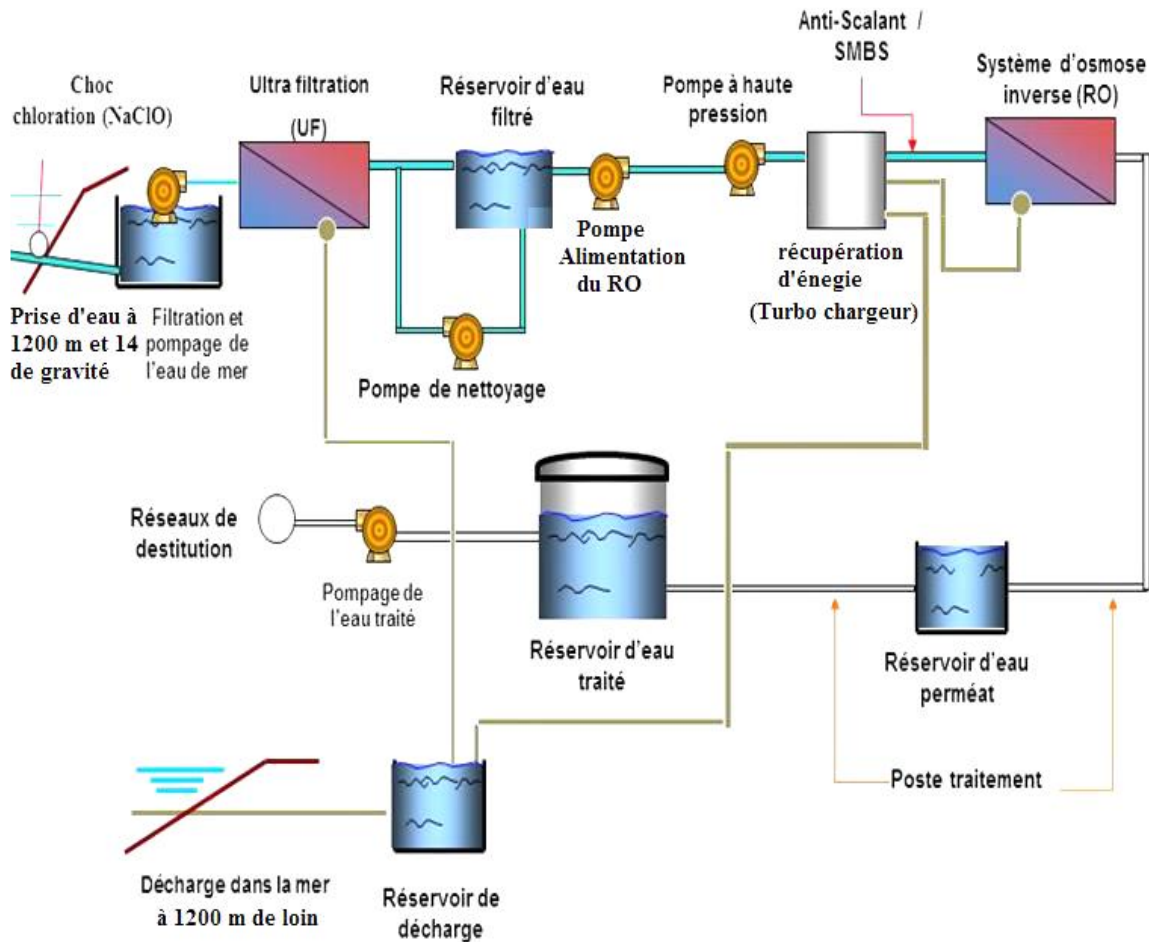


Figure 29 : Processus du dessalement appliqué dans la station de dessalement d'El Magtaa TMM.

Le processus de traitement est expliqué par les étapes suivantes :

1. La prise d'eau de mer et le système de dégrillage / tamisage .
2. La station de pompage d'eau de mer .
3. Les trains d'ultrafiltration(UF) .
4. Les stations de pompage d'eau filtrée .
5. Les trains d'osmose inverse (RO).
6. Les réservoirs d'eau traitée .
7. La station de pompage d'eau traitée .
8. Le système de rejet .

IV .4.1 Prétraitement (Captage et Filtration) :

Le dessalement de l'eau de mer nécessite l'utilisation d'un système de prétraitement pour éliminer les matières en suspension et les éléments biologiques.

Voici les étapes de prétraitement utilisées par cette usine :

Chapitre IV : Matériel et méthodes

1. La chambre de prise d'eau mer (**INTAKE**)
2. Système de filtration est constitué de dégrillage et de tamisage (**CBS /TBS**).
3. Système de chloration (**choc**).
4. Les pompes d'eau de mer.
5. Le système d'ultrafiltration (**UF**).

IV .4.1.1. La chambre de prise d'eau mer :

Captage (Intake)

L'eau de mer entre naturellement dans la station par gravité à travers trois conduites d'aspiration (**intake pipes**) placés à environ **1200-1300 m** dans la mer ; la pression d'entrée de l'eau de mer est de **2 à 4 bars**.

L'eau arrive ensuite dans la chambre d'aspiration (**intake chamber**) où commence la première filtration mécanique.

IV .4.1.2 Système de filtration d'INTAKE (CBS/TBS) :

- a. Le gros dégrilleur Crible à barreaux : CBS (coarse bar screen) :** La première étape de filtration consiste en une grille grossière métallique (**CBS**) d'ouverture **2cm**, qui élimine les gros débris et impuretés.



Figure 30 : Crible à barreaux CBS (coarse bar screen)

- b. Les Tamis fins rotatifs« Tamis a chaine » : TBS (Travelling band screen) :**

L'eau passe à travers une grille fine à bande mobile (**TBS**) de **200 microns**, pour retenir les petits organismes avant le traitement membranaire.

Cette étape améliore la qualité de l'eau envoyée vers les membranes d'ultrafiltration (**UF**).



Figure 31: Les Tamis fins rotatifs TBS (Travelling band screen).

IV .4.1.3 Système de Chloration (choc) :

L'hypochlorite de sodium est dosé périodiquement dans le réservoir de réception de l'eau de mer, afin de la désinfecter et réduire la croissance biologique à l'étape de prétraitement. En raison de sa forte nature oxydante, le chlore ne doit pas atteindre l'étape d'osmose inverse, car il détruit les membranes. L'élimination du chlore de l'eau de mer est effectuée par le dosage d'un agent réducteur, qui est le Sodium méta bisulfate(SMBS).

IV .4.1.4 Station de pompage de l'eau de mer :

Cette station de pompage comprend un total de **cinq pompes** ; quatre en service et une en secours « stand-by » (4+1) pendant le fonctionnement normal. Chaque pompe offre **15900 m³/h** d'eau de mer.



Figure 32 : Système de pompage d'eau de mer

Chapitre IV : Matériel et méthodes

IV .4.1.5 Le système membranaire d'ultrafiltration(UF) :

Le système d'ultrafiltration(UF) est prévu pour filtrer l'eau de mer après les différents tamis. L'UF enlèvera les particules colloïdales restantes en solution et produira une eau filtrée et de basse turbidité ainsi que de faible SDI.

Le système membranaire **d'ultrafiltration** comporte **cinq (5) groupes** sur chaque flux (Stream). Chaque groupe comprend **dix (10) trains d'UF**, et chaque train **160 modules**.

Le système membranaire **d'ultrafiltration Kristal TM** fonctionne selon un mode externe vers interne, le flux d'alimentation s'écoulant à l'extérieur de la membrane et le filtrat s'écoulant à l'intérieur.

L'eau filtrée par les deux systèmes de UF sera **stockée** dans des **réservoirs** appelés **FWT**, puis renvoyer au système de dessalement **osmose inverse** par des **pompes d'alimentation**, ces pompes régulent la pression généralement entre **1,8_2,8 bar**. Une partie de l'eau filtrée est utilisée pour **le rinçage inverse** des modules d'ultrafiltration.



Figure 33 : Système d'ultrafiltration.



Figure 34 : Train d'UF

Chapitre IV : Matériel et méthodes

- **Nettoyage des modules d'ultrafiltration :**

Les modules UF est régulièrement nettoyée pour éliminer les particules accumulées sur la membrane.

1. Back wash : lavage à contre-courant toutes les 30 à 45 min avec de l'eau filtrée + air.

2. CIP (Clean-In-Place) : Le système d'ultrafiltration est nettoyé avec des produits chimiques. Ce nettoyage est nécessaire pour l'entretien ou la récupération des membranes d'ultrafiltration, afin de maintenir leurs performances de filtration.

- **Rinçage inverse des modules d'ultrafiltration**

L'accumulation des matières solides dans les filtres provoque une augmentation de la résistance à l'écoulement ainsi la diminution de la production d'eau filtrée. Un **rinçage inversé** des filtres avec un écoulement en sens inverse de l'eau de mer filtrée est l'une des solutions les plus efficaces. Un **barbotage** avec **l'air** est introduit afin d'améliorer l'efficacité du lavage.

Cette opération de **rétro-lavage** est effectuée **périodiquement**, elle peut être prédéterminée soit par le débit total du système d'ultrafiltration ou le temps de service des modules d'ultrafiltration, en général toutes les **30 à 45** minutes.

Le **lavage global** de toutes les membranes d'ultrafiltration est contrôlé de telle sorte qu'une seule unité par rangée subira un rinçage inverse à tout le temps.

- **Nettoyage chimique du système d'ultrafiltration CIP (Clean-In-Place) :**

Le système d'ultrafiltration est nettoyé avec des produits chimiques (**HCl**, **NaOH**, et du **NaClO**). Cela est utilisé pour effectuer un nettoyage soit d'entretien ou de récupération des membranes d'ultrafiltration pour maintenir ses performances de filtration.

