

Faculty of Sciences and Technology
Department of Process Engineering
Ref :...../U.M/F.S.T/2025

كلية العلوم والتكنولوجيا
قسم هندسة الطرائق
رقم :..... / ج.م.ك.ع.ت // 2025

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES DE MASTER ACADEMIQUE

Filière : **GÉNIE DES PROCÉDÉS**

Option : **GÉNIE DES PROCÉDÉS DE L'ENVIRONNEMENT**

THÈME

Etude comparative saisonnière des propriétés physico-chimiques et organoleptiques de l'eau au niveau de la station de dessalement de Sonacter-Mostaganem

Présenté par

ABBASSA Roufaïda

Soutenu le **02/06/ 2025** devant le jury composé de :

Président :	AZIZ Abdellah	Professeur	Université de Mostaganem
Examinatrice :	MANSOUR HAFIFI Meriem	MCB	Université de Mostaganem
Rapporteuse :	BESBES Anissa	MCA	Université de Mostaganem

Dédicaces

À mes parents et ma famille,

Pour votre soutien, vos encouragements et vos mots qui font du bien.

À mes amis(es),

Pour les conseils, et cette belle énergie que vous m'avez apportée tout au long de ce parcours.

À toutes les personnes qui m'ont inspirée, aidée ou simplement cru en moi,
Je vous dédie ce travail avec toute ma gratitude.

Remerciements

Ce travail représente bien plus qu'un simple aboutissement académique ; c'est l'empreinte d'un parcours construit avec l'aide et la présence de nombreuses personnes que je tiens à remercier sincèrement.

Je remercie tout particulièrement **Dr BESBES Anissa** pour son encadrement, ses conseils judicieux et son accompagnement tout au long de ce travail.

Mes remerciements vont également à **Pr Abdellah AZIZ** et **Dr MANSOUR HAFIFI Meriem**, qui m'ont fait l'honneur d'accepter d'évaluer ce travail en tant que membres du jury.

Enfin, je tiens à adresser un grand merci à **l'équipe de la station de dessalement de Mostaganem**, pour leur accueil chaleureux et leur précieuse aide lors de la collecte des données.

Liste des figures

Figure I-1 : Principe de l'osmose et de l'osmose inverse.....	10
Figure I-2 : Structure des membranes d'osmose inverse en polyamide.....	12
Figure II-1 : Vue générale et situation géographique de la station de dessalement.....	19
Figure II-2 : Système de pompage de l'eau de mer.....	20
Figure II-3 : Filtration 1 ^{ère} étape.....	24
Figure II-4 : Filtration 2 ^{ème} étape.....	25
Figure II-5 : Membrane d'osmose inverse.....	28
Figure II-6 : Réservoirs de stockage de CO ₂	30
Figure II-7 : Lit de calcite.....	31
Figure III-1 : Panneau d'analyse multi paramètre	36
Figure III-2 : pH mètre électronique	37
Figure III-3 : Turbidimètre	38
Figure III-4 Conductimètre.....	40
Figure III-5 : Schémas experimental utilisé pour l'analyse de la dureté totale.....	41
Figure III-6 : Réservoir de l'anti-scalant.....	46

Liste des tableaux

Tableau I-1 : Composition de l'eau de mer (35g/L).....	4
Tableau II-1 : Caractéristiques de la couche de filtration de deuxième étape.....	24
Tableau II-2 : Caractéristiques des membranes.....	27
Tableau II-3 : Caractéristiques de carbonate de chaux.....	31
Tableau III-1 : Valeurs des températures en (°C).....	35
Tableau III-2 : Valeurs du pH.....	37
Tableau III-3 : Valeurs de la turbidité (en NTU)	38
Tableau III-4 : Valeurs de la conductivité (en $\mu\text{s}/\text{cm}$)	39
Tableau III-5 : Valeurs de la dureté (en ppm CaCO_3).....	41
Tableau III-6 : Valeurs de la teneur en calcium (en ppm).....	42
Tableau III-7 : Valeurs de la teneur en chlore (en mg/L).....	43
Tableau III-8 : Valeurs du TAC (en ppm CaCO_3).....	44

Liste des abréviations

ADE	Algérienne des eaux
CSR	Conditions standard de récupération
ERI	Energy recovery devices (récupérateurs d'énergie)
PEHD	Polyéthylène haute densité
PRFV	Plastique renforcé de fibres de verre
mca	Mètre de colonne d'eau
ppm	Partie par million
pH	Potentiel hydrogène
TAC	Titre alcalimétrique complet
MES	Matières en suspensions
MTD	Matières totales dissoutes

Résumé

Ce mémoire porte sur l'évaluation des performances d'une station de dessalement d'eau de mer, avec une attention particulière portée à la qualité de l'eau potable produite. L'objectif principal est de comprendre le fonctionnement du procédé de dessalement, en particulier l'osmose inverse, d'identifier les paramètres influençant la qualité de l'eau, et d'envisager des pistes d'optimisation.

La première partie est consacrée à l'étude des différentes techniques de dessalement, en mettant l'accent sur la station de Mostaganem, dont les caractéristiques techniques, la capacité et le fonctionnement sont détaillés. La seconde partie analyse les paramètres physico-chimiques de l'eau produite à travers des campagnes de mesures réalisées en deux saisons différentes, avec une comparaison aux normes de potabilité en vigueur.

Les résultats obtenus révèlent une qualité d'eau globalement satisfaisante, malgré quelques écarts ponctuels, notamment au niveau de la dureté, pouvant être corrigés par des ajustements techniques. Des recommandations sont ainsi proposées pour optimiser les performances du traitement, tout en soulignant l'importance d'un suivi rigoureux et continu.

L'efficacité du dessalement tout au long de l'année est confirmée, ce qui en fait une solution durable pour l'approvisionnement en eau potable, tout en soulignant l'importance d'un contrôle qualité rigoureux au sein des stations de traitement.

Abstract

This thesis focuses on evaluating the performance of a seawater desalination plant, with particular attention given to the quality of the potable water produced. The main objective is to understand the desalination process (especially reverse osmosis) identify the key parameters affecting water quality, and explore potential optimization strategies.

The first part is dedicated to studying the various desalination techniques, with a focus on the Mostaganem plant, detailing its technical characteristics, capacity, and overall operation. The second part analyzes the physico-chemical parameters of the water produced, based on measurement campaigns conducted during two different seasons, and compares the results to current drinking water standards.

The findings indicate an overall satisfactory water quality, despite some occasional deviations, particularly in terms of hardness, which can be corrected through technical adjustments. Accordingly, several recommendations are proposed to enhance treatment performance, while emphasizing the importance of continuous and rigorous monitoring. The year-round effectiveness of the desalination process is confirmed, reinforcing its status as a sustainable solution for drinking water supply, while also highlighting the critical role of stringent quality control in treatment facilities.

ملخص

تناول هذا البحث تقييم أداء محطة لتحلية مياه البحر، مع التركيز بشكل خاص على جودة مياه الشرب المنتجة. الهدف الرئيسي هو فهم كيفية عمل عملية التحلية، وخاصة تقنية التناضح العكسي، وتحديد العوامل التي تؤثر على جودة المياه، واقتراح سبل لتحسين الأداء.

تُخصص الجزء الأول لدراسة مختلف تقنيات التحلية، مع التركيز على محطة مستغانم، حيث تم تقديم وصف مفصل لخصائصها التقنية، وطاقة إنتاجها، وآلية تشغيلها. أما الجزء الثاني، فيتناول تحليل الخصائص الفيزيائية والكيميائية للمياه المنتجة، من خلال حملات قياس أجريت خلال فصلين مختلفين، مع مقارنة النتائج بالمعايير المعتمدة لمياه الشرب.

وقد أظهرت النتائج أن جودة المياه كانت مرضية بشكل عام، رغم وجود بعض الانحرافات الطفيفة، خاصة فيما يتعلق بصلاية المياه، والتي يمكن تصحيحها من خلال تعديلات تقنية. بناءً على ذلك، تم اقتراح مجموعة من التوصيات لتحسين كفاءة المعالجة، مع التأكيد على أهمية المتابعة الدقيقة والمستمرة.

تؤكد الدراسة فعالية التحلية على مدار العام، مما يجعلها حلاً مستداماً لتوفير مياه الشرب، مع التشديد على أهمية الرقابة الصارمة على الجودة داخل محطات المعالجة.

Table des matières

Dédicaces.....	i
Remerciements	ii
Liste des figures.....	iii
Liste des tableaux	iv
Liste des abréviations	v
Résumé	vi
Introduction Générale.....	- 1 -
Chapitre I : Généralités sur le dessalement	
I.1 Introduction	3
I.2 Eau de mer.....	3
I.2.1 Composition des eaux de mer	3
I.2.2 Caractéristiques des eaux de mer	4
I.3 Définition du dessalement.....	5
I.4 Dessalement en Algérie	5
I.5 Coûts du dessalement	5
I.6 Etapes de dessalement de l'eau de mer	7
I.7 Principaux procédés utilisés dans le dessalement	9
I.7.1 Procédés membranaires	9
I.7.1.1 Osmose inverse.....	9
I.7.1.2 Principe de L'osmose	9

I.7.1.3 Principe de L'osmose inverse.....	10
I.7.1.4 Mécanisme de transfert	11
I.7.1.5 Polarisation de concentration théorie du film.....	11
I.7.1.6 Membranes	11
I.7.2 Procédés par distillation	12
I.7.3 Autres procédés de dessalement.....	13
I.8 Paramètre de choix d'un procédé de traitement	13
I.9 Impact environnemental du dessalement	13
I.10 Avantages et inconvénients du dessalement	15
I.11 Critères et normes de potabilité.....	16
I.12 Conclusion.....	17

Chapitre II: Présentation de la station de dessalement de l'eau de mer de Mostaganem- 18

-

II.1 Introduction.....	18
II.2 Situation Géographique.....	19
II.3 Fonctionnement de la station.....	19
II.3.1 Captage et pompage de l'eau de mer.....	20
II.3.1.1 Tours de captage et tuyauterie de captage.....-	20
II.3.1.2 Système anti-méduses.....	21
II.3.1.3 Système d'amorçage des pompes de l'eau de mer.....	21
II.3.1.4 Système de pompage de l'eau de mer.....	21

II.3.2 Système de prétraitement.....	21
II.3.2.1 Conditionnement chimique.....	21
II.3.2.2 Système de filtration.....	23
II.3.2.3 Système de nettoyage des filtres.....	25
II.3.2.4 Système de microfiltration.....	26
II.3.3 Système d’osmose inverse.....	26
II.3.3.1 Système de pompage haute pression, pompes boosters et récupérateurs	26
II.3.3.2 Châssis d’osmose inverse.....	27
II.3.3.3 Nettoyage chimique	28
II.3.4 Système de reminéralisation.....	29
II.3.4.1 Dosage de CO ₂	30
II.3.4.2 Lits de calcite	30
II.3.4.3 Dosage de chlore résiduel.....	32
II.3.5 Stockage et impulsion de l’eau produite	32
II.4 Conclusion.....	32

Chapitre III : Evaluation des performances de la station

III.1 Introduction.....	34
III.2 Evaluation des paramètres Organoleptiques.....	34
III.2.1 Couleur.....	34
III.2.2 Odeur.....	35

III.3 Evaluation des paramètres physico-chimiques.....	35
III.3.1 Température.....	35
III.3.2 Potentiels d'hydrogène.....	36
III.3.3 Turbidité.....	38
III.3.4 Conductivité	39
III.3.5 Dureté totale.....	40
III.3.6 Le calcium.....	42
III.3.7 Le chlore résiduel.....	43
III.3.8 TAC (Titre Alcalimétrique Complet).....	44
III.4 Principaux problèmes de la station et leurs solutions	45
III.4.1 Qualité variable de l'eau d'alimentation.....	45
III.4.1.1 Problème.....	45
III.4.1.2 Solution	45
III.4.2 Encrassement des membranes.....	45
III.4.2.1 Problème.....	45
III.4.2.2 Solution.....	46
III.4.3 Colmatage des filtres.....	46
III.4.3.1 Problèmes.....	46

III.4.3.2 Solutions.....	46
III.4.4 Consommation énergétique élevée.....	47
III.4.4.1 Problème.....	47
III.4.4.2 Solution	47
III.4.5 Production de saumure concentrée.....	47
III.4.5.1 Problème.....	47
III.4.5.2 Solution.....	47
III.4.6 Durée de vie limitée des membranes.....	47
III.4.6.1 Problème.....	47
III.4.6.2 Solution	47
III.4.7 Corrosion des équipements.....	48
III.4.7.1 Problème.....	48
III.4.7.2 Solution.....	48
III.5 Conclusion.....	48
Conclusion générale et recommandations.....	- 49 -
Bibliographie.....	- 50 -

Introduction Générale

L'eau, indispensable à la vie, demeure pourtant difficile d'accès pour une grande partie de la population mondiale. Bien que près de 70 % de la surface terrestre soit recouverte d'eau, seule une faible portion (2,5 %) est de l'eau douce, et moins de 1 % est réellement disponible pour la consommation humaine [1]. Cette ressource limitée est mise à rude épreuve par la croissance démographique, l'urbanisation accélérée et les effets du changement climatique, qui intensifient la pression sur les réserves d'eau potable.

La crise mondiale de l'eau potable constitue aujourd'hui un enjeu préoccupant. D'après le rapport 2023 des Nations Unies sur l'eau [2], environ 2,2 milliards de personnes n'ont pas accès à une eau potable sécurisée, tandis que près de 4 milliards subissent un stress hydrique sévère pendant au moins un mois chaque année. Cette réalité a des répercussions graves : prolifération des maladies liées à l'eau, aggravation de l'insécurité alimentaire et montée des tensions géopolitiques autour de cette ressource vitale.

Pour répondre à cette crise, diverses solutions sont explorées afin de garantir un approvisionnement durable en eau potable. Parmi celles-ci, le dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres s'impose comme une option de plus en plus privilégiée, notamment dans les zones arides ou côtières où l'eau douce se fait rare. Les progrès technologiques ont permis de produire de grandes quantités d'eau potable par ce procédé, mais cette approche n'est pas sans poser des questions, tant sur le plan économique qu'environnemental, nécessitant ainsi une évaluation rigoureuse de ses impacts.

L'Algérie fait partie des pays ayant eu recours au dessalement pour pallier l'insuffisance de ses ressources en eau. Ces dernières années, elle a privilégié les procédés membranaires, en particulier l'osmose inverse, comme solution stratégique. Dans cette optique, le pays a mis en œuvre un programme ambitieux, notamment avec l'installation de 23 stations de dessalement « Monobloc », réparties le long de son littoral qui s'étend sur plus de 1 200 kilomètres.

Le présent travail, effectué à la station de dessalement de l'eau de mer Sonacter située dans la wilaya de Mostaganem, a pour objectif d'étudier l'impact des variations saisonnières sur la qualité physico-chimique et organoleptique de l'eau produite par dessalement à cette station, L'analyse repose sur une série de tests permettant d'évaluer les caractéristiques de l'eau, en les comparant aux normes de potabilité établies par l'Organisation mondiale de la santé (OMS) et par la réglementation algérienne.

Pour aboutir à notre objectif, notre mémoire comporte trois chapitres :

- Des généralités sur le dessalement et les principaux procédés utilisés sont donnés au **premier chapitre**.
- **Le deuxième chapitre** est consacré à la présentation de la station de dessalement et son fonctionnement.
- **Le troisième chapitre** présente les résultats des analyses, accompagnés de leur discussion et interprétation. Il aborde également certains problèmes majeurs rencontrés au sein de la station, ainsi que les solutions proposées pour les atténuer

Chapitre I

Généralités sur le dessalement

I.1 Introduction

Le dessalement de l'eau représente une solution de plus en plus adoptée pour faire face à la pénurie d'eau douce dans de nombreuses régions du globe. Face à la croissance démographique et aux effets du changement climatique, la demande en eau potable ne cesse d'augmenter, faisant de cette technologie un levier essentiel pour garantir un approvisionnement durable.

I.2 Eau de mer

L'eau de mer est une solution complexe, renfermant tous les éléments essentiels à la vie tels que les minéraux ainsi que divers oligo-éléments.

I.2.1 Composition des eaux de mer

Les principaux composants de l'eau de mer sont présents en concentrations relativement constantes. On y retrouve 11 éléments majeurs dissous sous forme de sels minéraux, classés par ordre d'abondance dans l'eau pure : **Chlorures (Cl^-) ; Sodium (Na^+) ; Sulfate (SO_4^{2-}) ; Magnésium (Mg^{2+}) ; Calcium (Ca^{2+}) ; Potassium (K^+) ; Bicarbonate (HCO_3^-) ; Bromure (Br^-) ; acide borique ($\text{B}(\text{OH})_3$) ; carbonate (CO_3^{2-})**, Mais on trouve également sous forme de traces des ions de **strontium, lithium, rubidium, baryum, de l'uranium, du vanadium, des ions fers, du titane, des ions aluminium**. Elle contient également des matières organiques, en concentration généralement comprise entre 0,5 et 2 mg/L, ainsi que des gaz dissous provenant de l'atmosphère tel que : azote (64 %) ; oxygène (34 %) ; dioxyde de carbone (CO_2) (1,8 %). L'eau de mer est faiblement alcaline, son pH varie généralement entre 7,5 et 8,4 [3]. L'un des traits les plus caractéristiques de l'eau de mer reste sa salinité, c'est-à-dire sa teneur en sels dissous principalement des chlorures de sodium et de magnésium, des sulfates et des carbonates. En moyenne, la salinité des mers et océans atteint environ 35 g/L [4]. La solubilité des gaz dans l'eau varie considérablement en fonction de la température : elle augmente lorsque

la température diminue. En revanche, elle diminue avec l'augmentation de la salinité. Le dioxyde de carbone (CO₂), quant à lui, présente un comportement plus complexe, puisqu'il réagit avec l'eau pour former de l'acide carbonique. Ce dernier interagit ensuite avec les ions bicarbonate et carbonate présents dans le milieu. Par ailleurs, les concentrations de CO₂ et d'O₂ dans l'eau dépendent non seulement des échanges gazeux avec l'atmosphère, mais aussi des processus métaboliques liés à l'activité (ou à l'absence) des organismes biologiques dans l'océan.

I.2.2 Caractéristiques des eaux de mer

La salinité de l'eau de mer varie selon les régions. La plus faible a été enregistrée en mer Baltique, avec une salinité de 17 g/L, tandis que la plus élevée se trouve en mer Méditerranée, atteignant jusqu'à 270 g/L [5]. D'après [6] la salinité moyenne des mers et des océans est d'environ 35 g/L. Cette variation s'explique par plusieurs facteurs climatiques. Par exemple, à l'équateur, où les précipitations sont abondantes et la couverture nuageuse réduit l'intensité du rayonnement solaire, la salinité est généralement inférieure à celle des zones tropicales, où elle peut atteindre jusqu'à 37 ‰ [7]

Tableau I-1 : Composition de l'eau de mer(35g/L) [8].		
Sels	Concentrations	
NaCl	27.2 g/L	78%
MgCl₂	3.8 g/L	11%
MgSO₄	1.7 g/L	5%
CaSO₄	1.26 g/L	3.5%
K₂SO₄	0.86 g/L	2.4%

I.3 Définition du dessalement

Le dessalement, également appelé dessalage, est un procédé qui consiste à séparer l'eau des sels qu'elle contient, à partir d'une eau brute, qu'il s'agisse d'eau de mer ou d'eau saumâtre d'origine continentale. Il peut également être défini comme une technique permettant d'éliminer le chlorure de sodium (NaCl) de l'eau de mer. Afin de faire face aux pénuries d'eau, des systèmes sont mis en place pour produire de l'eau douce à partir de sources salines. Le dessalement représente une ressource alternative et complémentaire, répondant à des besoins bien identifiés. Toutefois, son utilisation doit être comparée, d'un point de vue technico-économique, à d'autres solutions comme le transfert d'eau douce, afin d'assurer le choix le plus pertinent. Intégré dans la stratégie nationale de gestion de l'eau, le dessalement constitue l'un des leviers majeurs, en s'inscrivant dans une logique de gestion intégrée et durable des ressources hydriques. Il permet non seulement de renforcer la disponibilité en eau, mais aussi d'améliorer la qualité de l'eau distribuée [9].

I.4 Dessalement en Algérie

Actuellement, l'Algérie produit dans les 23 stations de dessalement entre 2,2 et 3,7 millions de mètres cubes d'eau dessalée par jour. Avec la mise en service prévue de six nouvelles stations d'ici 2030, représentant un investissement de trois milliards de dollars, la capacité de production devrait atteindre environ 5,8 millions de mètres cubes par jour. L'objectif affiché est de couvrir 60 % des besoins nationaux en eau potable grâce au dessalement, contre seulement 18 % à ce jour. Ces efforts soutenus permettent à l'Algérie de se positionner comme un acteur majeur du dessalement dans le bassin méditerranéen. D'après une étude de la Fondation méditerranéenne d'études stratégiques, le pays se classe aujourd'hui au deuxième rang en termes de production annuelle, avec 631 millions de mètres cubes d'eau dessalée [10].

I.5 Coût du dessalement

Le coût de la production d'eau potable par dessalement dépend de divers facteurs d'ordre technique, économique et environnemental. Il peut être réparti en plusieurs grandes catégories :

I.5.1 Coûts d'investissement

Il s'agit des investissements initiaux nécessaires à la mise en place de l'usine de dessalement et de ses infrastructures connexes. Ces coûts englobent notamment :

- **Les équipements** : membranes d'osmose inverse, évaporateurs, pompes, filtres, etc.

- **Les infrastructures** : systèmes de captage de l'eau de mer, unités de prétraitement, dispositifs de rejet de la saumure, ainsi que les installations de stockage et de distribution de l'eau traitée.
- **Les frais d'ingénierie et de construction** : études techniques et environnementales, conception, main-d'œuvre et mise en service.

Le montant total de ces investissements varie selon la taille de l'installation, la technologie utilisée et son emplacement. Les grandes unités profitent généralement d'économies d'échelle, ce qui permet de réduire le coût de production par mètre cube d'eau [11].

I.5.2 Coûts d'exploitation et de maintenance

Ces coûts sont récurrents et représentent la majeure partie du coût total sur la durée de vie de l'usine. Ils comprennent :

- **L'énergie** : Le dessalement, notamment par osmose inverse, est un procédé fortement consommateur d'énergie, en raison de la pression élevée requise pour faire passer l'eau à travers les membranes. L'énergie représente ainsi une composante majeure des coûts d'exploitation.
- **Les produits chimiques** : Utilisés lors du prétraitement pour prévenir l'encrassement des membranes, et lors du post-traitement pour reminéraliser l'eau et la rendre potable.
- **La maintenance** : Les équipements, en particulier les membranes de filtration, nécessitent un entretien régulier ainsi que des remplacements périodiques, ce qui engendre des frais supplémentaires.
- **La gestion des rejets** : L'élimination de la saumure (un effluent riche en sel et en produits chimiques) doit être rigoureusement encadrée afin de limiter les impacts environnementaux. Cela peut impliquer la mise en place de systèmes spécifiques de traitement et d'évacuation, souvent coûteux.

I.5.3 Facteurs influençant les coûts

Plusieurs facteurs influencent également les coûts de fonctionnement d'une installation de dessalement :

- **La qualité de l'eau brute** : Une teneur élevée en sel et en impuretés complique le traitement, augmentant ainsi les coûts.

- **La localisation géographique** : Les frais liés au transport de l'eau, la disponibilité d'une source d'énergie à proximité et les conditions environnementales locales jouent un rôle déterminant dans les dépenses globales.
- **La taille du projet** : Les grandes unités de dessalement profitent d'économies d'échelle, ce qui permet de réduire le coût de production par unité d'eau.
- **Le progrès technologique** : Les avancées dans le développement de membranes plus performantes, l'intégration des énergies renouvelables (telles que le solaire ou l'éolien), ainsi que l'optimisation des procédés contribuent progressivement à la baisse des coûts de dessalement [12].

I.6 Etapes du dessalement

Le dessalement de l'eau de mer suit plusieurs étapes essentielles pour produire de l'eau potable ou utilisable dans l'industrie [13]. Voici les principales étapes du processus :

I.6.1 Prélèvement de l'eau de mer

L'eau est captée à partir de la mer via :

- Une prise d'eau en surface (plus simple mais plus exposée aux contaminants).
- Une prise d'eau souterraine ou par puits de plage (plus coûteuse mais permet une eau de meilleure qualité).

I.6.2 Prétraitement

Le prétraitement est essentiel pour éviter l'encrassement des membranes et optimiser la performance des systèmes. Il comprend :

- **Filtration** : Elimination des particules en suspension (sable, algues, micro-organismes) à l'aide de filtres à sable ou à cartouches.
- **Traitement chimique** : Ajout d'anti-incrustants et de chlore pour empêcher le développement biologique et l'encrassement des membranes.
- **Neutralisation du chlore** (en cas d'osmose inverse) pour éviter d'endommager les membranes.

I.6.3 Dessalement

Il existe deux principales technologies :

a) L'osmose inverse (technologie membranaire)

- L'eau de mer est mise sous haute pression (60-80 bars) pour traverser une membrane semi-perméable qui retient le sel et laisse passer l'eau pure.
- Ce procédé est le plus utilisé dans le monde, notamment parce qu'il est plus économe en énergie que les méthodes thermiques.
- Il consomme environ 3 à 5 kWh/m³ d'eau traitée, soit 60 % de l'énergie totale du processus.

b) Les procédés thermiques (distillation multi-effets, distillation flash, etc.)

- L'eau de mer est chauffée pour être évaporée, puis refroidie pour se condenser sous forme d'eau douce.
- Ces procédés sont utilisés principalement dans les pays où l'énergie est peu coûteuse, comme ceux du Moyen-Orient.
- Consommation énergétique plus élevée, environ 10 à 15 kWh/m³.

I.6.4 Post-traitement et reminéralisation

Après le dessalement, l'eau obtenue est souvent trop pure (pauvre en minéraux), ce qui peut poser des problèmes de santé et de corrosion des canalisations.

- Reminéralisation : Ajout de calcium et de magnésium pour équilibrer le pH et améliorer la qualité gustative de l'eau.
- Désinfection finale : Chloration ou traitement par UV pour garantir la sécurité microbiologique avant distribution.