C'est un nettoyage de routine régulier de membrane, ils interviennent tous les **3 à 5 jours** selon les caractéristiques attendues d'encrassement de l'eau qui correspond :

- Si le **débit filtré est moins** que le débit demander.
- Le temps de services de la membrane est plus de **120 h (5jours)**.

On mesure l'eau du **CIP** si son **pH** varie entre **6** et **8** il est rejeter vers mer sinon il est d'ériger vers le **réservoir de neutralisation** pour traitement avant rejet.



Figure 35 : système de nettoyage-en-place (CIP) de l'UF.

IV .5. Etape d'Osmose inverse (RO) :

Le dessalement de l'eau de mer est réalisé par un seul passage à travers le système **d'osmose inverse**. L'étape de l'osmose inverse de l'usine inclut les équipements suivants:

- Système de dosage d'antitartre ;
- Pompes d'alimentation d'osmose inverse ;
- Pompes à haute pression (HP) ;
- Système de récupération d'énergie (Energy Recovery system) à base de **Turbo-charger** ;
- Unités d'osmose inverse ;
- Réservoir de l'eau dessalée ;
- Système de nettoyage des membranes d'osmose inverse ;



Figure 36 : système Osmose inverse.

IV .5.1 Dosage d'antitartre :

Dans les membranes d'osmose inverse, il existe une possibilité de colmatage à cause de précipitation de carbonate de calcium. Afin de minimiser le colmatage, un antitartre est utilisé. La station de dessalement de Magtaa est équipée avec un système de dosage d'antitartre. Cela permet d'ajuster le pH de l'eau de mer entre 7,8 à 8,2 à la rentrée d'osmose inverse pour avoir une meilleure qualité du bore dans l'eau dessalée.

- **Injection chimique (avant osmose inverse) :**

Avant d'entrer dans le système d'osmose inverse, plusieurs produits chimiques sont injectés pour protéger les membranes et réduire le pourcentage de colmatage des membranes d'osmose inverse :

- **SMBS (sodium méta bisulfite)** → déchloration (éliminer le chlore libre).
- **Anti scalant** → prévenir l'entartrage (dépôts de sels).
- **NaOH (soude)** → ajuster le pH et améliorer le rejet du bore.



Figure 37: Réservoirs de stockage des produits chimiques.



Figure 38 : Dosage de méta-bisulfite, hydroxyde de sodium, anti tartare.

IV .5.2.Lignes et pompes d'alimentation du système d'osmose inverse (RO Feed pumps) :

L'eau filtrée est ensuite envoyée vers le réservoir d'eau filtrée (**Filtered Water Tank**), puis pompée par les pompes d'alimentation du système d'osmose inverse (**RO Feed Pumps**), il ya **Cinq (5) pompes**(4 en service, 1 de secours) pour chaque flux. Ces pompes assurent la pression d'alimentation nécessaire aux membranes d'osmose inverse (environ **4,5 - 6 bar** avant les pompes hautes pression).



Figure 39 : Ligne d'alimentation du système d'osmose inverse (RO Feed).

IV.5. 3. Pompes à haute pression :

Ces pompes augmentent la pression de l'eau filtrée à la pression requise pour le fonctionnement des membranes du système de l'osmose inverse. La haute pression de l'eau filtrée est mélangée avec de l'eau filtrée mise sous pression par le système de récupération d'énergie. Il y a **25 unités d'osmose inverse** et chaque unité d'osmose inverse est muni par une pompe à haute pression, donc **25 pompes à haute pression** sont fournis.



Figure 40: Pompe à haute pression(HP).

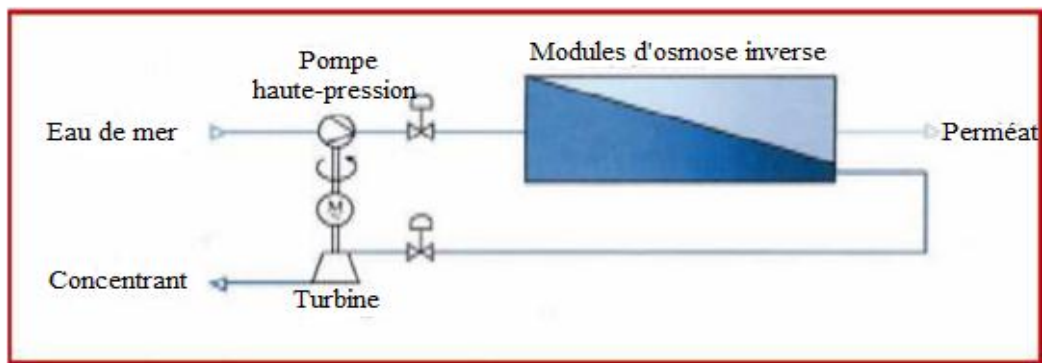


Figure 41 : système d'osmose inverse.

IV .5.4. Système de récupération d'énergie :

Ce système est basé sur l'utilisation du **turbo chargeur**. La saumure, conservant une haute pression (près de **52bars**) qui sera récupérée et transférée au courant d'eau de mer prétraitée à travers **une turbine** pour augmenter ou maintenir la pression d'où un gain d'énergie.



Figure 42: turbo chargeur pour récupérer l'énergie du rejet d'osmose inverse.



Figure 43 : une turbine.

Chapitre IV : Matériel et méthodes

IV .5.6 Unités d'osmose inverse :

Dans la station de dessalement TMM, **vingt-cinq (25) trains**. **(13) trains** pour le **flux 1**, dont **douze (12)** sont en service et un **(1)** de secours (stand-by), et de **douze (12) trains** pour le **flux2**, tous en en service.

Chaque train d'**osmose inverse** contient **216modules** dont chaque une contient **7membranes**. Donc on trouve **1512membranes** dans chaque train d'osmose inverse.

L'eau douce produite par le système RO s'appelle **perméa**, est envoyé dans un **réservoir de rinçage** avant de subir un traitement de **reminéralisations**.

Deux termes différents sont utilisés pour décrire l'eau concentrée restante : **saumure ou rejet**.



Figure 44 : train d'osmose inverse.



Figure 45: unités d'osmose inverse.

IV .5.7 Réservoir de l'eau dessalée :

Chaque **ligne** dispose d'un **réservoir de l'eau dessalée**. Cette eau dessalée est utilisée aussi pour rincer tout le système d'osmose inverse.

Ce système d'osmose inverse est conçu pour **recupérer45%** de l'eau **dessalée**, tandis que le reste **55% (saumure)** est rejeté à la mer.



Figure 46: Réservoir de l'eau dessalée.

IV .5.8 Système de nettoyage des membranes d'osmose inverse (RO CIP) :

Un système de nettoyage (**CIP = Clean-In-Place**) est mis en place pour nettoyer les membranes d'osmose inverse. En cas de colmatage des membranes en utilisant des produits chimiques. Le nettoyage chimique est une opération contrôlée et déclenchée manuellement.

IV .6. Système de post-traitement :

Il est déconseillé d'utiliser directement le **perméat** d'osmose inverse (**RO**) car il est considéré comme très pauvre par la valeur très réduite de la dureté et l'alcalinité calcique (agressive). L'eau osmosée produite par les trains d'osmose inverse doit subir une **désinfection** et une **reminéralisation** supplémentaires afin de satisfaire aux spécifications de l'eau traitée.

L'eau osmosée **désinfectée** et **reminéralisée** est stockée dans **quatre (4)réservoirs** et **distribuée** par **trois systèmes de distribution (2 ligne en service et 1 en arrêtée)**,



Figure 47: Post-traitement.

Pour réaliser ce qui précède, les éléments suivants sont inclus :

IV .6.1. Désinfection finale :

Cette étape est nécessaire pour le système d'approvisionnement en eau potable.

La teneur en chlore libre après la désinfection est contrôlée de 0,5 à 1 ppm. Il y a un analyseur de chlore libre installé juste après le réservoir de désinfection pour surveiller et contrôler la chloration. Deux pompes de dosage sont prévues pour la désinfection de post-traitement. Le débit de dose de chlore est réglé manuellement.

L'eau s'écoule du réservoir d'eau dessalée vers le réservoir de chloration et le réservoir de l'eau traitée par gravité.

IV .6.2. Reminéralisation (Système de dosage du dioxyde de carbone CO₂ et de la chaux) :

La reminéralisation de l'eau dessalée et désinfectée est réalisée par le dosage du CO₂ et de la chaux avant que l'eau entre dans le réservoir de stockage d'eau traitée. Le dioxyde de carbone et la chaux (hydroxyde de calcium) réagissent ensemble pour former du bicarbonate de calcium. Comme conséquences on a une augmentation du pH et LSI de l'eau à la gamme désirée, et la formation d'une eau stable "non-agressive" pour la distribution et la consommation humaine, selon la réaction : $2\text{CO}_2 + \text{Ca}(\text{OH})_2 \rightarrow \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$.

Le perméat post-traité peut être appelé « **eau traitée** ».



Figure 48: Bac de stockage du lait de chaux.



Figure 49: Bac de stockage du CO₂.

IV .6.3 Réservoir d'eau traitée :

L'eau traitée après la désinfection et la stabilisation est stockée dans quatre grands réservoirs d'eau traitée ; et chaque réservoir à une capacité de **10000m³**. Elle est divisée en deux compartiments, et chacun d'eux peut fonctionner séparément, un est en service alors que l'autre compartiment est maintenu ou nettoyé.



Figure 50: Réservoir de stockage de l'eau traitée.

IV .6.4 Station de pompage de l'eau traitée :

Il y a un total de quatorze(14) pompes d'eau traitée, dont douze(12) pompes sont en service et deux(2) sont de secours.



Figure 51 : Station de pompage de l'eau traitée.