I.6.5 Gestion des rejets de saumure

Le dessalement produit un sous-produit appelé saumure, qui est une eau très concentrée en sel et en produits chimiques. Sa gestion est essentielle pour limiter les impacts environnementaux.

- Rejet en mer avec dilution préalable : La saumure est mélangée avec de l'eau de mer pour éviter des concentrations trop élevées en sel, qui pourraient nuire aux écosystèmes marins.
- Evaporation et cristallisation : Utilisée dans certaines installations pour récupérer le sel et réduire le volume des déchets liquides.

I.6.6 Distribution de l'eau potable

L'eau dessalée, une fois traitée, est envoyée vers les réseaux de distribution pour :

- L'alimentation en eau potable des populations urbaines et rurales.
- L'usage industriel (exemple : production d'énergie, alimentation des usines chimiques).
- L'agriculture reste limitée en raison des coûts importants du dessalement.

I.7 Principaux procédés utilisés dans le dessalement

Les principaux procédés utilisés dans le dessalement de l'eau de mer peuvent être classés en deux grandes catégories :

I.7.1 Procédés membranaires

Ces technologies utilisent des membranes semi-perméables pour séparer l'eau douce du sel et des impuretés.

I.7.1.1 Osmose inverse

Ce procédé de purification, appelé osmose inverse, permet d'isoler l'eau douce en retenant les sels et les impuretés grâce à une membrane semi-perméable. Il fonctionne en appliquant une forte pression (60 à 80 bars pour l'eau de mer) pour forcer l'eau à travers la membrane, tout en retenant les particules indésirables comme le sel, les bactéries et les polluants.

I.7.1.2 Principe de l'osmose

L'osmose repose sur les principes fondamentaux de la diffusion et de l'équilibrage des concentrations. Lorsqu'une membrane semi-perméable sépare deux solutions avec des concentrations différentes de solutés, les molécules de solvant, généralement de l'eau, se déplacent à travers la membrane vers la solution plus concentrée. Cela se produit car les molécules de solvant sont attirées par les particules de soluté dans la solution plus concentrée. Les pressions osmotiques résultantes de ces mouvements équilibrés maintiennent un flux constant de solvant à travers la membrane jusqu'à ce que les concentrations des deux solutions se stabilisent.

I.7.1.3 Principe de L'osmose inverse

L'**osmose** est le passage d'un solvant à travers une membrane sous l'effet d'un gradient de concentration. Imaginons un système composé de deux compartiments contenant des solutions de concentrations différentes, séparés par une membrane semi-perméable : l'eau se déplace alors de la solution la plus diluée vers la plus concentrée. Si l'on exerce une pression sur la solution concentrée, le transfert d'eau diminue. En appliquant une pression suffisamment élevée, ce flux peut être complètement stoppé : on parle alors de **pression osmotique P**, en supposant que la solution diluée est de l'eau pure. Si cette pression dépasse la valeur de la pression osmotique, l'eau commence à circuler dans le sens opposé au flux initial : c'est le phénomène **d'osmose inverse**.

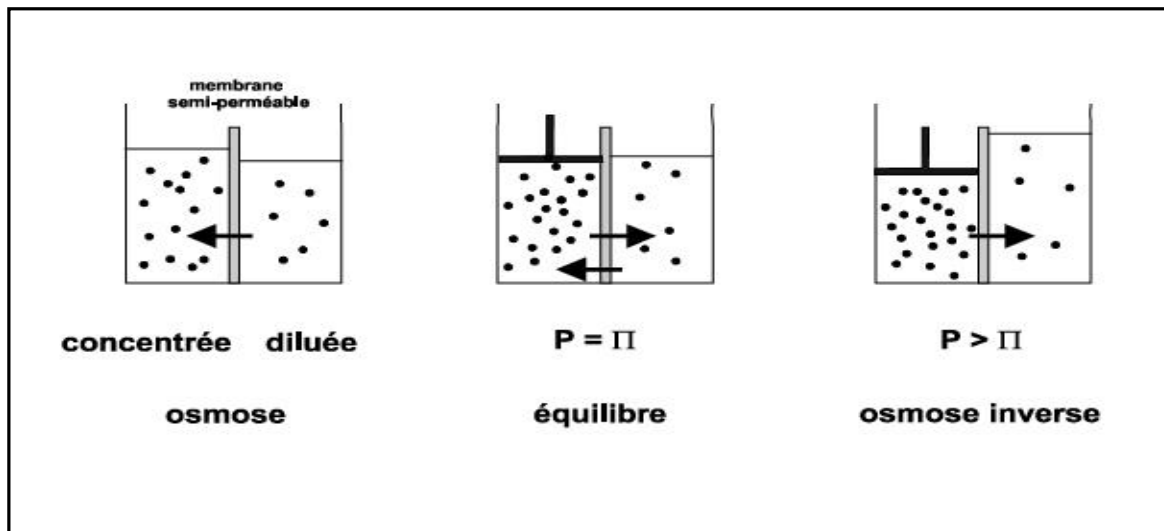


Figure I-1 : Principe de l'osmose et de l'osmose inverse

La pression osmotique des électrolytes est donnée par la relation suivante :

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

Où :

i est le nombre d'espèces d'ions constituant le soluté,

C la concentration molaire du soluté (mol.m^{-3}),

T la température (K) .

R la constante des gaz parfaits ($8,31 \text{ J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$).

π est exprimée en pascals. Cette relation est valable pour des solutions diluées. Exemple : la pression osmotique de l'eau de mer (3 % en masse de chlorure de sodium) à 25 °C est environ de 25 bars.

I.7.1.4 Mécanisme de transfert

En osmose inverse les transferts de solvant et de soluté se font par solubilisation - diffusion : toutes les espèces moléculaires (soluté et solvant) se dissolvent à travers la membrane et diffusent à l'intérieur de celle-ci comme dans un liquide sous l'action d'un gradient de concentration et de pression. Le transfert ne dépend donc plus de la dimension des particules mais de leur solubilité dans le milieu membranaire. Les séparations sont donc d'origine chimique et sont liées au pouvoir solvant de la membrane.

I.7.1.5 Polarisation de concentration théorie du film

La polarisation, apparaissant en osmose inverse, est un phénomène réversible (disparaissant quand le gradient de concentration s'annule) caractérisé par une accumulation à la surface de la membrane des espèces retenues. La concentration étant à la surface plus élevée que dans le volume de la solution il s'ensuit une augmentation de la pression osmotique près de la membrane et donc une diminution de la pression efficace le flux du perméat va donc diminuer.

I.7.1.6 Membranes

Le développement de l'osmose inverse n'a été possible qu'avec l'apparition de techniques capables de produire des films polymères extrêmement fins. Sans cela, les surfaces membranaires nécessaires pour obtenir un bon rendement auraient été beaucoup trop vastes. Les membranes utilisées sont donc conçues pour être **asymétriques** (constituées de plusieurs couches de différentes épaisseurs) et **composites** (combinant plusieurs matériaux). Les premières membranes d'osmose inverse étaient faites d'**acétate de cellulose asymétrique**. Aujourd'hui, la majorité des membranes comportent une **couche active en polyamide aromatique**, déposée sur un **support en polysulfone**, lui-même posé sur un **substrat en polyester**. Cette structure à trois couches offre de meilleures performances mécaniques, chimiques et thermiques, tout en permettant des flux plus élevés.

- **La base** ($\sim 100 \mu\text{m}$), formée d'un matériau inerte type textile tissé ou non (ex : polyester téréphtalique), assure la résistance physique du film. Elle est trop grossière pour permettre le dépôt en couche mince de la partie active.
- **Le support** ($\sim 50 \mu\text{m}$) est une membrane d'ultrafiltration aux pores plus fins, calibrés (ex : polysulfone). Il assure la résistance mécanique de l'ensemble.
- **La couche active superficielle** ($\sim 0,1$ à $0,2 \mu\text{m}$) permet la séparation des espèces. Elle est déposée sur le support. Le polymère le plus employé est le polyamide aromatique. Il est traité différemment selon les fabricants et les modèles employés [14]

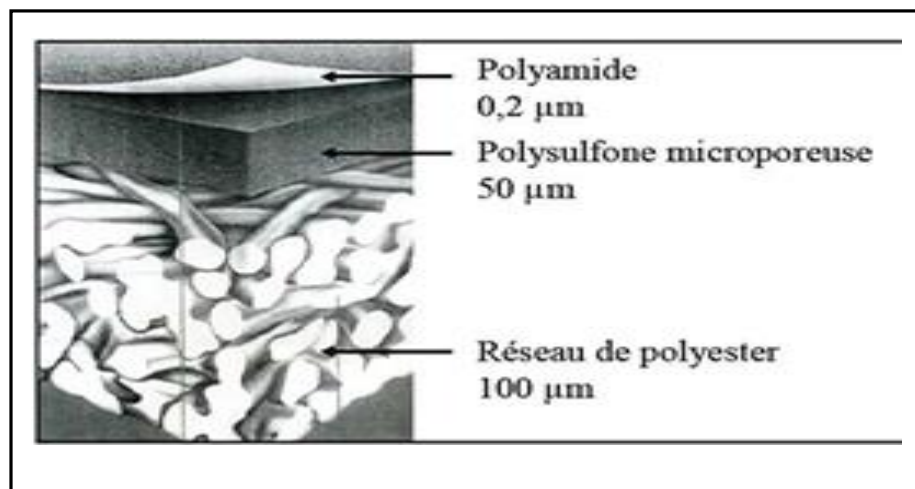


Figure I-2 : Structure des membranes d'osmose inverse en polyamide.

I.7.2 Procédés par distillation

Actuellement, la distillation représente environ 60 % du marché mondial du dessalement. Il s'agit de la méthode la plus ancienne et la plus simple utilisée pour dessaler l'eau de mer. Ce procédé reproduit à l'échelle industrielle le cycle naturel du dessalement : l'eau de mer est chauffée jusqu'à ce qu'elle s'évapore, la vapeur obtenue (dépourvue de sels) est ensuite condensée pour redevenir liquide, donnant ainsi de l'eau potable. Le principal inconvénient de cette technique réside dans sa forte consommation d'énergie, due à la chaleur latente nécessaire à la vaporisation de l'eau. Par exemple, il faut environ 2250 kilojoules pour transformer 1 kg d'eau liquide en 1 kg de vapeur à température constante, sous pression atmosphérique. Pour optimiser le rendement énergétique de ces installations, des systèmes à effets multiples ont été

développés. Ces procédés permettent de récupérer et de réutiliser l'énergie libérée lors de la condensation de la vapeur, réduisant ainsi la consommation globale d'énergie [15].

I.7.3 Autres procédés de dessalement

I.7.3.1 Dessalement solaire

Ce procédé exploite l'énergie solaire pour chauffer l'eau de mer et induire son évaporation. La vapeur ainsi obtenue est ensuite condensée pour produire de l'eau douce. Des dispositifs varient du simple distillateur solaire à des systèmes intégrés plus complexes [16].

I.7.3.2 Dessalement par congélation

Ce procédé consiste à abaisser la température de l'eau salée jusqu'à ce qu'elle gèle. La formation de glace se fait de manière sélective, les sels restant en solution dans la saumure. La glace, pratiquement pure, est ensuite séparée et fondue pour obtenir de l'eau douce [17].

I.8 Paramètre de choix d'un procédé de traitement

Pour produire de l'eau potable, plusieurs méthodes de traitement peuvent être envisagées. Le choix d'un procédé de dessalement dépend de plusieurs facteurs clés, parmi lesquels :

- La composition chimique de l'eau à traiter, notamment dans le cas des eaux saumâtres ;
- La salinité de l'eau produite, qui varie en fonction de son usage : entre 300 et 500 ppm pour l'eau potable, et entre 15 et 30 ppm pour un usage industriel ;
- La durée de vie de l'unité de dessalement ;
- L'impact environnemental du procédé ;
- Le coût de production du mètre cube d'eau, qui reste un critère déterminant dans le choix de la technologie à adopter [18].

I.9 Impact environnemental du dessalement

Le dessalement de l'eau de mer peut être une solution précieuse pour pallier le manque d'eau douce dans certaines régions, mais il a aussi un impact environnemental significatif. Voici les principaux effets [19]:

I.9.1 Rejets de Saumure

Le dessalement produit une saumure, c'est-à-dire une eau fortement concentrée en sels et en produits chimiques (antiscalants, biocides, etc.) qui sont utilisés pour prévenir le colmatage et le biofouling des équipements.

Impacts :

- Appauvrissement en oxygène des zones marines proches.
- Modification de la salinité locale : Le rejet de saumure dans la mer, s'il n'est pas dilué correctement, peut créer des zones de forte salinité, perturbant les écosystèmes marins et la biodiversité locale.
- Toxicité des produits chimiques : Certains produits chimiques peuvent affecter la faune et la flore marine, notamment si le rejet n'est pas traité adéquatement.

I.9.2 Consommation énergétique et émissions de gaz à effet de serre

Les procédés de dessalement, qu'ils soient thermiques (distillation) ou membranaires (osmose inverse), consomment de l'énergie.

Impacts :

- Émissions de CO₂ : Si l'énergie utilisée provient de sources fossiles, le dessalement contribue aux émissions de gaz à effet de serre, augmentant ainsi l'empreinte carbone globale.
- Recherche d'optimisation : L'intégration de systèmes de récupération d'énergie et l'utilisation de sources renouvelables (solaire, éolienne) peuvent réduire cet impact.

I.9.3 Usage de produits chimiques

Les produits chimiques sont utilisés pour nettoyer les membranes, éviter la corrosion et désinfecter.

Impacts : Certains produits peuvent contaminer les écosystèmes marins s'ils ne sont pas bien traités avant rejet.

I.9.4 Effets sur la faune marine

Le captage de l'eau de mer peut aspirer du plancton, des œufs de poissons et de petites créatures marines.

Impacts : Déséquilibre de la chaîne alimentaire dans les zones locales.

I.9.5 Empreinte terrestre

La construction et l'exploitation des usines de dessalement peuvent altérer les habitats côtiers et générer diverses nuisances, telles que le bruit, la pollution lumineuse et d'autres formes de pollution locale, aussi bien durant les travaux que pendant le fonctionnement

I.10 Avantages et inconvénients du dessalement

I.10.1 Avantages du dessalement

Le dessalement offre plusieurs avantages stratégiques :

- **Sécurité hydrique accrue** : Le dessalement permet de diversifier les sources d'eau douce, ce qui est essentiel dans les régions arides ou soumises aux variations climatiques, garantissant un approvisionnement continu même en période de sécheresse.
- **Production fiable et constante** : Contrairement aux ressources en eau douce qui peuvent fluctuer selon les saisons, le dessalement fournit une production stable d'eau potable, car l'eau de mer est disponible en permanence.
- **Intégration avec les énergies renouvelables** : L'utilisation de sources d'énergie renouvelable (solaire, éolienne) pour alimenter les procédés de dessalement peut réduire l'empreinte carbone du procédé et améliorer sa durabilité [20].
- **Développement économique et social** : La mise en place d'installations de dessalement crée des emplois, stimule l'économie locale et favorise le développement des infrastructures dans les régions où l'accès à l'eau est limité.
- **Flexibilité et modularité** : Les technologies de dessalement, notamment l'osmose inverse, offrent des solutions modulaires qui peuvent être adaptées aux besoins variés, de petites unités locales à de grandes usines industrielles [21].

I.10.2 Inconvénients du dessalement

- **Consommation énergétique élevée** : Les procédés (osmose inverse et distillation) nécessitent beaucoup d'énergie.
- **Production et gestion de la saumure** : Les rejets concentrés en sels et produits chimiques perturbent les écosystèmes marins.
- **Coût économique élevé** : Les investissements et frais d'exploitation (énergie, maintenance) sont importants.
- **Maintenance et problèmes techniques** : Encrassement des membranes et corrosion nécessitent des interventions fréquentes.
- **Impact sur la biodiversité marine** : La captation d'eau et les rejets affectent la faune et les habitats marins [22].

I.11 Critères et normes de potabilité

Les critères et les normes de potabilité se basent sur l'analyse de plusieurs paramètres essentiels pour garantir la sécurité et la qualité de l'eau destinée à la consommation humaine.

a) Paramètres Microbiologiques

- **Présence d'agents pathogènes** : L'eau potable doit être exempte de bactéries indicatrices, telles que les coliformes fécaux et *Escherichia coli*, afin d'éviter les maladies d'origine hydrique [23].

b) Paramètres Physico-Chimiques

- **pH** : L'eau doit présenter un pH généralement compris entre **6,5 et 9,5**. Ce niveau aide à prévenir la corrosion des canalisations et à garantir un goût acceptable.
- **Turbidité** : La turbidité mesure la clarté de l'eau. Une valeur faible (souvent **inférieure à 1 NTU**) est souhaitable pour limiter la prolifération microbienne.
- **Contaminants chimiques** : Des concentrations limites sont fixées pour divers contaminants, notamment les métaux lourds (plomb, arsenic, cadmium), nitrates et pesticides, afin d'éviter des effets toxiques à long terme [24].

c) Paramètres Radiologiques

- **Limites de radioéléments** : Des seuils stricts sont établis pour la présence de radioéléments (comme le radon et l'uranium) afin de prévenir les risques radiologiques pour la santé [25].

d) Paramètres Organoleptiques et Esthétiques

- **Goût, odeur et couleur** : Ces critères, bien que moins importants sur le plan sanitaire, restent essentiels pour que l'eau soit bien acceptée par les utilisateurs et qu'elle réponde à leurs attentes [26].

I.12 Conclusion

En résumé, le dessalement se présente comme une solution incontournable pour répondre aux défis croissants liés à la pénurie d'eau douce, notamment dans les régions arides et face aux variations climatiques. Ce chapitre a examiné la diversité des technologies de dessalement, depuis les procédés thermiques classiques jusqu'aux techniques membranaires avancées. Chaque méthode offre des avantages spécifiques, comme une production stable d'eau potable, une sécurité hydrique renforcée et, dans certains cas, la possibilité d'intégrer des énergies renouvelables pour réduire l'empreinte carbone. Cependant, ces technologies comportent également des défis importants, notamment une consommation énergétique élevée, des coûts d'investissement et d'exploitation significatifs, ainsi que des impacts environnementaux liés aux rejets de saumure et à la perturbation des écosystèmes marins.

L'avenir du dessalement repose sur l'innovation et l'optimisation des procédés, en cherchant à concilier efficacité, durabilité et respect des normes de potabilité. En intégrant des solutions de récupération d'énergie et en s'appuyant sur des sources d'énergie renouvelable, il est possible de réduire les impacts économiques et environnementaux, faisant du dessalement un outil clé pour une gestion durable des ressources en eau dans un contexte de changement global.

Chapitre II

Présentation de la station de dessalement de l'eau de mer de Mostaganem

II.1 Introduction

Dans un contexte marqué par la raréfaction de l'eau douce due aux changements climatiques et à la surexploitation des ressources naturelles, l'Algérie a fait le choix stratégique d'investir massivement dans le dessalement de l'eau de mer. Cette technologie, qui permet de transformer une ressource abondante mais peu exploitée en eau potable, représente une réponse innovante aux limites des systèmes traditionnels d'approvisionnement en eau.

La station de dessalement de Mostaganem, située sur un littoral d'importance stratégique, illustre parfaitement cette orientation. Grâce à sa capacité de production élevée, elle joue un rôle clé dans le renforcement de la sécurité hydrique de la région et soutient le développement socio-économique des zones côtières. Équipée d'un système d'osmose inverse, cette infrastructure moderne incarne une nouvelle approche de gestion de l'eau, plus durable et plus résiliente.

La station de dessalement a été réalisée en 2005 par les deux entreprises espagnoles spécialisées dans le traitement avancé de l'eau (GS INIMA et AQUALIA) et en partenariat avec l'Union Temporaire d'Entreprises Opération & Maintenance Mostaganem (UTE O&M MTM) et elle a été mise en exploitation en 2010.

Conçue pour produire jusqu'à 200 000 m³ d'eau potable par jour, la station garantit une qualité d'eau conforme aux exigences, même à partir d'une eau de mer dont les paramètres physico-chimiques correspondent aux conditions de référence du site. Elle est également optimisée pour fonctionner à pleine capacité avec une consommation énergétique spécifique inférieure à la

limite garantie de 3,40 kWh/m³, conformément aux standards définis, notamment durant les périodes de fonctionnement à 100 % de sa capacité, selon les caractéristiques physico-chimiques établies par les CRS [27].

II.2 Situation Géographique

La station de dessalement de Mostaganem est implantée dans la zone de Sonachter, située à environ 20 kilomètres au nord de la ville de Mostaganem, sur la côte méditerranéenne. Cette position géographique est stratégique pour approvisionner la région en eau potable.

La station a une capacité de production théorique de 200.000 m³/jour, et une production réelle actuelle de 145000m³/jour. Elle est entrée en production au mois de novembre 2011, en application d'un programme de production et de livraison de l'eau potable sous un contrat de vente et d'achat d'eau entre les sociétés de projet de groupements d'entreprises espagnoles, à savoir MTM et STMM en tant qu'investisseurs, et l'ADE en tant qu'acheteur.



Figure II-1 : Vue générale et situation géographique de la station de dessalement

II.3 Fonctionnement de la station

La station de dessalement de Mostaganem utilise le procédé d'osmose inverse, en s'appuyant sur les étapes décrites ci-dessous pour assurer la transformation de l'eau de mer en eau potable.

II.3.1 Captage et pompage de l'eau de mer

Son objectif est d'acheminer l'eau de mer vers l'unité de prétraitement en assurant le débit et la pression requis pour garantir la production d'eau potable souhaitée. Il se compose des sous-systèmes suivants :

II.3.1.1 Tours de captage et tuyauterie de captage

Le captage se fait à travers deux tours de prise connectées au réservoir de pompage d'eau de mer par deux tuyauteries en PEHD de 1.8m de diamètre où l'eau doit circuler à une vitesse de 1m/s. Les tours de prise sont submergées à une distance de la côte d'environ 2 500 m et 16.5 m de profondeur. L'eau de mer passe à l'intérieur de chaque tour de prise à travers quatre grilles en PRFV rectangulaires de 3.89×1.42 m et de trous de 3.54×1.3cm installées pour éviter le passage de poissons, méduses, cailloux, Ces grilles peuvent être extraites par plongeurs pour éliminer des éventuelles incrustations .Chacune des tuyauteries de prise peut être isolée pour réaliser des activités d'entretien à l'intérieur sans arrêter la station à l'aide des vannes murales installées dans le réservoir de captage [14].



Figure II-2 : Système de pompage de l'eau de mer

II.3.1.2 Système anti-méduses

Une des raisons pour laquelle le niveau dans le réservoir de captage d'eau de mer peut être éventuellement trop bas est l'obturation des grilles des tours de captage, occasionnée par des méduses, algues et poissons. Le système anti-méduses a été conçu pour générer un rideau d'air autour des grilles que fasse flotter ces éléments vers la surface.

II.3.1.3 Système d'amorçage des pompes de l'eau de mer

L'aspiration des pompes d'eau de mer se situe généralement au-dessus du niveau d'eau du réservoir de captage. Le système d'amorçage des pompes a pour fonction d'évacuer l'air présent dans les conduites d'aspiration. Il est conçu pour amorcer une seule pompe à la fois [27]

II.3.1.4 Système de pompage de l'eau de mer

Ce système a pour fonction d'alimenter l'eau de mer prétraitée avec le débit et la pression requis afin d'atteindre la production d'eau souhaitée. Il a été conçu pour pomper un débit de 2 380 m³/h à une pression de 67 mètres de colonne d'eau (m.c.e) [14]

II.3.2 Système de prétraitement

Le système de prétraitement a pour objectif de conditionner l'eau de mer sur les plans physique, biologique et chimique, afin de protéger le système d'osmose inverse et d'en optimiser les performances. Ce système se compose des sous-systèmes suivants :

II.3.2.1 Conditionnement chimique

Le conditionnement chimique de l'eau est réussi par l'ajout des réactifs suivants :

II.3.2.1.1 Dosage d'hypochlorite de sodium

Il s'agit d'un système de dosage pour la désinfection de l'eau de mer qui se compose de 3 réservoirs de 60 m³ chaque un.

II.3.2.1.2 Dosage de permanganate de potassium

Ce système est utilisé pour l'oxydation et la désinfection de l'eau de mer. Bien que l'hypochlorite de sodium soit généralement plus efficace, certaines macro-incrustations (comme certains types de moules) peuvent apparaître dans la tour de captage ou les conduites d'amenée. À certains stades de leur développement, ces organismes peuvent présenter une

résistance au traitement à l'hypochlorite. Dans ces cas, l'utilisation du permanganate de potassium peut s'avérer plus efficace.

II.3.2.1.3 Dosage d'acide sulfurique

L'efficacité du processus de coagulation-floculation est généralement améliorée à des valeurs de pH faibles. Ce système a donc pour rôle de diminuer le pH de l'eau de mer afin d'optimiser les performances de ces traitements.

II.3.2.1.4 Dosage de coagulant (chlorure ferrique)

Ce système de dosage a pour objectif de coaguler l'eau brute avant son passage à l'étape de filtration. Il comprend deux réservoirs de 40 m³ chacun, destinés à l'injection de chlorure ferrique à l'entrée de chaque étape de filtration.

II.3.2.1.5 Dosage de poly électrolyte

Ce système assure le dosage de floculant dans l'eau brute. Il est composé de deux réservoirs de préparation d'une capacité de 2 500 litres chacun, destinés à l'injection du floculant dans le mélangeur statique situé à l'entrée de chaque étape de filtration. Chaque réservoir est équipé d'un agitateur permettant d'assurer une bonne homogénéisation du produit solide et de sa dilution.

II.3.2.1.6 Dosage de soude caustique

L'élimination de certains ions, tels que le bore, par le système d'osmose inverse est plus efficace à des valeurs de pH élevées. Ce système a donc pour fonction d'augmenter le pH de l'eau microfiltrée afin d'optimiser cette étape du traitement.

II.3.2.1.7 Dosage de méta bisulfite de sodium

Ce système de dosage est destiné à la réduction et à l'élimination des résidus de chlore dans l'eau avant son entrée dans les membranes. Il comprend deux réservoirs de préparation de 10 m³ chacun, utilisés pour l'injection de métabisulfite de sodium dans le mélangeur statique situé à la sortie des filtres à cartouche.