IV .6.5. Décharge de la saumure :

La saumure sera déversée dans la mer via **un canal de décharge incorporant des diffuseurs**. Le lieu de déversement est déterminé par les résultats de l'étude marine, afin d'atténuer les impacts.

Le contenu de la fosse de neutralisation est également dirigé vers l'exutoire. Cette eau usée, les déchets du nettoyage des modules d'ultrafiltration et les membranes de l'osmose inverse vont être neutralisés dans la fosse de **neutralisation**, pour s'assurer que la valeur du pH se situe entre 6 à 9 avant d'être pompé à l'exutoire.



Figure 52: La neutralisation.

IV .7. Echantillonnage :

Le prélèvement d'un échantillon d'eau est une opération délicate à laquelle le plus grand soin doit être apporté ; il conditionne les résultats analytiques et l'interprétation qui en sera donnée.

L'échantillon doit être homogène, représentatif et obtenu sans modifier les caractéristiques physico-chimiques de l'eau.

IV.7.1. Détermination du point d'échantillonnage :

Le point de prélèvement a été déterminé dans le contrat d'achat d'eau, il est situé à la sortie du réservoir de l'eau saumure dans la station de dessalement de l'eau de mer de Magtaa, des analyseurs sur site sont placés à côté du point de prélèvement pour assurer un suivi continu de la qualité de l'eau saumure.

- **Mode de prélèvement**

Le prélèvement a été effectué selon les étapes suivantes :

- Préparation de trois flacons propres en plastique d'un litre pour l'échantillonnage ;
- Ouvrir la vanne d'échantillonnage et permettre à l'eau de s'écouler pendant au moins 2 minutes avant la collection ;
- Rincer le flacon d'échantillonnage au moins deux fois avec de l'eau traitée ;
- Remplir chaque flacon lentement avec un faible débit pour éviter les turbulences et la formation des bulles d'air ;
- Fermer le flacon et s'assurer qu'il n'y a pas de vide au-dessus de l'échantillon ;
- Étiqueter les flacons d'échantillonnage en déterminant le point de prélèvement, la date et l'heure ;

Chapitre IV : Matériel et méthodes

Remarque : Il est recommandé d'effectuer l'analyse immédiatement après la collecte. Si non, conserver l'échantillon avec la méthode de stockage appropriée en conséquence.



Figure 53: les lignes de distribution.

La qualité de l'eau produite doit satisfaire aux spécifications suivantes :

Tableau 2 : les paramètres de la qualité de l'eau traitée

N°	Paramètre	Spécifications
1	Ph :	7,0 - 8,5
2	Indice de Langelier :	0 - 0,4
3	TAC :	60 pmm de CaCO ₃ (valeur minimale)
4	Dureté totale (TH) :	80pmm<TH<150pmm de CaCO ₃
5	Total des solides dissous (TDS) :	150 pmm<TDS<500pmm
6	Chlore résiduel :	1pmm (valeur minimale)
7	Bore :	Moyenne annuelle inférieure ou égale à 1,0 pmm

Chapitre IV : Matériel et méthodes

IV. 7.2. Les Paramètres physico-chimiques analysés :

- Potentiel d'hydrogène et Température
- Conductivité électrique
- Alcalinité (Titre alcali métrique complet TAC)
- Titre hydrométrique (Dureté total TH)
- Total solides dissous (TDS)
- Matières en suspension (TSS)
- Indice de Langelier de saturation (LSI)
- Turbidité
- Chlore résiduel
- Bore

IV.7.3. L'analyse contractuelle de l'eau traitée :

L'échantillonnage se fait chaque jour au niveau de 3 lignes de distributions (2 en service et 1 en arrêté) à 10 :00 Am et on mesure :

Le potentiel d'Hydrogène **pH**, la température, la conductivité électrique, la turbidité, total solides dissous (**TDS**), la dureté totale (**TH**), titre alcalimétrique complet(**TAC**), Indice de Langelier de saturation (**LSI**), le chlore résiduel et la concentration du Bore.

IV.7.4. l'analyse contractuelle de l'eau de mer :

Le potentiel d'Hydrogène **pH**, la température, la conductivité électrique, la turbidité, total solides dissous (**TDS**), Matières en suspension (**TSS**), le chlore résiduel.

PH et température

Dans le laboratoire de la station de dessalement de l'eau de mer TMM, la mesure du pH est réalisée à l'aide d'un pH-mètre de type (milwaukee 150 MAX) après un étalonnage de cette dernière avec trois solutions, (pH4, pH7, pH10).



Figure 54 : pH mètre.

Chapitre IV : Matériel et méthodes

- **Mode opératoire :**

- Allumer le pH mètre ;
- Agiter l'échantillon doucement et verser 100ml de l'eau à analyser dans un bécher propre ;
- Rincer la sonde avec de l'eau ultra pure puis avec de l'eau à analyser ;
- Immerger la sonde dans l'échantillon et essayer d'éliminer les bulles d'air au cours de la stabilisation de la mesure avec une simple agitation de la sonde ;
- Enregistrer la valeur du pH et de la température affichées sur l'appareil après la stabilisation de la lecture ;
- Rincer la sonde ;
- Arrêter l'appareil ;

- **Conductivité électrique :**

La mesure de la **conductivité électrique** est réalisée à l'aide d'un **Conductivité-mètre** de type (WTW inoLabcond 7110, HACH HQ Séries) après un étalonnage cette dernière.



Figure 55 : Conductivité-mètre de type (WTW inoLabcond 7110).et Conductivité-mètre de type (HACH HQ Séries).

- **Mode opératoire :**

- Allumer le Conductivité-mètre ;
- Agiter l'échantillon doucement et verser 100ml de l'eau à analyser dans un bécher propre ;
- Rincer la sonde avec de l'eau ultra pure puis avec de l'eau à analyser ;
- Immerger la sonde dans l'échantillon et essayer d'éliminer les bulles d'air au cours de la stabilisation de la mesure avec une simple agitation de la sonde ;
- Enregistrer la valeur de la conductivité électrique et la température affichées sur l'appareil après la stabilisation de la lecture ;

Chapitre IV : Matériel et méthodes

- Rincer la sonde ;
- Arrêter l'appareil.

- **Turbidité :**

La turbidité désigne la teneur d'une eau en particules en suspension organiques et/ou inorganiques qui la troublent. Tous les échantillons analysés ne présentent pas une telle turbidité, leur valeur varie entre 0,88 et 2,14 NTU pour l'eau saumure. Les résultats des analyses obtenus à l'aide d'un Turbidimètre après un étalonnage de cette dernière avec trois solutions : 200 NTU, 20 NTU, 2 NTU, < 0.1 NTU).



Figure 56 : Turbidimètres.

- **Mode opératoire :**

- Allumer le turbidimètre et attendre qu'il se stabilise ;
- Verser l'eau à analyser dans la cuve appropriée et fermer avec son couvercle pour éviter toute contamination externe ;
- Agiter doucement l'échantillon sans former de bulles d'air afin de garantir une mesure précise de la turbidité ;
- Placer la cuve contenant l'échantillon dans le turbidimètre ;
- Sur l'appareil, sélectionner l'option "Read average" pour obtenir une mesure moyenne de la turbidité ;

Chapitre IV : Matériel et méthodes

- Attendre que la lecture se stabilise, généralement indiquée par une valeur constante affichée sur l'appareil ;
- Enregistrer la valeur de turbidité affichée sur le turbidimètre ;
- Rincer soigneusement la cuve à l'eau distillée pour éliminer les résidus de l'échantillon ;
- Éteindre l'appareil une fois la mesure terminée.

- **Chlore libre :**

Effectivement, dans l'eau propre, les résidus de Chlore sont généralement présents sous forme de chlore libre. Cependant, dans les eaux usées, les résidus de chlore peuvent être présents sous différentes formes, y compris le chlore libre, le chlore combiné et le chlore total. La mesure du chlore libre dans l'eau est réalisée à l'aide d'un appareil multi paramètres.



Figure 57 : Mesure du chlore libre.



Figure 58: DPD.

- **Mode opératoire :**

- Allumer l'appareil ;
- Sélectionner le programme 9 (programme de mesure du chlore libre) si disponible sur l'appareil ;
- Verser 10 ml de l'eau à analyser dans la cuve appropriée et fermer avec son couvercle;
- Agiter doucement l'échantillon d'eau dans la cuve pour assurer une bonne homogénéité ;
- Placer la cuve dans l'appareil ;
- Appuyer sur le bouton "Zéro" pour calibrer l'appareil en utilisant l'eau sans chlore (référence).
- Retirer la cuve de l'appareil ;
- Ajouter un comprimé de réactif "DPD" dans la cuve conformément aux instructions fournies ;

Chapitre IV : Matériel et méthodes

- Placer à nouveau la cuve dans l'appareil ;
- Appuyer sur le bouton "Lire" ou "Read" pour lancer la mesure ;
- Attendre que la lecture se stabilise et enregistrer la valeur de la concentration de chlore libre affichée sur l'appareil ;
- Rincer soigneusement la cuve pour éliminer les résidus de réactif ;
- Éteindre l'appareil une fois la mesure terminée.

IV. 8. Titre hydrotimétrique (th) — Dureté Totale de l'Eau :

- **Principe de la méthode**

Le **TH** mesure la concentration totale en ions calcium (Ca^{2+}) et magnésium (Mg^{2+}) dissous dans l'eau. Ces deux ions sont responsables de la "dureté" de l'eau. On les dose par complexométrie, en utilisant l'**EDTA** (acide éthylène diaminetétraacétique) comme agent chélateur, en présence d'un indicateur coloré appelé **Noir Eriochrome T (NET)**.