II.3.2.1.8 Dosage de dispersant

Ce système de dosage a pour objectif d'inhiber la formation de tartre dans le procès d'osmose inverse qui s'applique à l'eau d'entrée aux membranes. Il est composé de 2 réservoirs de traitement de 2500 litres chacun, destinés à l'injection d'un agent dispersant dans le mélangeur statique situé à la sortie des filtres à cartouche.

II.3.2.2 Système de filtration

Le système de filtration a pour fonction d'éliminer les flocons générés par les processus de coagulation-floculation ainsi que les particules en suspension présentes dans l'eau de mer, afin de protéger et d'optimiser les performances du système d'osmose inverse. L'installation est équipée de deux étapes de filtration : une première étape utilisant des filtres mixtes à sable et anthracite, suivie d'une seconde étape composée de filtres à sable.

II.3.2.2.1 Filtration de première étape

L'usine est équipée de deux lignes de filtration de première étape, chacune comportant 12 filtres horizontaux à pression. Ces filtres fonctionnent à une vitesse de filtration nominale de 8,45 m³/m²·h, pouvant atteindre une vitesse maximale de 9,46 m³/m²·h lorsque l'un des filtres est en phase de lavage.

Les filtres sont fabriqués en acier au carbone, avec un revêtement intérieur en caoutchouc naturel d'une épaisseur de 3 mm. Leur nettoyage s'effectue par injection d'air et de saumure issue du processus d'osmose inverse.

La distribution de l'eau à filtrer est assurée par un collecteur perforé en PEHD (polyéthylène haute densité), conçu pour garantir une répartition homogène du débit sur l'ensemble de la surface filtrante.

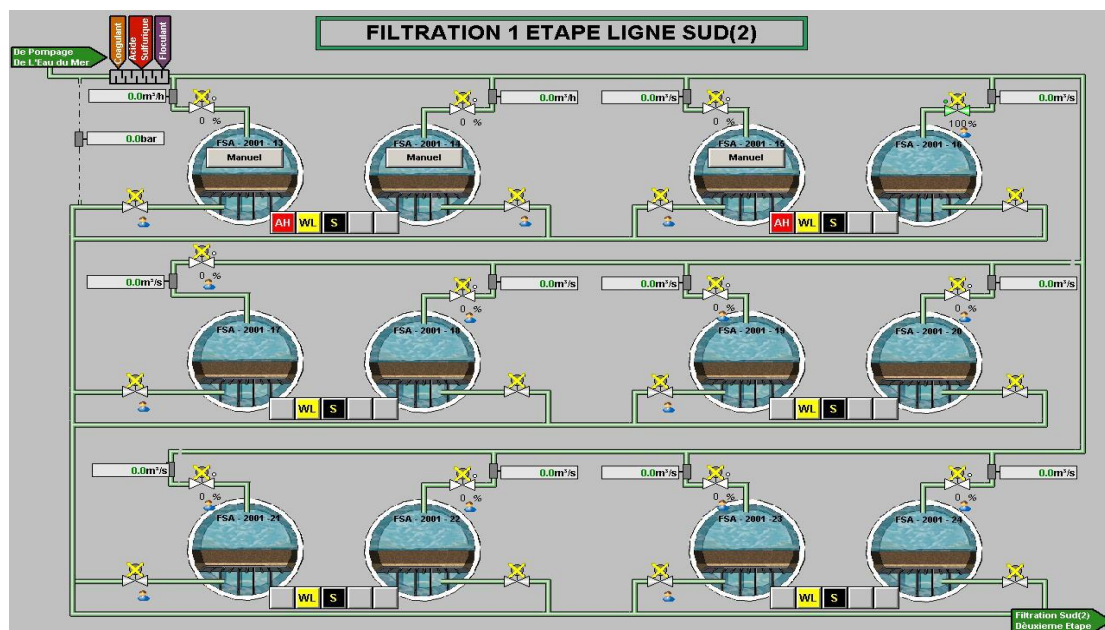


Figure II-3 : Filtration 1^{ère} étape.

II.3.2.2 Filtration de deuxième étape

Deux batteries de filtration sont installées, chacune équipée de 8 filtres à pression horizontaux. Ces filtres fonctionnent à une vitesse de filtration nominale de $12,87 \text{ m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$, pouvant atteindre un maximum de $15,09 \text{ m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$ lorsqu'un des filtres est en phase de nettoyage. Chaque filtre dispose d'une surface filtrante moyenne de $90,04 \text{ m}^2$, avec des caractéristiques similaires à celles des filtres à sable utilisés lors de la première étape de filtration.

Nature	Sable siliceux
Granulométrie	1-2 μm
Coefficient d'uniformité	1,4
Contenu de SiO_2	96%
Densité apparente	1,5 t/m^3
Densité réelle	2,6 t/m^3
Haut de couches	0,45 m
Volume par filtre	94 m^3

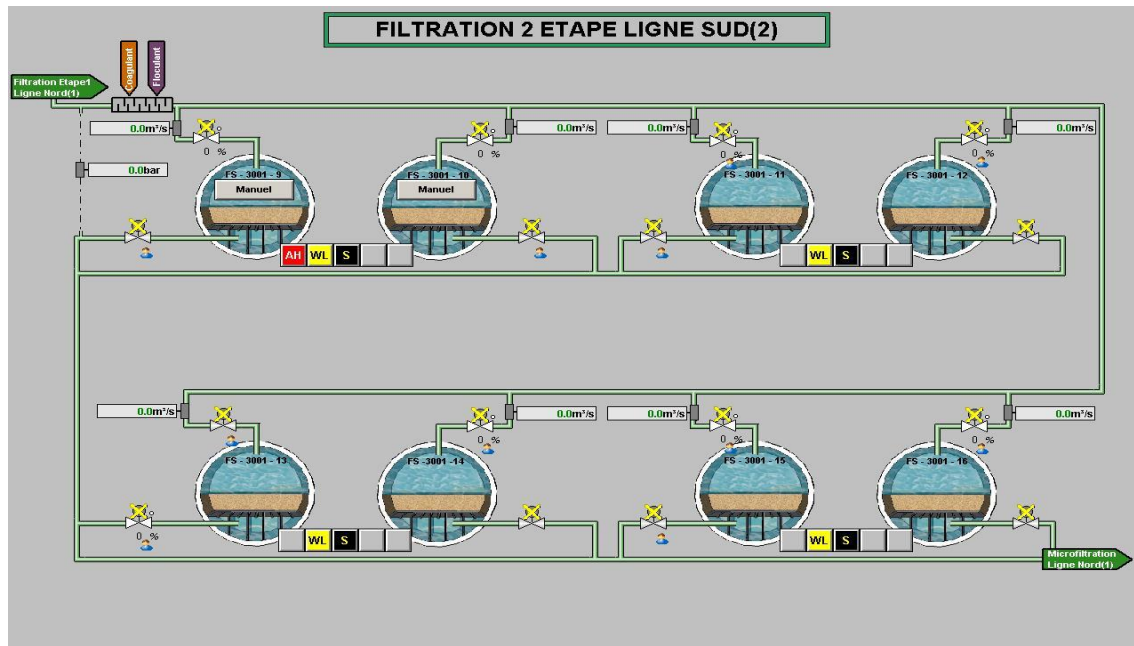


Figure II-4 : Filtration 2^{ème} étape.

II.3.2.3 Système de nettoyage des filtres

La porosité de la masse filtrante des filtres sera réduite progressivement au fur et à mesure que les flocules et la matière suspendue soit déposés sur elle. Cette situation causera :

- Une augmentation de pertes de charge du système et pourtant une augmentation de la consommation de l'usine
- Une augmentation de la vitesse de l'eau de mer traversant le reste des filtres et pourtant une réduction de l'efficacité du processus de filtration

Pour cette raison les filtres doivent être lavés périodiquement dès qu'on détecte une augmentation importante du différentiel de pression enregistrée et/ou une diminution significative du débit traversant le filtre concerné enregistrée

Le lavage des filtres est fait par amélioration de la spongiosité avec air et contra-lavage de la masse filtrante avec la saumure du rejet du processus d'osmose inverse

Le système de nettoyage est doublé pour permettre le nettoyage simultané des deux filtres, un de chaque ligne de prétraitement.

II.3.2.4 Système de microfiltration

Le système de microfiltration a pour rôle de protéger le système d'osmose inverse en empêchant le passage des particules en suspension non retenues par les filtres précédents, avant leur arrivée au niveau des pompes haute pression. Seules les particules de taille inférieure à 5 microns peuvent traverser ce système.

Le dispositif de microfiltration est composé de deux lignes, chacune équipée de 9 filtres. Chaque filtre contient 360 cartouches filtrantes de 1 250 mm de longueur. Le débit unitaire par cartouche est de 2,85 m³/h lorsque les neuf filtres sont en fonctionnement. Ce débit peut atteindre 3,20 m³/h par cartouche lorsqu'un filtre est mis hors service pour le remplacement de ses cartouches. Les cartouches sont logées dans des enveloppes en PRFV (plastique renforcé de fibres de verre) et sont fabriquées en polypropylène.

II.3.3 Système d'osmose inverse

Le système d'osmose inverse constitue le cœur de l'usine. Sa principale fonction est de réduire la teneur en sels de l'eau microfiltrée. Il est composé des sous-systèmes suivants :

- Le système de pompage haute pression et de récupération d'énergie
- Les châssis d'osmose inverse
- Le système de nettoyage des membranes
- Le système de circulation de l'eau de mer et de la saumure

II.3.3.1 Système de pompage haute pression, pompes boosters et récupérateurs d'énergie

Le système de pompage haute pression a pour fonction de propulser l'eau microfiltrée vers les châssis d'osmose inverse, en lui fournissant la pression nécessaire pour dépasser la pression osmotique et garantir le débit d'eau déminéralisée souhaité. Environ 65 % du débit requis d'eau microfiltrée est acheminé vers les châssis par les pompes haute pression. Le débit restant est pressurisé à l'aide d'échangeurs de pression (chambres isobares) et de pompes de surpression (booster), jusqu'à atteindre la pression d'alimentation requise pour les membranes. Dans les chambres isobares, l'énergie hydraulique résiduelle de la saumure est transférée à l'eau microfiltrée. Ensuite, les pompes booster élèvent la pression de l'eau ainsi pré-pressurisée par les ERI (Energy Recovery Devices) jusqu'au niveau requis pour l'alimentation des châssis. L'eau microfiltrée, pressurisée par l'ensemble des pompes haute pression et des pompes booster,

est ensuite dirigée vers un collecteur commun qui alimente tous les châssis de membranes d'osmose inverse.

II.3.3.2 Châssis d'osmose inverse

Les membranes proposées sont de surfaces élevées de la marque FILMTEC. Elles sont fabriquées en polyamide aromatique et présentent une configuration en spirale (spiralee). Les caractéristiques des membranes sont englobées dans le tableau II-3 :

Tableau II-2 : Caractéristiques des membranes	
Fabricant de la membrane	FILMTEC
Modèle	SW 30 HR LE-400i
Configuration	Spirale
Capacité initiale	28 m ³ /d
Rejets des sels %	99.6°6
Pression maximale	83 bar
Température maximale d'opération	45°C
pH de l'opération	2-11
Max perte de pression par membrane	0.90 bar
Diamètre	201 mm
Longueur	1.016 mm

Les membranes sont disposées en séries de sept unités à l'intérieur d'un même tube de pression. L'eau brute entre axialement par l'une des extrémités de la cartouche et traverse successivement les membranes, en commençant par la première. À chaque étape, L'eau passe au collecteur central qui occupe l'axe géométrique de la carcasse ou elle est recueillie. L'eau de rejet (ou concentrat) de chaque membrane est dirigée vers la membrane suivante, où le même processus se répète, jusqu'à la septième unité. Le rejet final de la dernière membrane est recueilli à l'extrémité opposée du tube de pression, puis évacué vers l'extérieur.

Le taux de conversion global de l'ensemble, équipé de membranes neuves et fonctionnant aux conditions standard de récupération (CSR), est de 45 %.



Figure II-5 : Membrane d'osmose inverse

II.3.3.3 Nettoyage chimique

Avec l'usage, les membranes d'osmose inverse subissent un encrassement progressif, ce qui entraîne une diminution du débit de production. Cet encrassement peut être causé par la présence de matériaux colloïdaux, de précipitations fines, entre autres éléments. Afin de contrôler cet encrassement et de restaurer partiellement les performances initiales des membranes, un nettoyage périodique s'impose.

Le nettoyage devient indispensable lorsque l'un des critères suivants est atteint :

- La perte de pression des membranes dépasse 20 % par rapport à la valeur initiale.
- Le taux de passage des sels dépasse 30 % de la valeur de référence.
- Le débit de production chute de plus de 15 % par rapport au débit initial.

La fréquence des nettoyages dépend de la qualité de l'eau traitée. En moyenne, il est recommandé de procéder à un lavage tous les six mois.

Le système de nettoyage est constitué d'un réservoir d'une capacité de 80 m³ destiné à la préparation de la solution de nettoyage. Il est équipé de résistances pour chauffer la solution si nécessaire, d'interrupteurs de niveau, d'un thermomètre et d'un transmetteur de température.

Un système d'agitation, composé d'injecteurs et de pompes de refoulement (débit de 31 m³/h à 18 mca), permet d'homogénéiser la solution. Après dilution des produits chimiques dans l'eau osmotique grâce aux pompes de refoulement, la solution est transférée par des pompes centrifuges (débit unitaire de 684 m³/h à 60 mcl). Le tube d'impulsion est équipé d'un débitmètre.

Ces mêmes pompes sont utilisées pour les opérations de nettoyage chimique. La solution traverse deux filtres à cartouche avant d'atteindre les différents châssis d'osmose inverse.

Il est conseillé de rejeter 10 % du volume refoulé, car cette fraction peut contenir une concentration accrue d'impuretés et d'encrassements.

II.3.4 Système de reminéralisation

A la fin du procès d'osmose inverse l'eau osmotique est reminéralisée pour diminuer l'agressivité de l'eau et atteindre les valeurs d'alcalinité, dureté, pH, indice de Langelier et MTD garanties.

Le système de reminéralisation est constitué de deux lits de calcite chacun est composé par 30 cellules de 14 m² de surface et d'un procès de dosage de dioxyde de carbone.

Dans la tuyauterie de raccordement du réservoir de l'eau osmotique avec le réservoir des couches de calcite se fait un dosage de CO₂ à travers d'un sparger installé dans la même tuyauterie de raccordement.

L'eau rentre par le bas des cellules et est distribuée à travers des faux fonds des lits de calcite.

L'anhydride carbonique dissous dans l'eau, réagit avec le carbonate calcique du lit formant le bicarbonate calcique soluble, avec lequel le pH augmentera.

Une fois passée la réaction de reminéralisation, on aura amélioré la dureté et l'alcalinité de l'eau, et il existe un résiduel de CO₂ en équilibre avec HCO₃ qui déterminera le pH de l'eau traitée

II.3.4.1 Dosage de CO₂

Le dioxyde de carbone (CO₂) est stocké à l'état liquide à une température de -20 °C et sous une pression de 20,5 kg/cm². Avant son injection, il est vaporisé pour passer à l'état gazeux, puis introduit dans la conduite de sortie de la chambre d'eau osmotique à l'aide d'injecteurs.

Le système dispose de deux réservoirs de stockage, chacun d'une capacité de 50 000 kg. Deux panneaux de dosage sont installés à proximité des points d'injection. Le réglage du débit de CO₂ est piloté par un débitmètre massique intégré dans l'un des panneaux de contrôle [27].



Figure II-6 : Réservoirs de stockage de CO₂

II.3.4.2 Lits de calcite

Le système de reminéralisation est équipé avec deux lignes de lits de calcite, chacune d'elles compte 30 cellules de 14m² de surface unitaire. Le carbonate de chaux employé doit avoir les caractéristiques citées dans le tableau II-4 .

L'eau pénètre par la partie inférieure du réservoir, où elle est répartie à travers un faux fond situé sous les lits filtrants. Elle s'élève ensuite à travers la couche de filtration composée de carbonate de calcium. Lors de son passage ascendant à travers cette couche, un rééquilibrage de la composition chimique de l'eau s'opère.

Le dioxyde de carbone (CO₂) dissous dans l'eau réagit avec le carbonate de calcium pour former du bicarbonate de calcium.

Tableau II-3 : Caractéristiques de carbonate de chaux	
Etat physique	Préférentiellement cristalline (> 99%)
Richesse	>99.2%
CaO	>55.6%
MgO	>0.2%
Résidu insoluble en acide chlorhydrique >100 micro-m	<0.2%
Oxyde de fer	<0.05%
Norme applicable de qualité alimentaire	Calcite type 1 EN 1018
% en poids particules de taille <1mm	<10%
% en poids particules de taille >4mm	<10%
% en poids particules de taille <0.5mm	<1%



Figure II-7 : Lit de calcite

II.3.4.3 Dosage de chlore résiduel

Un système de chloration est prévu pour garantir une concentration résiduelle d'hypochlorite, empêchant ainsi toute recontamination de l'eau destinée à la consommation lors de son acheminement dans le réseau de distribution externe. La dose maximale prévue en phase de conception est de 1,5 ppm.

Pour le remplissage du réservoir à partir d'un camion-citerne, une pompe de transfert d'un débit de 23,5 m³/h est installée. L'autonomie du stockage, à dose moyenne, est estimée à 25 jours.

Le dosage du chlore est assuré par trois pompes doseuses, chacune ayant un débit unitaire de 60 l/h. Ces pompes sont équipées de démarreurs permettant un dosage proportionnel au débit de l'eau traitée.

Le point d'injection de l'hypochlorite se situe à l'entrée du réservoir d'eau produite.

II.3.5 Stockage et impulsion de l'eau produite

Le système de stockage et impulsion de l'eau commercialisable a pour objectif de pomper l'eau produite vers le réseau de distribution à travers du réseau de transport d'eau externe géré par Algérienne des eaux.

Le système d'impulsion et stockage d'eau produite est composé par :

- Un réservoir d'eau reminéralisée.
- Un système de pompage d'eau reminéralisée.
- Un regard de livraison [27].

II.4 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté de manière détaillée la station de dessalement de Mostaganem, en nous concentrant sur les principes théoriques qui sous-tendent son fonctionnement. Cette présentation a permis d'illustrer l'importance de comprendre les différentes étapes du processus de dessalement, en particulier à travers l'étude des technologies utilisées dans la station. Nous avons ainsi abordé les procédés de séparation membranaires, notamment l'osmose inverse, et leur efficacité dans le contexte spécifique de cette station.

Ce travail théorique met en lumière les enjeux liés à la gestion de l'eau dessalée, tout en soulignant les défis technologiques et économiques associés à ces procédés. Il apparaît clairement que la station de Mostaganem constitue un exemple significatif des solutions théoriques adoptées pour répondre à la problématique de l'eau potable dans des régions où les ressources naturelles sont limitées.

Chapitre III

Evaluation des performances de la station

III.1 Introduction

Plongé au cœur de l'action, ce chapitre dévoile les coulisses de notre investigation menée directement au sein de la station de dessalement de Sonacter de Mostaganem. Loin des modèles théoriques, nous exposons ici la réalité tangible du terrain, où chaque paramètre mesuré reflète une partie de la complexité du procédé de l'osmose inverse.

Pour évaluer les performances de l'unité étudiée, nous avons mené deux campagnes de mesures et d'analyses, réalisées à des périodes distinctes afin de tenir compte de conditions climatiques et opérationnelles variables. La première série de relevés, effectuée en mois de janvier, s'est déroulée dans un contexte de basses températures, tandis que la seconde, réalisée en mois d'avril, a bénéficié de conditions plus clémentes. Entre ces deux périodes, un nettoyage chimique des membranes a été entrepris afin d'optimiser leur rendement et de limiter l'encrassement.

L'objectif principal de cette approche comparative est de mettre en évidence l'impact des variations saisonnières sur les performances du système, tout en évaluant l'efficacité du nettoyage chimique des membranes sur le fonctionnement global de l'installation.

III.2 Evaluation des paramètres Organoleptiques

III.2.1 Couleur

L'eau de mer utilisée dans cette région présente une qualité relativement bonne, avec une faible charge en matières en suspension et sans traces apparentes de pollution. Cette propreté naturelle constitue un atout pour le bon fonctionnement du procédé de dessalement, en limitant les risques d'encrassement des membranes. À l'issue du traitement, l'eau dessalée obtenue est totalement limpide et transparente, traduisant l'efficacité des différentes étapes du procédé, tant au niveau du prétraitement que de l'osmose inverse.

III.2.2 Odeur

Sur le plan organoleptique, l'eau dessalée est inodore, ce qui reflète la qualité du traitement appliqué. Cette absence totale d'odeur témoigne non seulement de la propreté de l'eau produite, mais aussi de l'efficacité des étapes de prétraitement, en particulier du filtre à base d'anthracite. Ce dernier a parfaitement rempli son rôle en retenant les matières organiques et les impuretés susceptibles d'altérer les caractéristiques sensorielles de l'eau.

III.3 Evaluation des paramètres physiques-chimiques

Avec le soutien des services de laboratoire de la station de dessalement, nous avons suivi, au cours de notre stage d'un mois réparti sur deux périodes (les 20, 27 et 28 janvier, ainsi que les 17, 18, 19 et 21 avril 2025), les analyses des différents paramètres physiques et chimiques des échantillons d'eau dessalée après traitement.

III.3.1 Température

La température de l'eau dessalée a été relevée après traitement à deux moments précis de la journée : à 8h30 et à 10h30. Ces mesures ont été réalisées à l'aide de thermomètres intégrés au système, positionnés en sortie de traitement, afin de refléter fidèlement les conditions réelles du procédé. La température enregistrée permet d'évaluer la stabilité thermique de l'installation et de détecter d'éventuelles anomalies susceptibles d'altérer la qualité de l'eau produite.

Les résultats sont présentés dans le tableau III-1, accompagnés de la figure III-1, qui montre une lecture directe effectuée sur le thermomètre lors de la prise de mesure.

Tableau III-1 : Valeurs des températures en (°C)								
Janvier				Avril				Norme [28-29]
	20/01	27/01	28/01	17/04	18/04	19/04	21/04	[14-30] °C
08 h 30	16.5	17.3	17				18.3	
10 h 30	16.7			18.3	18.6	18.5	18.9	

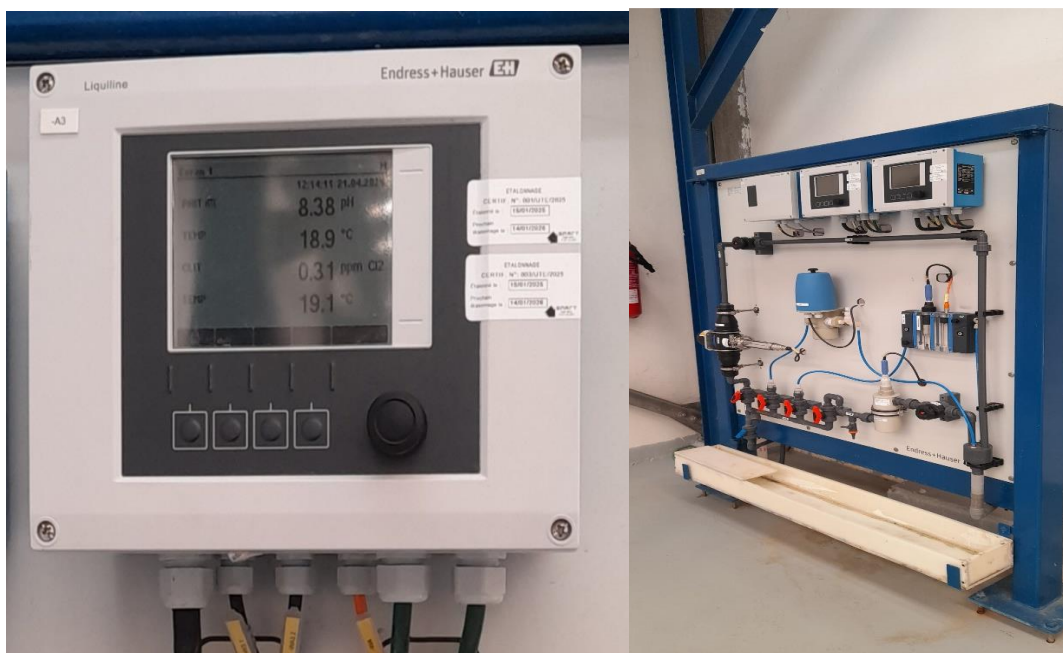


Figure III-1 : Panneau d'analyse multi paramètre.

Les températures mesurées à la sortie du système de dessalement montrent une variation en fonction de la saison et de l'heure de la journée. En janvier, les températures enregistrées étaient plus basses, ce qui est cohérent avec les conditions climatiques hivernales. En revanche, en mois d'avril, on observe une légère hausse des températures, liée à l'élévation de la température ambiante et à l'ensoleillement plus important.

Cette variation reste dans des limites normales et n'indique aucune anomalie de fonctionnement. La température finale de l'eau dessalée reste stable et compatible avec une utilisation humaine ou industrielle, sans risque d'altération de la qualité. L'absence de pics thermiques ou de refroidissement excessif montre que le système de dessalement fonctionne de manière régulière et efficace.

III.3.2 Potentiels d'hydrogène

En complément des analyses physico-chimiques, des mesures de pH ont été effectuées les mêmes dates que celles choisies pour les relevés de température. Ces analyses ont été réalisées en laboratoire, à l'aide d'un pH-mètre calibré, sur des échantillons prélevés à la sortie du système de dessalement. Cette méthode permet d'évaluer l'équilibre acido-basique de l'eau

dessalée, un paramètre essentiel pour juger de sa potabilité et de sa compatibilité avec les normes de qualité. Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau III-2.

Tableau III-2 : Valeurs du pH								
	Janvier			Avril				Norme[28-29]
	20/01	27/01	28/01	17/04	18/04	19/04	21/04	
08h 30	8.30	8.36	8.34				8.34	[7,5-8,5]
10 h 30	8.36			8.36	8.34	8.38	8.42	

La figure III-3 présente le dispositif utilisé lors des analyses : un pH-mètre électronique de laboratoire, permettant de mesurer rapidement et avec précision le pH de l'eau dessalée.