La réaction repose sur le fait que l'**EDTA** forme des complexes stables avec le **Ca^{2+}** et le **Mg^{2+}** . Lorsque tout le calcium et le magnésium ont réagi avec l'**EDTA**, l'indicateur change de couleur, signalant la fin du dosage.

- **Mode Opératoire (TH)**

- Prélèvement de l'échantillon
- Prélever 50 ml d'eau à analyser, dans une fiole conique propre et rincée avec l'eau à analyser.
- Ajouter 5 ml de solution tampon ($\text{pH} = 10$) directement dans la fiole.
- Ajout de l'indicateur colorée (NET) Introduire une petite spatule (environ 30 à 50 mg) pour donnée le colleur rose, indiquant que l'indicateur a formé des complexes avec les ions Ca^{2+} et Mg^{2+} .
- Titrage à l'EDTA : Remplir la burette avec la solution d'EDTA à 0,01 mol/L. Verser l'EDTA goutte à goutte, en agitant la fiole régulièrement. Observer attentivement la couleur. On approche du point d'équivalence lorsque la teinte commence à virer légèrement vers le bleu-violacé. Continuer le titrage très doucement, goutte par goutte, jusqu'au virage complet au bleu pur (bleu ciel franc), qui ne doit plus évoluer.

- ❖ **Lecture et calcul :**

Relever le volume V d'EDTA versé (en ml).

Chapitre IV : Matériel et méthodes

❖ Calcul du TH :

$$\text{TH (}^{\circ}\text{f)} = V \text{ (ml)} \times 2 = (F^{\circ} \times 10 = \dots\text{mg/L})$$



Figure 59:Appareil de mesure TH.

Figure 60: Solution tampon pH 10 et EDTA.

IV.9. Titre alcalimétrique complet (TAC)

• Matériel utilisé :

- HCl 37%.
- Carbonate de sodium.
- Burette graduée de 10 ml.
- Pipettes 100 ml et 25 ml.
- Micropipette (1 à 5 ml) et (100 à 1000 µl).
- Fiole jaugée en verre (1000 ml) et 2 fioles jaugées en verre (500 ml).
- pH mètre.
- Agitateur magnétique.
- Eau ultra pure.
- Dessiccateur
- Étuve de laboratoire à 105°C

• Mode opératoire :

- Préparation de la solution mère de HCl (0,1 M).
- Préparation de la solution mère de carbonate de sodium (0,025 M).
- Etalonnage du HCl (0,1 M) avec du carbonate de sodium (0,025 M) avec la méthode de détection potentiométrique.

Chapitre IV : Matériel et méthodes

- Détermination du blanc.
- Préparation du HCl (0,02 M).
- Mesurer le pH initial de l'échantillon.
- Noter le volume initial du HCl dans la burette.
- Titration de 100 ml de l'eau à analyser avec HCl (0,02 M) jusqu'au pH d'échantillon atteindre 4,3.
- Noter le pH final d'échantillon après titration et aussi le volume final du HCl dans la burette.

- **Expression des résultats :**

Alcalinité totale (mg/l comme CaCO₃) =

$\frac{\text{Concentration HCl (0.02M)} \times V_1 \times 5000}{V_2}$

- Concentration du HCl = 0,0193 M.
- V₁ = volume de HCl titré en ml.
- V₂ = 100 ml (volume d'échantillon).

IV.10. La matière solide dissoute totale (TDS) :(méthode gravimétrique) :

Les solides dans l'eau se trouvent soit en solution ou en suspension, et se distinguent par le passage de l'échantillon de l'eau à travers un filtre de fibres de verre. Par définition, les matières en suspension sont retenues sur le dessus du filtre, et les solides dissous passent à travers le filtre avec de l'eau.

Lorsque la partie filtrée de l'échantillon d'eau est placée dans une coupelle, puis évaporé, les solides dissous dans l'eau restent comme résidu sec dans la capsule d'évaporation. Cette matière est appelée matières totales dissoutes ou TDS. Il ya de nombreuses méthodes pour le calcul de TDS, notamment le principe de l'évaporation

Le but : Est de déterminer la concentration des ions dans l'eau.



Figure 61: Les matériels utilisés pour mesuré TDS.

- **Mode opératoire :**

- Placer le cristallisoir dans l'étuve à une température de 180°C pendant 4h pour la stérilisation,
- Mettre le cristallisoir dans le dessiccateur pour absorber l'humidité pendant 30 min, Peser le cristallisoir (P_1),
- Rincer la fiole à vide avec l'eau ultra pure ;
- Placer l'entonnoir au-dessus de l'erlenmeyer et en place le filtre correctement à l'intérieur de l'entonnoir ;
- Verser une quantité d'eau à analyser dans l'entonnoir en utilisant une pompe pour que l'eau passe plus vite en faisant attention à ne pas percé le filtre. En rince bien la fiole à vide avec cette eau filtrée et en la jette ;
- Prendre l'eau à analyser, et on la filtre, en faisant toujours attention à ne pas percé le filtre ;
- Prendre 100 ml de cette eau filtrée grâce à une pipette et la mettre dans le cristallisoir;
- Mètre le cristallisoir à l'intérieur de l'étuve pendant 4h à 180°C, après les 4h, on sort le cristallisoir et le mettre dans le dessiccateur pour refroidir pendant 30min, ensuite on pèse le cristallisoir (P_2).
- Calculer le TDS selon la formule suivante : $\text{TDS mg/L} = [(P_1 - P_2) / V] * 10^6$

IV.11. Matières en suspensions (MES) :(Méthode gravimétrique)

Les matières en suspension (TSS) sont retenues sur un filtre, puis séchées et pesées.

- **Matériels utilisés :**

- Eprouvette et fiole ;
- Etuve à 105°C ;
- Balance analytique ;
- Filtre en microfibres de verre wattman ;

Chapitre IV : Matériel et méthodes

- Pince plate ;
- Entonnoir.
- Une pompe.
 - **Mode opératoire :**
- Peser le papier filtre (Poids initial=P0) a l'aide une balance analytique, puis poser dans un entonnoir dans une fiole ;
- Filtrer un volume de 500ml à travers le filtre en microfibre ;
- Sécher le filtre a 105°C pendant 1 heure ;
- Refroidir dans un dessiccateur puis peser (poids final = P1)
- Calculer la masse des **MES** par différence de poids.

$$MES (mg/l) = [(P1 - P0)/v] 10^6$$

Avec :

V : volume de l'échantillon de l'eau de saline (ml)

P0 : la masse de membrane filtrante avant utilisation (mg)

P1 : la masse de la membrane filtrante après utilisation ou étuvage à 105°C

Conclusion :

Cette étude nous a donné la possibilité de suivre les transformations physico-chimiques de l'eau de mer brute jusqu'à la production de l'eau traitée et d'évaluer l'efficacité de chaque étape de traitement (prétraitement, traitement et post traitement).

En fin de compte, l'utilisation de l'osmose inverse pour le dessalement dans notre pays représente une réponse adaptée pour réduire la sécheresse et le manque d'eau potable, tout en remplaçant les méthodes traditionnelles comme les eaux de barragesetc.

Chapitre V

Résultats et discussions

Chapitre V : Résultats et discussions

V.1. Les résultats fournis des analyses de l'eau de mer brute (EB) et de l'eau de rejet (ER) :

Les résultats d'analyses physiques fournies sont rassemblés dans le Tableau suivant :

Tableau 3 : Evolution des résultats des paramètres physico-chimiques de l'eau de mer brute (EB) et de l'eau de rejet (ER) de l'année 2019(LARBI N & SAADAOUIS, 2019), et 2025(BETTAHAR, 2025) et 2026, comparée aux normes de qualité de l'eau de mer ;

Paramètres	2019		2025		2026		Normes (eau de mer)
	EB	ER	EB	ER	EB	ER	
pH	8,06	7,96	8,16	8,13	8,40	8,31	7,5 – 8,4
Conductivité (ms/cm)	56,8	95	56,74	135,2	52,56	71,99	50_60 ms/cm
TDS (mg/l)	39,47	68,91	39,72	67,30	36,79	50,39	35–40g/l
Température °C	16,37	17,22	19,01	21,9	19,36	20,3	18_25 °C
Turbidité (NTU)	3,32	0,26	4,8	0,89	0,61	1,41	< 5 NTU
Salinité (g/l)	36,08	60,57	36,31	67	34,16	46,79	35–38 g/l

V.2. Interprétations des résultats :

L'analyse comparative des paramètres physico-chimiques révèle des différences significatives entre l'eau de mer brute et l'eau rejet du processus de dessalement des l'année 2019/2025/2026;

❖ Ph

La Figure suivante donne les valeurs de pH de l'eau de mer (EB) et celles de l'eau de rejet des saumures (ER) selon les années (2019/2025/2026)

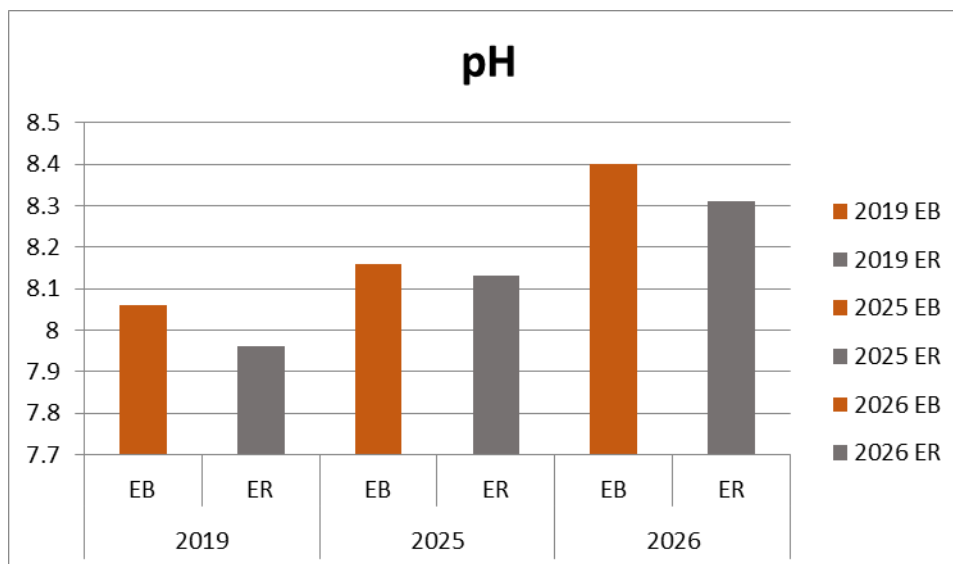


Figure 62 : Comparaissant de potentiel hydrogène (pH) d'eau brute et d'eau rejet (2019/2025/2026)

On remarque que les valeurs de pH oscillent entre 7,96 et 8,31 dans le cas de l'eau de rejet ; et entre 8,06 et 8,4 dans le cas de l'eau brute, le pH a augmenté de manière continue et préoccupante. En 2019, les valeurs étaient rassurantes, mais en 2026, elles approchent la limite maximale, indique une augmentation constante. Toutes les valeurs sont approximativement conformes à la norme Algérienne.