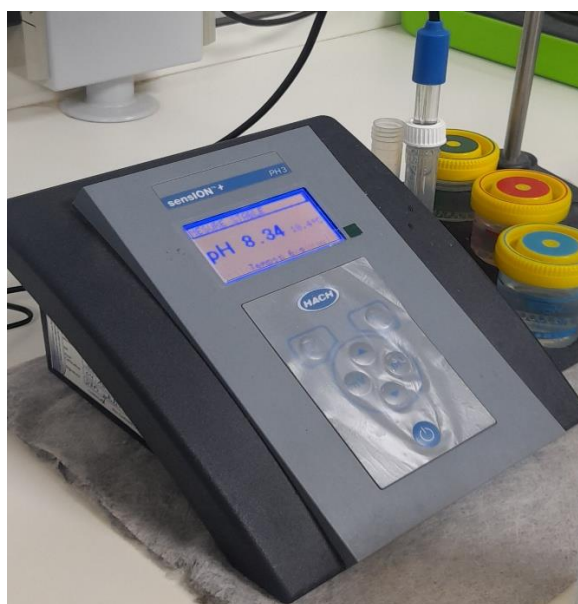


Figure III-2 : pH mètre électronique.

Les résultats du pH varient entre 8.30 et 8.42, ce qui les place entièrement dans la plage réglementaire pour l'eau potable, définie entre 7,5 et 8,5.

Les valeurs montrent une légère progression du pH au fil des analyses, atteignant un maximum de 8.42, sans jamais dépasser la limite supérieure. Cette constance témoigne d'un bon contrôle du processus de traitement et d'un ajustement efficace des propriétés chimiques de l'eau en sortie.

Le respect de cette plage optimale est essentiel pour assurer un équilibre acido-basique adapté à la consommation humaine, tout en préservant les matériaux des installations. La stabilité observée entre les différentes mesures confirme la fiabilité du système et la qualité du produit final.

III.3.3 Turbidité

La turbidité de l'eau dessalée a été évaluée à l'aide d'un turbidimètre électronique (Figure III - 3), un instrument permettant de déterminer avec précision et fiabilité la clarté de l'eau. Les mesures ont été réalisées en laboratoire après traitement de l'eau, à deux horaires distincts (8 h30 et 10h30) sur deux séries d'échantillons prélevés à des dates différentes, correspondant à des périodes spécifiques de suivi. Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau III-3.

Tableau III-3 : Valeurs de la turbidité (en NTU)								
	Janvier			Avril				Norme [28-29]
	20/01	27/01	28/01	17/04	18/04	19/04	21/04	
08 h30	0.67	0.88	1.16				0.81	<5
10 h30	0.68			0.95	0.66	0.64	0.57	



Figure III-3 : Turbidimètre

Les valeurs obtenues varient entre 0,57 NTU (21 avril à 10 h 30) et 1,16 NTU (28 janvier à 8h 30). Toutes les mesures restent largement inférieures à la norme de potabilité qui fixe un seuil maximal de 5 NTU, indiquant une excellente qualité visuelle de l'eau produite.

Les pics de turbidité observés fin janvier (0,88 à 1,16 NTU) peuvent refléter une légère accumulation de particules avant le nettoyage du système, tandis que les valeurs enregistrées en avril sont globalement plus basses et stables (entre 0,57 et 0,95 NTU). Cette amélioration coïncide avec la réalisation d'un nettoyage chimique entre les deux périodes, soulignant son efficacité.

Sur le plan physico-chimique, ces résultats traduisent un bon fonctionnement des étapes de prétraitement, en particulier le rôle des filtres (notamment l'anthracite) dans l'élimination des matières en suspension. L'eau traitée est ainsi limpide, propre et conforme à un usage humain, sans risque sanitaire lié aux particules en suspension [30-31].

III.3.4 Conductivité

La conductivité électrique de l'eau dessalée a été déterminée en sortie du système à l'aide d'un conductimètre électronique calibré, sur les mêmes créneaux horaires de 8 h 30 et 10 h 30 que pour les autres paramètres. Ces mesures, réalisées sur plusieurs séries d'échantillons prélevés lors de journées d'analyse distinctes, permettent d'évaluer la concentration résiduelle en ions dissous et de vérifier la performance du rejet ionique des membranes d'osmose inverse. Les valeurs obtenues sont présentées dans le tableau III-4.

Tableau III-4 : Valeurs de la conductivité (en $\mu\text{s}/\text{cm}$)								
	Janvier			Avril				Norme[28-29]
	20/01	27/01	28/01	17/04	18/04	19/04	21/04	
08 h30	405	411	411				433	< 2500
10 h30	404			424	427	429	443	

La figure III-4 présente le conductimètre électronique calibré utilisé pour ces analyses, garantissant des relevés de conductivité précis et fiables.



Figure III-4 : Conductimètre

Les relevés montrent une amplitude comprise entre 404 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (10h30 en janvier) et 443 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (10h30 en avril) :

- La variation entre les deux campagnes ($\approx 7\%$) reste modérée, traduisant de légères différences saisonnières de salinité ou de conditions opératoires.
- L'écart intra-journée est faible (1 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en janvier et 10 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en avril), inférieur à la précision de l'instrument, ce qui témoigne de la stabilité du procédé.

Ces valeurs, largement inférieures au seuil de potabilité de 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, confirment l'excellente capacité de rejet ionique des membranes d'osmose inverse et garantissent une eau dessalée conforme aux exigences pour un usage humain.

III.3.5 Dureté totale

Dans le cadre du contrôle de la qualité physico-chimique de l'eau dessalée, la dureté totale a été déterminée en laboratoire par titrage à l'EDTA (**Figure III-5**), une méthode reconnue pour sa précision et sa fiabilité. Les analyses ont été effectuées aux mêmes horaires que les autres paramètres, et ce, sur plusieurs jours sélectionnés au cours de la période d'étude. Les résultats, présentés dans le tableau III-5, fournissent des indications précieuses sur le niveau de minéralisation de l'eau, notamment en ce qui concerne les concentrations en calcium et en magnésium, deux éléments clés à surveiller dans le cadre d'une eau destinée à la consommation humaine.

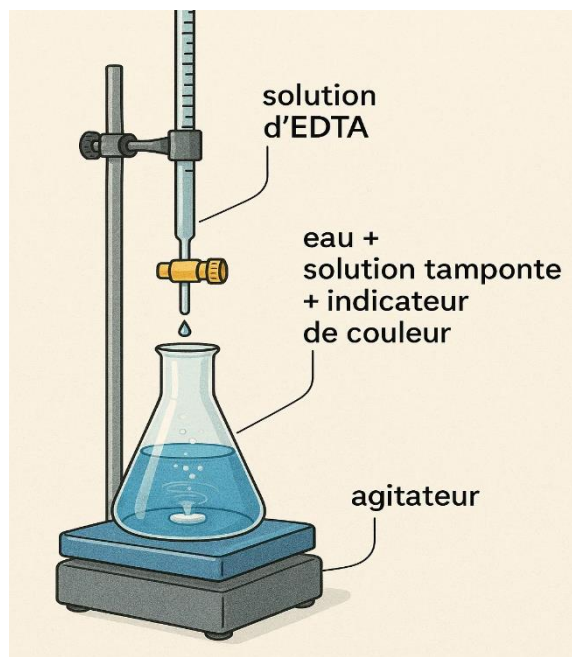


Figure III-5 : Schémas expérimental utilisé pour l'analyse de la dureté totale

Tableau III-5 : Valeurs de la dureté (en ppm CaCO₃)								
	Janvier			Avril				Norme[28-29]
	20/01	27/01	28/01	17/04	18/04	19/04	21/04	
08 :30	63	65	65				65	65
10 :30	65			65	65	65	65	

Les valeurs de dureté totale, exprimées en ppm de CaCO₃, montrent une bonne stabilité autour de 65 ppm, ce qui correspond à la valeur cible généralement acceptée pour une eau dessalée adaptée à la consommation humaine. Cette régularité est particulièrement marquée dans les mesures réalisées au mois d'avril, ainsi qu'en mois de janvier à 10 h 30, tout au long des journées d'analyse. Toutefois, une légère diminution a été observée lors de la première journée de mesures en janvier, avec une valeur de 63 ppm enregistrée à 8 h 30. Bien que cet écart reste faible, il pourrait indiquer une insuffisance passagère dans le processus de déminéralisation de l'eau.

Dans ce cas, une correction du dosage en CO₂ permettrait de rétablir l'équilibre souhaité en facilitant la dissolution du carbonate de calcium, et donc d'atteindre la dureté optimale. Ce type d'ajustement est crucial pour garantir une qualité constante de l'eau produite, tant du point de vue de la santé que de la durabilité des installations.

III.3.6 Le calcium

Le calcium représente l'un des principaux ions contribuant à la reminéralisation de l'eau dessalée, et son suivi est essentiel pour garantir une qualité conforme à l'usage humain.

L'analyse a été effectuée en laboratoire à l'aide d'une méthode de titrage, permettant de quantifier avec fiabilité la concentration des ions calcium dissous dans l'échantillon.

Les prélèvements ont été réalisés à deux horaires distincts, sur plusieurs journées, afin d'assurer une évaluation représentative de la qualité de l'eau produite. Le tableau III-6 regroupant les résultats obtenus et présentés ci-dessous.

Tableau III-6 : Valeurs de la teneur en calcium (en ppm)								
	Janvier			Avril				Norme[28-29]
	20/01	27/01	28/01	17/04	18/04	19/04	21/04	
08 :30	21	21.2	21.2				21.2	200
10 :30	21.2			21.2	21.2	21.2	21.2	

La mesure de la teneur en calcium a été effectuée dans le cadre du contrôle des paramètres physico-chimiques de l'eau dessalée, afin d'évaluer l'efficacité de la reminéralisation. Celle-ci est essentielle pour rétablir un certain équilibre ionique, améliorer le goût de l'eau, et prévenir la corrosion des réseaux de distribution.

Les valeurs relevées dans le tableau ci-dessus montrent une concentration stable autour de 21,2 mg/l, aussi bien en janvier qu'en avril, avec de très faibles fluctuations (entre 21,0 et 21,2 mg/l). Ces résultats traduisent une bonne homogénéité du processus de reminéralisation dans le temps et sont en conformité avec les normes établies par l'OMS [29]. Malgré cette stabilité, on constate que les concentrations mesurées restent nettement inférieures à la limite maximale recommandée, fixée à 200 mg/l selon les normes en vigueur. Cela signifie que l'eau

reminéralisée est conforme aux exigences sanitaires, mais aussi que l'ajout de calcium est modéré, comme c'est généralement le cas dans les stations de dessalement algériennes pour éviter l'entartrage.

Enfin, cette concentration relativement faible est également suffisante pour assurer une certaine protection contre la corrosion, sans induire de précipitation de sels. Cela témoigne d'un bon dosage des agents reminéralisants, souvent à base de calcite, complété par une injection de CO₂ pour favoriser leur dissolution

III.3.7 Le chlore résiduel

Comme pour les autres paramètres physico-chimiques, une analyse du chlore résiduel a été effectuée afin de s'assurer de l'efficacité de la désinfection finale de l'eau dessalée. Les mesures ont été réalisées en laboratoire à l'aide de la méthode colorimétrique au DPD (N, N-diéthyl-p-phénylènediamine), une technique précise et couramment utilisée pour la détection du chlore libre dans l'eau potable. Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau ci-dessous

Tableau III-7 : Valeurs de la teneur en chlore (en mg/L)								
	Janvier			Avril				Norme[28-29]
	20/01	27/01	28/01	17/04	18/04	19/04	21/04	
08 :30	0.3	0.3	0.31				0.28	<5
10 :30	0.29			0.37	0.32	0.32	0.28	

Les mesures du chlore résiduel libre, effectuées à deux horaires distincts sur plusieurs journées en janvier et avril, révèlent une concentration comprise entre 0.28 et 0.37 mg/L. Ces valeurs sont bien en dessous de la limite maximale de 5 mg/L recommandée pour l'eau potable selon les standards internationaux, ce qui témoigne d'une bonne maîtrise du processus de désinfection.

La présence constante de chlore résiduel, même à faible concentration, indique que l'eau est suffisamment protégée contre une éventuelle recontamination microbienne après traitement, tout en évitant un excès de chlore susceptible d'altérer la qualité organoleptique de l'eau.

La légère variation observée entre les différents jours et horaires reste dans des marges normales et n'affecte en rien l'efficacité du traitement. Ces résultats montrent que le système de dosage

du chlore est stable et bien ajusté, garantissant une eau conforme et sans risque pour la consommation humaine.

III.3.8 TAC (Titre Alcalimétrique Complet)

Le Titre Alcalimétrique Complet (TAC) permet d'évaluer la teneur en composés alcalins présents dans l'eau, principalement les bicarbonates (HCO_3^-). Cette mesure est essentielle pour déterminer le pouvoir tampon de l'eau, c'est-à-dire sa capacité à neutraliser les acides sans variations brutales de pH. Un bon équilibre alcalin est crucial dans le traitement et la distribution de l'eau potable, notamment pour préserver la stabilité chimique et prévenir à la fois l'agressivité et l'entartrage.

Dans cette étude, les échantillons analysés ont été soumis à un titrage acido-basique utilisant de l'acide sulfurique (H_2SO_4) comme titrant, avec le vert de bromocrésol comme indicateur coloré. Le virage de couleur observé marque le point d'équivalence correspondant à la neutralisation des espèces alcalines. Les résultats du TAC, exprimés en ppm $CaCO_3$, sont regroupés dans le tableau ci dessous.

Tableau III-8 : Valeurs du TAC (en ppm $CaCO_3$)								
	Janvier			Avril				Norme[28-29]
	20/01	27/01	28/01	17/04	18/04	19/04	21/04	50<TAC<65
08 :30	59	60	60	/	/	/	60	
10 :30	60	/	/	60	60	60	60	

Les mesures du Titre Alcalimétrique Complet (TAC) réalisées au cours des mois de janvier et avril ont donné des valeurs comprises entre 59 et 60 mg/L de $CaCO_3$. Ces analyses ont été effectuées à deux moments distincts de la journée (08 h 30 et 10 h 30), sur plusieurs jours, dans le but de vérifier la stabilité de ce paramètre dans le temps.

L'ensemble des valeurs mesurées est remarquablement stable, sans variation significative entre les différents jours ni entre les deux créneaux horaires. Cette régularité traduit une bonne

maîtrise du processus de traitement de l'eau et une composition chimiquement équilibrée, ce qui est un indicateur favorable dans le cadre de la production d'eau potable.

Par ailleurs, toutes les valeurs se situent dans la plage recommandée par les normes de potabilité, à savoir entre 50 et 65 mg/L de CaCO₃. Cette conformité atteste que l'eau possède un pouvoir tampon suffisant, c'est-à-dire une capacité à résister aux variations de pH. Cette stabilité est essentielle dans le contexte du dessalement et de la distribution, car elle permet de limiter les risques d'agressivité (corrosion des canalisations) ou à l'inverse, de formation de dépôts calcaires.

Ainsi, les résultats obtenus indiquent que l'eau analysée présente une bonne qualité chimique, conforme aux exigences de potabilité. Son équilibre alcalin assure non seulement la stabilité du pH, mais contribue également à la protection des infrastructures de transport et de stockage. Ce paramètre, en cohérence avec les autres indicateurs de qualité, vient renforcer l'évaluation positive de l'eau produite.

III.4 Principaux problèmes de la station et leurs solutions

III.4.1 Qualité variable de l'eau d'alimentation

III.4.1.1 Problème

L'eau de mer peut présenter des variations importantes selon les saisons (turbidité, pollution, prolifération d'algues), ce qui affecte la stabilité du processus.

III.4.1.2 Solution

- Adaptation dynamique du prétraitement en fonction des conditions.
- Surveillance en temps réel des paramètres de l'eau d'entrée.
- Réduction du captage en surface en cas d'efflorescence algale.

III.4.2 Encrassement des membranes

III.4.2.1 Problème

Les membranes peuvent être obstruées par des matières organiques, des particules en suspension, des micro-organismes ou des précipitations minérales. Cela entraîne une baisse du débit, une perte d'efficacité et une augmentation de la pression nécessaire.

III.4.2.2 Solution

- Mise en place d'un prétraitement efficace (filtration, coagulation, floculation).
- Utilisation de produits antitartre (anti scalants).



Figure III-6 : Réservoir de l'anti-scalant

- Réalisation régulière de nettoyages chimiques.
- Surveillance continue de la qualité de l'eau d'alimentation.

III.4.3 Colmatage des filtres

III.4.3.1 Problème

Les filtres utilisés en prétraitement (notamment les filtres à sable ou cartouches) peuvent se colmater progressivement en raison de l'accumulation de matières en suspension, d'algues, ou de débris organiques. Ce colmatage se manifeste généralement par une augmentation de la pression différentielle à l'entrée/sortie du filtre ou par une diminution du débit filtré.

III.4.3.2 Solutions

- Réalisation régulière de contre-lavages pour les filtres.
- Remplacement périodique des cartouches filtrantes.
- Mise en place d'un suivi automatique des pressions différentielles pour détecter les débuts de colmatage.

III.4.4 Consommation énergétique élevée

III.4.4.1 Problème

Le processus d'osmose inverse nécessite une pression élevée (souvent entre 55 et 70 bars pour l'eau de mer), ce qui engendre une forte consommation d'énergie.

III.4.4.2 Solution

- Utilisation de systèmes de récupération d'énergie
- Intégration d'énergies renouvelables (solaire, éolien) pour compenser la consommation.

III.4.5 Production de saumure concentrée

III.4.5.1 Problème

Le rejet d'eau fortement salée (saumure) peut avoir un impact environnemental important sur les milieux marins.

III.4.5.2 Solution

- Conception de systèmes de rejet adaptés avec une bonne dilution.
- Surveillance environnementale périodique autour de la zone de rejet.
- Recherche d'utilisations alternatives de la saumure (ex. : extraction de sels ou de magnésium, applications industrielles).
- Rejeter la saumure en mer à l'aide d'un système de dispersion afin de réduire son impact sur le milieu marin.

III.4.6 Durée de vie limitée des membranes

III.4.6.1 Problème

Les membranes ont une durée de vie limitée (généralement 5 à 7 ans), ce qui entraîne des coûts réguliers de remplacement.

III.4.6.2 Solution

- Suivi régulier des performances (pression, débit, conductivité).
- Respect strict des protocoles de nettoyage.
- Utilisation de membranes de nouvelle génération plus résistantes.

III.4.7 Corrosion des équipements

III.4.7.1 Problème

L'eau de mer est hautement corrosive, ce qui peut endommager les équipements (tuyauteries, pompes, membranes) et entraîner des pannes fréquentes.

III.4.7.2 Solution

- Utiliser des matériaux résistants à la corrosion comme les alliages spéciaux ou certains plastiques techniques.
- Il est aussi crucial de maintenir un pH et un potentiel redox adéquats dans le circuit

III.5 Conclusion

L'analyse des performances de la station de dessalement a mis en évidence la relation étroite entre les paramètres de fonctionnement et la qualité de l'eau produite. Les résultats des mesures physico-chimiques et organoleptiques ont révélé une conformité générale aux normes de potabilité, tout en soulignant l'existence de fluctuations ponctuelles liées aux variations des conditions saisonnières. Ces données traduisent non seulement l'efficacité globale du procédé mis en œuvre, mais aussi la nécessité d'un suivi analytique rigoureux et régulier.

Le nettoyage chimique constitue un levier technique et économique majeur pour assurer la fiabilité et la rentabilité du système de traitement.

Par ailleurs, l'identification des principales limitations techniques telles que le colmatage des filtres, l'encrassement membranaire ou les rejets à fort impact environnemental, a permis de proposer des mesures correctives et préventives adaptées. Ces constats soulignent l'importance d'une approche intégrée, combinant optimisation des paramètres de fonctionnement, maintenance préventive et adoption de solutions durables, en vue d'assurer la pérennité et l'efficacité de la production d'eau potable dessalé

Conclusion générale et recommandations

Le travail présenté dans ce mémoire était consacré à l'étude des propriétés physico-chimiques et organoleptiques de l'eau potable produite par la technique d'osmose inverse au niveau de la station de dessalement de Sonacter durant la période de deux mois (Janvier et Avril 2025).

À travers un suivi régulier de plusieurs paramètres comme la température, le pH, la turbidité, la conductivité, la dureté, la teneur en calcium, le chlore résiduel et le TAC, nous avons pu vérifier la qualité de l'eau délivrée et sa conformité aux normes exigées pour l'usage humain et répond globalement aux exigences de potabilité.

Chaque mesure a été effectuée selon des méthodes précises, avec des instruments adaptés, garantissant la fiabilité des données collectées. Cette démarche nous a permis non seulement d'assurer le bon fonctionnement de la station, mais aussi de détecter quelques écarts mineurs, comme la légère baisse de la dureté à certains moments, pouvant être corrigés par des ajustements simples, tels que l'augmentation du dosage en CO₂.

Le contrôle régulier de la qualité de l'eau dessalée s'est avéré essentiel pour une meilleure compréhension du rôle de chaque étape du traitement, dans la production d'une eau propre, saine et conforme aux exigences de la consommation humaine.

Ce travail a mis en évidence le rôle du nettoyage chimique des membranes qui s'avère être une opération essentielle pour maintenir les performances globales de l'installation. En éliminant les dépôts organiques, minéraux et biologiques accumulés au fil du temps, ce procédé permet de restaurer en grande partie la perméabilité initiale des membranes et d'améliorer le flux de production. Il contribue ainsi à prolonger la durée de vie des membranes, à réduire les pertes de charge et à optimiser la consommation énergétique de l'installation.

Bibliographie

- [1] The United Nations World Water Development Report: Water and Climate Change. Paris: UNESCO (2020).
- [2] World Water Development Report: Partnerships and Cooperation for Water. Nations Unies (2023).
- [3] .M.Rapinat ., «L'eau. Presse universitaire de France».1^{ere} édition : p127(1982).
- [4] F. Keddari « Concept et paramètres de traitement de l'eau de mer par la station de dessalement deTénès mémoire de licence professionnelle en génie chimique. Institut de technologie . (2020).
- [5] J. Degrmont ,Mémento technique de l'eau. 9^{ème} Edition, Tome 1, Paris. p2503(1989).
- [6] A.Huot, Eau et santé. La revue Bio contact, n°200(2010).
- [7] P. Umberto, T.Stefano Apnée : de l'initiation à la performance, Editions Amphora, France. 430p(2005) .
- [8] S. Degrmont , Mémento technique de l'eau. 2^{ème} Edition (2005).
- [9] B.Absar, « « Modélisation et simulation de systèmes de dessalement d'eau de mer par osmose inverse et énergies renouvelables ». Thèse de doctorat, Université Abdelhamid Ibn badis mostaganem (2012).
- [10] Y.Mandri « Etude paramétrique de procédés de dessalement de l'eau de mer par congélation sur paroi froid », thèse de doctorat, l'université Club bernard lyon, France(2011).
- [11] J.Salomon, le dessalement de l'eau de mer est-il une voie d'avenir?, revista de geografia e ordenamento do território, n°1 (junho). centro de estudos de geografia e ordenamento do território (2012) .
- [12] M. Morsli « Impact des arrêts techniques de l'usine de dessalement de l'eau de mer sur l'entreprise et l'environnement » Mémoire de magister, Université d'Oran (2013)

- [13] A. Boumoussa et A. Abadelia « Etudes de procédé de dessalement de l'eau de mer par la station de dessalement de Ténès - Wilaya de Chlef », mémoire de master, Université de Mostaganem (2022)
- [14] I. Bendahmane et M. Zebbar « L'évaluation des performances d'osmose inverse membranaire » Mémoire de master, Université de Mostaganem (2019).
- [15] K.Sella et H. Sehil « Proposition de nouvelles solutions aux problèmes rencontrés lors du dessalement d'eau par la technique MSF au niveau du complexe GNL2/Z » Mémoire fin d'étude de master , Université de Mostaganem (2024).
- [16] P. Danis, *Dessalement de l'eau de mer*. Techniques de l'Ingénieur, J2700 (2003).
- [17] V. G. ude, Solar Desalination: A Review. *Desalination*, 194(1–3), 457–468(2006).
- [18] F. Ammour et A. kettab et S. oussedik, le dessalement des eaux de mer en algérie : expérience et perspectives. *hydrotop* ,1-8 (2001).
- [19] Veera Gnaneswar Gude ^a, Nagamany Nirmalakhandan ^b, Shuguang Deng, *Renewable and sustainable energy reviews*, Volume 14, Issue 9, 2641-2654(2010)
- [20] A. Abadelia « Dessalement de l'eau de mer, UTE Desaladora de Ténès-Wilaya de Chlef : « Etude théorique » mémoire de licence professionnelle, Institut de technologie. Bouira : 2020.
- [21] M. Elimelech et W.A.Phillip The Future of Seawater Desalination: Energy, Technology, and the Environment. *Science*, 333(6043), 712–717(2011).
- [22] F. M Guergueb « La gestion des eaux en Algérie : Vers un nouveau paradigme ». Algérie : *Journal of Advanced Economic Research* Vol. 06 (ISS : 01), p. 307 (2021)
- [23] Y.Hadj Ali « Impact des stations de dessalement de l'eau de mer sur le littoral cas de la station plage El Hilel (Ain Témochent) » Mémoire de Master, Université Abou Bekr Belkaid, Tlemcen(2012)
- [24] B. Tiadjoue, Procédés de dessalement d'eau de mer par énergie solaire à concentration, Mémoire de Master en ingénierie énergie et génie des procédés industriels, Université de Perpignan (2010).

BIBLIOGRAPHIE

- [25] Projet d'évolution de la station de dessalement d'eau de mer par osmose inverse de l'île de sein, société Lorientaise de construction électromécanique (2006).
- [26] F. Si Mouhamedi « Etude expérimentale de l'efficacité d'une membrane en film mince de type spiralé pour le dessalement des eaux saumâtres, Mémoire de Master en Hydraulique, Université de Tlemcen (2015).
- [27] Manuel d'exploitation et d'entretien usine de dessalement de Mostaganem (2011)
- [28] Journal officielle de la république algérienne N° 46 (1993)
- [29] OMS. Directives de qualité pour l'eau de boisson. Recommandations Organisation mondiale de la Santé, 2^{ème} édition, 202 p(1994)
- [30] J.Rodier. L'analyse de l'eau - 10e édition Eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer (2009).
- [31] ARRIGNON.J, Aménagement écologique et piscicole des eaux douces. Edition: Bordas. 339 p (1976)