❖ Conductivité

La Figure suivante donne les valeurs de la conductivité de l'eau de mer brute (EB) et celles de l'eau de rejet des saumures (ER) selon les années (2019/2025/2026).

La conductivité mesure la facilité avec laquelle l'électricité circule dans l'eau, l'eau peut conduire l'électricité en raison qu'il y a des sels dissous dans l'eau et des ions transporte le courant électrique.

La conductivité augmente lorsque la concentration des ions augmente. (Melle Faiza Benbrahim, 2022)

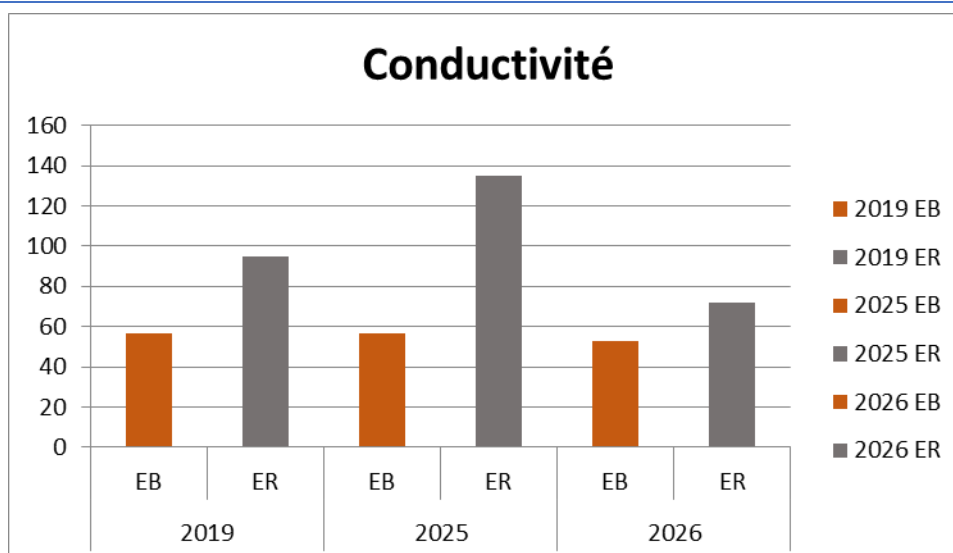


Figure 63 : Comparaissant entre la conductivité d'eau brute et d'eau rejet (2019/2025/2026).

Les rejets de saumures présentent une conductivité systématiquement et considérablement supérieure à celle de l'eau de mer.

On remarque que la conductivité de l'eau de rejet (ER) est nettement plus importante que la conductivité de l'eau de mer (EB), donc l'eau brute n'est pas un bon conducteur d'électricité.

En 2019 l'eau brute est 56,8, elle ressort à 95ms/cm, plus salée que ce qu'elle a prélevé.

En 2025 c'est l'année la plus grave. La conductivité de l'eau brute est à 56,74, mais le rejet explose à 135,2 ms/cm. La conductivité presque doublée entre l'entrée et la sortie, c'est le pic la plus dangereux de toute la période.

En 2026 le rejet redescend à 71,99 ms/cm.

Les données montrent clairement que les rejets des saumures dépassent toutes les normes environnementales et représentent une menace directe et croissante pour les écosystèmes marins côtiers.

❖ TDS (Solides dissous totaux) :

La figure suivante donne les valeurs de la TDS de l'eau de mer (EB) et celles de l'eau de rejet des saumures (ER) selon les années (2019/2025/2026).

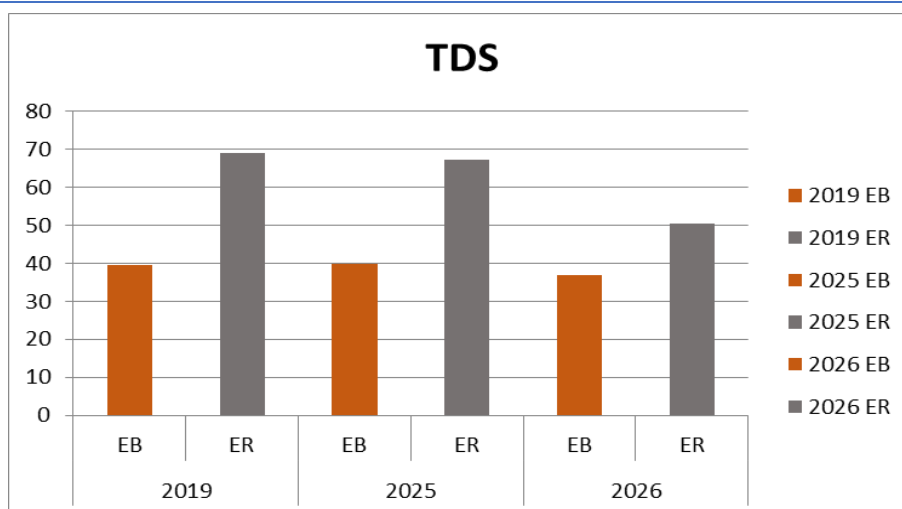


Figure 64 : Comparaissant entre TDS d'eau brute et eau rejet (2019/2025/2026)

TDS signifie total des solides dissous et représente la concentration totale des substances dissoutes dans l'eau, il est composé de sels inorganiques et quelques matières organiques.

On remarque dans les trois années étudiées, les valeurs de TDS de l'eau de rejet (ER) sont systématiquement supérieures à celles de l'eau brute (EB), qu'il y a une augmentation notable des valeurs de TDS de l'eau de rejet (ER) qui atteint une valeur de 68,91 g/l en 2019 par rapport à l'eau de mer (EB) qui atteint à 39,47 g/l.

On observe une légère diminution progressive de valeurs de TDS de rejet (ER) entre 2019, 2025, 2026.

❖ Température :

La Figure suivante donne les valeurs de la température de l'eau de mer (EB) et celles de l'eau de rejet des saumures (ER) selon les années (2019/2025/2026).

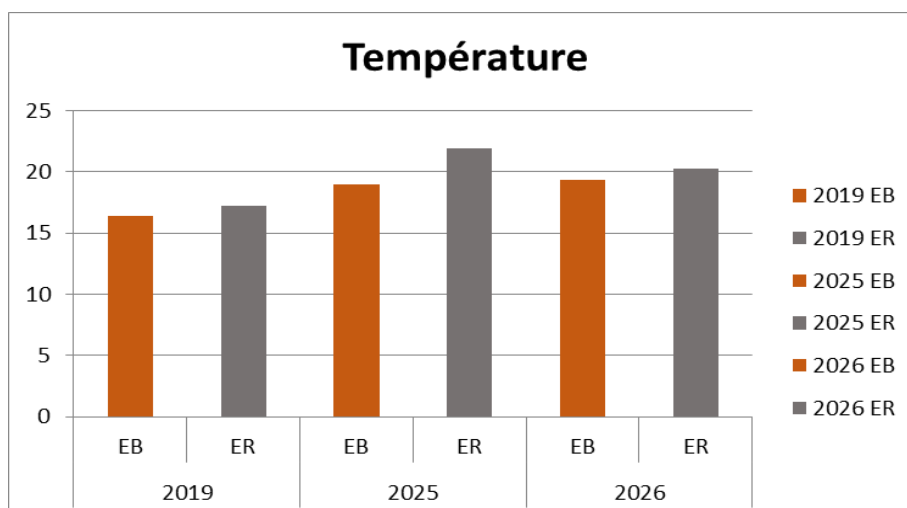


Figure 65 : Comparaissant entre température d'eau brute et eau rejet (2019/2025/2026)

Chapitre V : Résultats et discussions

On observe dans les trois périodes étudiées, la température de l'eau de rejet (ER) est légèrement supérieure à celle de l'eau de mer brute (EB). Cette augmentation de température est probablement due à la chaleur résiduelle Du processus de traitement, des échanges thermiques internes (pompes, membranes...) peuvent légèrement réchauffer l'eau en sortie.

Pour l'eau brute (EB) on observe une hausse progressive et régulière de la température, passant de 16,37°C en 2019 à 19,01°C en 2025, puis 19,36°C en 2026. Cette augmentation peut être liée au réchauffement climatique progressif de la ressource en eau souterraine.

Pour l'eau de rejet la température suit la même tendance croissante, passant de 17,22°C en 2019 à 21,9°C en 2025, avec une légère stabilisation à 20,3°C en 2026.

L'eau de rejet à température légèrement plus élevée peut avoir un impact sur le milieu récepteur, en affectant l'oxygène dissous et la biodiversité aquatique.

Ces résultats soulignent la nécessité d'une gestion thermique optimisée des rejets afin de minimiser l'impact sur l'environnement récepteur.

Ces valeurs sont au-dessous des valeurs de la norme.

❖ Turbidité :

La Figure suivante donne les valeurs de la Turbidité de l'eau de mer (EB) et celles de l'eau de rejet des saumures (ER) selon les années (2019/2025/2026).

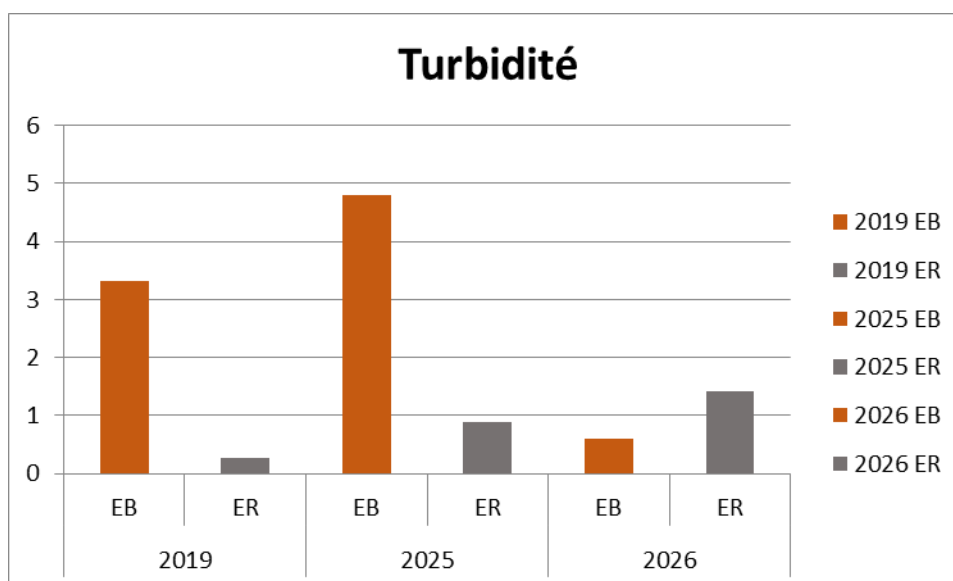


Figure 66 : Comparaison entre turbidité de l'eau brute et eau rejet (2019/2025/2026)

On observe dans les années 2019, 2025 présentent le profil logique et normal d'un système de traitement d'eau : la turbidité de l'eau brute (EB) est nettement supérieure à celle de l'eau rejet (ER). Cela confirme que le procédé de traitement remplit efficacement sa fonction d'épuration, en éliminant les matières en suspension et les particules responsables de la turbidité.

Chapitre V : Résultats et discussions

En 2019 marqué la turbidité de l'eau brute 3,32 NTU et pour l'eau de rejet (ER) à 0,26 NTU, et en 2025, la turbidité de l'eau brute 4,8 NTU et de l'eau rejet (ER) à 0,89 NTU, ce qui témoigne d'une eau brute plus chargée en particules, et indique une efficacité de filtration élevée dans le processus.

L'année 2026 présente une situation atypique et inversée : la turbidité de l'eau de rejet 1,41 NTU devient supérieure à celle de l'eau brute 0,61 NTU, indique une perte d'efficacité de filtration (cas de la station de dessalement de l'eau de mer d'El magtaa TMM, les membranes de l'ultra filtration de Stream 01 elle est changée et l'efficacité de filtration très élevée par rapport Stream 02 elle est pas change et avec un faible filtration) constitue un signal d'alerte qui nécessite une investigation approfondie sur l'état des équipements et les conditions de la ressource.

❖ Salinité :

La Figure suivante donne les valeurs de la salinité de l'eau de mer (EB) et celles de l'eau de rejet des saumures (ER) selon les années (2019/2025/2026).

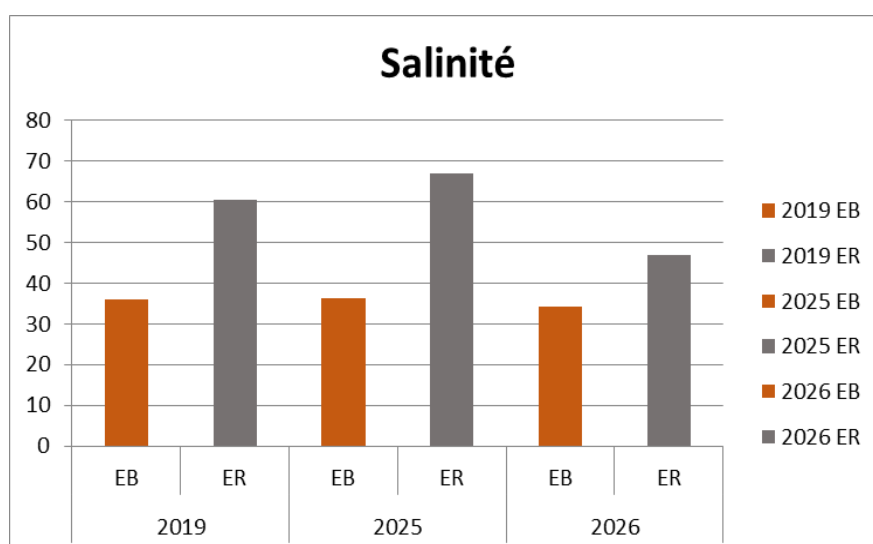


Figure 67 : Comparaison de la salinité d'eau brute et d'eau rejet (2019/2025/2026)

On observe que la salinité de l'eau de rejet est trop élevée par rapport à la salinité naturelle de l'eau de mer brute, presque le double de concentration.

La salinité de l'eau de rejet suit une évolution en deux temps :

Elle augmente légèrement entre 2019 (60,57 g/l) et en 2025 (67 g/l), indiquant une concentration plus importante des sels rejetés.

Elle diminue significativement en 2026 (46,79 g/l), ce qui traduit une amélioration notable de la gestion du rejet salin, probablement grâce à un ajustement du procédé.

Le rejet à forte salinité dans le milieu marin peut provoquer un stress osmotique chez les organismes marins, et une dégradation de la faune et la flore aquatique.

V.3. Discussion des résultats d'analyse des paramètres physico-chimiques de l'eau de mer brute (EB) et de l'eau rejetée (ER) pour les années (2019, 2025 et 2026) révèle des tendances contrastées :

L'analyse comparative des paramètres physico-chimiques de l'eau de mer brute (EB) et des eaux de rejet saumurées (ER) sur trois années : 2019 (LARBI N & SAADAoui S, 2019), et 2025 (BETTAHAR, 2025) et 2026.

L'objectif est de voir si les rejets de la station de dessalement respectent les normes et quels effets négatifs ils peuvent avoir sur le milieu marin.

❖ pH :

Le pH mesure si une eau est acide ou basique. Pour l'eau de mer, la norme est entre 7,5 et 8,4. Reste globalement stable et conforme aux normes, avec une légère augmentation de l'eau brute (EB) en 2026, précisément la limite maximale autorisée, et concerne l'eau de rejet, les valeurs demeurent systématiquement inférieures à celles de l'eau brute correspondante 7,96 en 2019 ; 8,13 en 2025 ; 8,31 en 2026, ce qui s'explique par la nature physico-chimique du processus membranaire d'osmose inverse. Reflétant un bon équilibre acido-basique sans signe d'acidification.

❖ Température :

La température de l'eau brute augmente régulièrement au fil des années : 16,37°C en 2019, 19,01°C en 2025, 19,37°C en 2026. Cette hausse progressive est probablement liée au réchauffement climatique général de la mer méditerranée.

L'eau de rejet après traitement présente systématiquement une température légèrement supérieure à celle de l'eau brute. Cet écart s'explique naturellement par la chaleur dégagée par les pompes et les membranes de filtration. Cette différence reste modérée, et toutes les valeurs restent dans les normes (18-25°C). Ce qui pourrait contribuer à un déséquilibre thermique local dans l'environnement marin.

❖ Turbidité :

La turbidité mesure la quantité de particules en suspension, en 2019 et 2025 tout fonctionne normalement : l'eau brute est plus trouble que l'eau de rejet, ce qui confirme que la filtration est efficace. En 2026, on observe une situation anormale : l'eau brute est très claire (0,61 NTU) mais l'eau de rejet est plus trouble (1,41 NTU). Cela s'explique par le fait que les membranes d'ultrafiltration du Stream 02 n'ont pas été changées, contrairement au Stream 01 dont les membranes neuves donnent d'excellents résultats.

Un rejet trouble bloque la lumière du soleil dans l'eau, ce qui réduit la photosynthèse des algues et des plantes marines.

Chapitre V : Résultats et discussions

❖ La salinité, la conductivité électrique et TDS :

Les indicateurs de **salinité**, de **conductivité électrique** et de **TDS** (Total Dissolved Solids) sont trois paramètres physico-chimiques très importants. Ils mesurent la quantité des substances dissoutes dans l'eau, mettent en évidence des préoccupations majeures en termes d'impact environnemental.

Plus une eau est chargée en sels et en ions, plus sa **conductivité** est élevée, plus son **TDS** est important, et plus sa **salinité** est élevée.

La conductivité électrique, la salinité, et TDS de l'eau de mer brute est restée stable et conforme aux normes tout au long la période étudiée (2019/2025/2026), tandis que les eaux de rejet présentent une charge ionique et saline bien supérieure aux valeurs naturelles, avec un pic critique en 2025 et une amélioration en 2026.

La salinité de l'eau rejetée, déjà élevée en 2019 (60 g/L), atteint un niveau critique en 2025 (67 g/L), et en 2026 (46,79 g/l) bien au-delà des normes fixées (35–38 g/L).

Cette hyper salinité est accompagnée d'une forte augmentation de **la conductivité électrique** des rejets, qui passe de 95,0 ms/cm en 2019 à 135,2 ms/cm en 2025, et de 71,99 ms/cm en 2026, alors que la norme ne doit pas excéder 60 ms/cm. De même, les niveaux de **TDS** dans les rejets restent extrêmement élevés sur les trois années (68 0g/l en 2019 contre 67,3 g/l en 2025, et 50,39g/l en 2026), bien au-delà de la limite de 40 g/l, ce qui indique une charge minérale excessive et persistante. Ces niveaux élevés représentent un risque direct pour la biodiversité marine, les rejets hyper concentrés provoquent un stress osmotique chez les organismes marins et menacent directement les herbiers de *Posidonia oceanica*, très sensibles aux excès de salinité.

En conclusion, tant que la qualité de l'eau brute reste relativement constante et respecte les normes environnementales, on observe toutefois une dégradation considérable des rejets aux trois périodes étudiées (2019, 2025 et 2026), telles que la salinité, la conductivité et les solides dissous.

Ces résultats mettent en évidence le besoin de réaliser des actions de contrôle des rejets, comme la dilution, le rejet en profondeur ou le traitement secondaire, afin de réduire les impacts sur l'écosystème marin côtier. Il est également essentiel de respecter les normes environnementales favorables et garantir un fonctionnement durable de l'usine de dessalement.

V.4. Recommandations et Perspectives pour la gestion des rejets de saumures :

V.4.1. Recommandations :

V.4.1.1. Techniques de dilution et de dispersion :

Une approche courante de la gestion des rejets de saumure consiste à utiliser des techniques de dilution et de dispersion. Il s'agit de mélanger soigneusement la saumure rejetée avec de grandes quantités d'eau de mer afin de réduire la concentration des sels dissous. Les études hydrodynamiques et les modèles de dispersion sont souvent utilisés pour déterminer les meilleurs emplacements de rejet et les taux de dilution nécessaires pour minimiser l'impact sur l'environnement marin. (BETTAHAR, 2025).

Avantages de l'utilisation de Méthodes de Dilution et de Dispersion :

- **Réduction de la concentration en sel :** L'objectif principal de cette méthode est de réduire la concentration en sel (salinité) des saumures avant qu'elles ne soient déversées dans l'océan. En diluant la saumure avec de grandes quantités d'eau de mer, la concentration en sel est rapidement ramenée à des niveaux proches de ceux que l'on trouve dans la mer. La concentration en sel est ainsi ramenée à des niveaux proches de ceux de l'eau de mer naturelle.
- **Minimiser l'impact sur l'environnement :** En réduisant la salinité des saumures rejetées, cette approche vise à minimiser les effets négatifs sur l'environnement. cette approche vise à minimiser les effets négatifs sur les organismes marins, y compris les coraux, les poissons et les plantes marines. Cela permet de maintenir l'équilibre des écosystèmes côtiers.
- **Utilisation des courants marins :** Les courants marins peuvent être exploités pour faciliter la dispersion rapide des saumures dans l'océan, ce qui permet d'éloigner les saumures des zones sensibles et de les mélanger plus efficacement. éloigner les saumures des zones sensibles et de les mélanger plus efficacement. (BETTAHA, 2025)

V.4.1.2. Réutilisation et Recyclage des saumures :

La réutilisation et le recyclage de la saumure sont des stratégies innovantes qui permettent de maximiser l'utilisation des ressources et de réduire l'impact environnemental des rejets de saumure. Voici plus de détails sur cette recommandation, accompagnés de citations d'exemples réels d'usines de dessalement à travers le monde :

Exemples d'usines de dessalement appliquant la réutilisation et le recyclage :

1. Tampa Bay, Floride, États-Unis : Cette usine de dessalement est un exemple réussi de réutilisation et de recyclage de la saumure. Elle utilise la saumure pour alimenter des réservoirs

Chapitre V : Résultats et discussions

d'eau salée, créant ainsi des écosystèmes uniques adaptés à des espèces marines spécifiques. Cette approche permet de réutiliser la saumure au lieu de la rejeter directement dans l'océan.

2. Perth, Australie : À Perth, une partie de la saumure est traitée pour en **extraire du sel** et de **l'eau douce**, créant ainsi deux produits utiles. L'eau douce récupérée est réutilisée pour l'irrigation, tandis que le sel est commercialisé. (BETTAHAR, 2025).

Avantage :

- **Optimisation des Ressources :** La réutilisation et le recyclage de la saumure optimisent l'utilisation des ressources, en transformant un sous-produit en une ressource utile.
- **Réduction de la Quantité de Saumures Rejetées :** la réutilisation d'une partie de la saumure permet de réduire la quantité de saumure rejetée dans l'océan, ce qui contribue à minimiser l'impact sur l'environnement.
- **Diversification des Applications :** Les saumures réutilisées peuvent être utilisées pour diverses applications, telles que l'irrigation, le contrôle de la salinité dans les écosystèmes marins artificiels ou la récupération des minéraux.

Considérations Environnementales :

- La réutilisation et le recyclage nécessitent des installations de traitement supplémentaires pour traiter les saumures en vue de les rendre adaptées à de nouvelles utilisations.
- Les normes environnementales locales et les réglementations gouvernementales doivent être respectées afin de garantir que la réutilisation des saumures n'ait pas d'impacts négatifs sur l'environnement. La réutilisation et le recyclage des saumures représentent des stratégies prometteuses pour transformer un déchet potentiel en une ressource utile. Ces exemples concrets d'usines de dessalement montrent comment ces approches sont mises en œuvre avec succès dans le monde entier, apportant des avantages environnementaux et économiques significatifs. (BETTAHAR, 2025)

V.5. Réutilisation de la Saumure :

Les saumures peuvent être réutilisées pour diverses applications, telles que l'irrigation agricole, la production de sel, la régénération de résines échangeuses d'ions, la production d'énergie osmotique, etc.

Récupération des Minéraux : Les saumures contiennent souvent des minéraux précieux tels que le magnésium, le lithium ou le brome. Ces minéraux peuvent être extraits et commercialisés. (BETTAHAR, 2025)

Conclusion :

En conclusion, les données des analyses des paramètres physico-chimiques de la station de dessalement d'EL Magtaa TMM, montrent l'équilibre physique et chimique au niveau des eaux de rejet (ER) et de l'eau de mer brute (EB).

Les résultats montrent clairement que l'eau de mer restée stable et conforme aux normes, et les eaux de rejet présentent à une augmentation en ce qui concerne quelques paramètres physico-chimiques étudiés, notamment la salinité, la TDS et la conductivité.

La gestion des rejets de saumures dans le cadre du dessalement de l'eau de mer a permis d'approfondir l'importance cruciale de cette question environnementale et technologique.

Conclusion générale

Conclusion générale

Au terme de ce travail, nous pouvons dire avec sincérité que le dessalement de l'eau de mer n'est plus aujourd'hui un choix facultatif pour l'Algérie, c'est une nécessité absolue. Notre pays souffre d'un stress hydrique qui s'aggrave d'année en année, et les ressources en eau traditionnelles ne peuvent tout simplement plus suivre le rythme d'une population qui grandit et dont les besoins évoluent sans cesse.

Dans ce contexte difficile, la station de dessalement **d'El Magtaa TMM** s'impose comme une réponse concrète et ambitieuse. Par sa capacité de production (500 000 m³/j) remarquable et son rôle central pour la région d'Oran, elle apporte chaque jour de l'eau potable à des millions de citoyens qui en ont besoin. C'est une réalité dont nous devons être fiers, et que nous ne remettons nullement en question.

Cependant, et c'est là tout l'objet de notre travail, « cette production a un coût environnemental réel et mesurable » que nous ne pouvons pas nous permettre d'ignorer plus longtemps, bien que bénéfique pour l'approvisionnement en eau potable, n'est pas sans conséquence sur l'environnement marin.

Tout au long de nos cinq chapitres, nous avons essayé de construire, pas à pas et avec honnêteté, une vision claire et complète de la situation.

Nous avons commencé par replacer le dessalement dans le monde et dans Algérie, pour montrer que l'Algérie ne fait pas exception dans le monde, et que cette technologie s'est transformé globalement une solution essentielle face à la crise de l'eau. Nous avons ensuite plongé dans le détail des procédés techniques, non pas pour les critiquer, mais pour comprendre précisément comment et pourquoi ils génèrent ces rejets que l'on appelle les “**saumures**” c'est des eaux extrêmement salées, chaudes, et chargées de produits chimiques qui retournent à la mer après le processus de traitement.

C'est à ce moment-là que notre analyse a pris toute sa dimension, car nous avons clairement démontré que ces saumures, lorsqu'elles sont rejetées en mer sans précautions suffisantes, perturbent profondément la vie marine. La hausse brutale de la salinité, l'élévation de la température des eaux, le taux élevé de la conductivité, et la matière solide dissoute (TDS), et la présence de résidus chimiques forment un cocktail difficile à supporter pour les organismes marins (par rapport aux normes Algériennes).

Les fonds marins se dégradent, les espèces sensibles reculent, et les herbiers de “**Posidonia oceanica**” ces véritables poumons de la Méditerranée, se trouvent directement menacés.

Conclusion générale

L'analyse effectuée à la station d'El Magtaa TMM nous a permis de monter de manière véritable ces impacts. Nous étions en phase théorique uniquement, face à des données réelles, des mesures précises, comparées aux résultats du 2019 (LARBI N & SAADAOUI S, 2019), et de 2025 (BETTAHAR, 2025)

Nous aurions pu nous arrêter là, à la description du problème. Mais ce n'est pas ainsi que nous concevons le rôle du chercheur. Décrire sans proposer, c'est observer sans agir et nous avons choisi d'aller plus loin.

C'est pourquoi nous avons formulé des solutions concrètes et réalistes, adaptées à notre contexte :

- La **“dilution des rejets”** avant leur déversement en mer, afin de réduire leur concentration et limiter leur impact sur le milieu marin
- Mettre en place un **“suivi environnemental régulier et rigoureux”** de la zone de rejet, pour détecter rapidement toute dégradation et y répondre à temps.
- Valoriser la saumure non plus comme un déchet, mais comme une véritable **“ressource”**, notamment pour **l'extraction de sel marin**
- Réutilisation des saumures en aquaculture et l'agriculture.
- Sensibiliser durablement les responsables et les techniciens à **“l'importance de la protection du milieu marin”**, car aucune solution technique ne peut fonctionner sans une conscience humaine derrière elle.

Au fond, ce mémoire nous a enseigné quelque chose d'essentiel que les manuels n'écrivent pas toujours clairement : **“produire de l'eau potable et protéger la mer ne sont pas deux objectifs contradictoires.”** Ce sont deux responsabilités qui peuvent, et qui doivent, marcher ensemble. Il suffit pour cela d'une volonté sincère, de moyens techniques appropriés, et d'une réglementation qui prend la nature au sérieux.

La mer nous offre généreusement sa matière première. En retour, elle mérite que nous la traitions non pas comme un déversoir commode, mais avec le respect et la responsabilité qu'elle mérite.

Nous espérons du fond du cœur que ce travail, modeste dans ses moyens mais sincère dans ses intentions, pourra apporter une petite contribution utile à la réflexion collective sur la gestion durable des ressources en eau en Algérie. Et nous espérons surtout qu'il encouragera d'autres chercheurs, plus expérimentés ou plus outillés, à poursuivre cette voie avec encore plus de profondeur et de rigueur que nous n'avons pu le faire.

« L'eau est la vie. » La protéger, sous toutes ses formes, est notre devoir commun.

Références

Bibliographiques

Références Bibliographiques

1. **BEDANI Djilali El Amine**, « Etude de la qualité physico-chimique d'une eau dessalée de la station de dessalement MAGTAA rejetée en mer. » Le 31 / 05 /2016, mémoire de master, Université d'Oran
2. **Belkahlabor, H., Abdelbaki, C., et Boutoutaou, D. (2017)**.Environmental impacts of seawater desalination brine disposal along the Algerian coast: A review. *Arabian Journal of Geosciences*, 10(14), 312. Utilité : Justifie l'état des lieux des impacts environnementaux globaux sur l'ensemble de la frange côtière algérienne.
3. **Belkahlabor, H., Abdelbaki, C., et Boutoutaou, D. (2017)**.Environmental impacts of seawater désaliénation brine disposal along the Algerian coast: A review. *Arabian Journal of Geosciences*, 10(14), 312.
4. **Benamar, M., Remili, B., et Boutiba, Z. (2017)**.Impact of brine discharges from the Magtaa desalination plant on the marine environment (Gulf of Arzew, Oran, Algeria). *Journal of Coastal Research*, 33(4), 854-862. Utilité : Apporte l'ancrage local indispensable sur la sensibilité écosystémique de la région d'Oran (El Magtaa / Golfe d'Arzew).
5. **BETTAHAR Sara**, « Diminution de l'impact négatif de dessalement de l'eau de mer sur l'équilibre de l'écosystème marin. » Le 07 /07/2025, mémoire de master, Université Abdelhamid Ibn Badis-Mostaganem
6. **Boyd, C. E. (2015)**.Water quality: An introduction.* Springer International Publishing. *(Ce livre détaille la gestion des nutriments et de la salinité dans les systèmes aquacoles intégrés).*
7. **Chatkaew Tansakul**, « Procèdes hybrides à membrane pour le prétraitement d'eau de mer avant dessalement par osmose inverse. » le 2009, Thèse de doctorat. Université de Toulouse.
8. **Danoun, R. (2007)**. « Dessalement de l'eau de mer : impacts environnementaux des rejets de saumure en Méditerranée. » Thèse de doctorat, Université d'Alger, faculté des Sciences marines
9. **Fernández-Torquemada, Y., Sánchez-Lizaso, J. L., et González-Correa, J. M. (2005)**.Preliminary results of the monitoring of the brine discharge from the El Campello desalination plant (Alicante, SE Spain). *Desalination*, 182(1-3), 365-373.
10. **Glenn, E. P., Brown, J. J., & O'Leary, J. W. (1999)**. *Irri-gating crops with seawater.* *Scientific American*, 281(2), 76-81. *(L'article fondateur sur la physiologie des halophytes comme la Salicorne irriguée par des effluents hyper-salins).*
11. **Hureau, J. C. (1986)**. Mullidae. In: Whitehead, P. J. P., Bauchot, M. L., Hureau, J. C., Nielsen, J., & Tortonese, E. (Eds.), « Fishes of the North-eastern Atlantic and the Mediterranean » (FNAM). UNESCO, Paris, Vol. 2, pp. 877-882.
12. **Kebaïli, N., Mahomed, S., et Taleb, M. (2020)**. Desalination development in Algeria: Strategic choices, water security and sustainable management challenges. *Desalination*, 475, 114170.

Références Bibliographiques

Utilité : Valide scientifiquement l'argument de la "sécurité hydrique" et des choix stratégiques de l'Algérie face au stress hydrique.

13. **Lattemann, S., et Höpner, T. (2008).**Environmental impact and management of SWRO desalination. *Desalination*, 220(1-3), 1-15. Utilité : Référence internationale d'autorité définissant la saumure comme le verrou et le point d'achoppement écologique mondial du dessalement.
14. **Maache younes, kaikaa Aymen** « Etude de l'évaluation de la performance d'une membrane d'osmose inverse d'une station de dessalement » Le 04/07/2023, mémoire de fin d'études, Université d'Oran
15. **MABROUKI Abdelhai, BOUKHORS Ahmed,** « Etude comparative entre les prétraitements conventionnels et l'ultra filtration dans les SDEM par osmose inverse (Beni Saf et El Mactaa TMM) » Le 01/07/2018, mémoire de master, Université des sciences et de la technologie d'Oran Mohamed Boudiaf
16. **Melle Faiza Benbrahim,** « Etude de la qualité des eaux de rejet de la station de dessalement d'eau d'El Mactaa et l'impact sur l'environnement. » le 05 Octobre 2022, mémoire de master, Université des Sciences et de la Technologie -Mohamed Boudiaf- d'Oran
17. **Missimer, T. M., Ghaffour, N., Dehwah, A. H., Rachman, R., Maliva, R. G., & Amy, G. (2013).**Subsurface intakes for seawater reverse osmosis facilities: Capacity limitation, water quality improvement, and environmental benefits.* *Applied Water Science*, 3(2), 361-373.
18. **MLLE BENSLIMANE Nesrine, MLLE AMIROUCHE Mazouza,** « Dimensionnement de la prise d'eau de mer de la station de dessalement d'El Marsa, wilaya d'Alger » Le 25/09/2025, mémoire de fin d'études, Université MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU)
19. **Pankratz, T. (2004).**An overview of seawater intake facilities for desalination plants.* Houston, Texas: CH2M Hill, 1-14.
20. **Pennings, S. C., & Callaway, R. M. (1992).** Salt marsh plant zonation: the relative importance of competition and physical factors. *Ecology*, 73(2), 681-690.
21. **Pérez-González, A., Urtiaga, A. M., Ibáñez, R., & Ortiz, I. (2012).**State of the art and review on the treatment technologies of water desalination brines.* *Water Research*, 46(2), 267-283.
22. **Prado, P., Alcaraz, C., et Ibáñez, C. (2012).**Effects of hyper-saline discharges from desalination plants on benthic macroinvertebrates: A laboratory and field approach. *Marine Pollution Bulletin*, 64(12), 2756-2763.
23. **Riera, R., Tuya, F., Ramos, E., et Monterroso, O. (2012).**Effects of brine discharges from desalination plants on marine meiofauna: An experimental study. *Water Science and Technology*, 66(11), 2412-2418.

Références Bibliographiques

24. **Roberts, David A, Johnston Emma L, et Knott Nathan A, (2010).**Impacts of desalination plant discharges on the marine environment: A critical review of published studies. *Water Research*, 44(18), 5117-5128.
25. **Sadhwani, J. J., Veza, J. M., et Santana, C. (2005).**Case studies on environmental impact of seawater desalination plants in the Canary Islands. *Désaliénation*, 185(1-3), 23-34.
26. **Sánchez-Lizaso, J.-L., Romero, J., Ruiz, J., et Gacia, E. (2008).**Salinity tolerance of the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica* : recommendations to minimize the impact of desalination plant discharges. *Desalination*, 221(1-3), 602-607.
27. **Sarà, G., Scilipoti, D., Milazzo, M., & Modica, A. (2011).***Use of brine from desalination plants to feed aquaculture species: A sustainable approach.* *Marine Pollution Bulletin*, 62(10), 2101-2107. *(Étude spécifique démontrant la viabilité de la croissance de poissons et de mollusques nourris au moyen d'effluents contrôlés d'osmose inverse).
28. **TMM., 2008-**Tahliyat Miyah Magtaa. Manuel des exigences légales en matière D'hygiène, Santé et Sécurité et d'environnement.
29. **YOUSFI Amazigh ; CHEDIK Lynda, « étude des rejets de saumure des usines de dessalement de l'eau de mer en utilisant l'imagerie satellite » le 03/07/2024,** mémoire de fin d'études, Université MOULOUDE MAMMERI DE TIZI-OUZOU