

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

NATIONAL HIGHER SCHOOL FOR  
HYDRAULICS

"The Mujahid Abdellah ARBAOUI"



المدرسة الوطنية العليا للري

"المجاهد عبد الله عرباوي"

ⵎⵓⵔ ⵏ ⵙⵉⵔ ⵏ ⵙⵉⵔ ⵏ ⵙⵉⵔ ⵏ ⵙⵉⵔ ⵏ ⵙⵉⵔ

## MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'Etat en Hydraulique

Option : REUTILISATION DES EAUX NON CONVENTIONNELLES

**THEME :**

**Etude d'impact environnementale de rejet  
de station dessalement (Bateau Cassée) et  
dimensionnement d'un diffuseur  
(w.alger)**

Présenté par :

MEZIANE Wissam

Devant les membres du jury

Nom et Prénoms	Grade	Qualité
DJELLAB Mohamed	Professeur	Président
LEULMI MEDJDOUB Sonia	MCB	Membre
BETATACHE Hayat	MCB	Membre
KOLIAI DJAFFAR	Associé	Membre
DJOUDAR HALAL Dahbia	MCA	Promotrice

Session juillet 2024

### **A MA CHERE MERE**

**Aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour éternel et ma considération pour les sacrifices que vous avez consenti pour mon instruction et mon bien être.**

**Je vous remercie pour tout le soutien et l'amour que vous me portez depuis mon enfance et j'espère que votre bénédiction m'accompagne toujours.**

### **A MON CHER PAPA**

**Le symbole de ma droiture, de sa générosité, et sa tendresse. Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours eu pour vous.**

**Rien au monde ne vaut les efforts fournis jour et nuit pour mon éducation et mon bien être. Ce travail est le fruit de tes sacrifices que tu as consenti pour mon éducation.**

### **A MES CHERS ET ADORABLES FRERES**

**ZINE EL DINE la prunelle de mes yeux, HIBA l'aimable que j'aime profondément**

### **A TOUTES MES AMIES**

**A TOUS CE QUI PORTE LE NOM MEZIANE ET ATTAF**

# REMERCIEMENTS

**الحمد لله الذي وفقني وسدد خطاي أشكره على منحه لي القوة والعزيمة لتحقيق أحلامي**

Je voudrais tout d'abord adresser toute ma reconnaissance à la directrice de ce mémoire, Madame DJOUDAR Dahbia, pour sa patience, sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter ma réflexion.

Je remercie mes très chers parents MEZIANE-A et ATTAF-G, qui ont toujours été là pour moi et pour leurs encouragements.

Je voudrais exprimer ma reconnaissance envers les amis et collègues qui m'ont apporté leur soutien moral et intellectuel tout au long de ma démarche, et spécialement MIDOUNE-N pour leur confiance et leur soutien inestimable.

Je remercie tous l'équipe de l'AEC et de la station bateau Cassée. Je vous suis très reconnaissante pour votre soutien continu et votre confiance indéfectible, lesquels ont joué un rôle crucial dans mon développement tout au long de cette période de stage.

Je remercie L'ADE de Ain defla

J'adresse mes sincères remerciements à tous les professeurs de l'école nationale supérieur d'hydraulique (ENSH), intervenants et toutes les personnes qui par leurs paroles, leurs écrits, leurs conseils et leurs critiques ont guidé mes réflexions et ont accepté de me rencontrer et de répondre à mes questions durant mes recherches.

## ملخص

تركز هذه الدراسة على إبراز أثر محطات تحلية مياه البحر، وعلى وجه التحديد المحلول الملحي الناتج عن محطة الباخرة المحطمة، تتراوح تركيزات الملح في المحلول المملح بين 50 و80 غ/ل، مقارنة بـ37 غ/ل في مياه البحر. على الرغم من أن هذا السائل يُفرغ حاليًا في البحر دون تأثيرات خطيرة على البيئة، إلا أن التفريغ طويل الأمد لكميات كبيرة قد يؤدي إلى عدم التوازن في تكوين المياه البحرية.

ضمن نطاق هذا المشروع، تم إجراء سلسلة من التحاليل الفيزيوكيميائية والبكتريولوجية على ماء البحر والمحلول المملح وبيولوجية. ثم تطبيق أساليب وتقنيات مختلفة لتقييم وإدارة المحلول المملح الناتج عن تحلية مياه البحر في برج الكيفان (محطة Bateau Cassée) باستخدام البرنامج (EXCEL). تمثل الدراسة أداة لتحسين كفاءة الأنظمة الحالية وضمان تخفيف جيد للمحلول المملح مع مياه البحر للحد من التأثير البيئي.

الكلمات المفتاحية: تحلية، المحلول المملح، البرنامج EXCEL، البحر.

## Résumé

La présente étude a porté sur la mise en évidence de l'impact des stations de dessalement d'eau Cette étude met en évidence l'impact des stations de dessalement d'eau de mer, en particulier la saumure produite par la station de dessalement Bateau Casée. Les concentrations de sel dans la solution saline varient entre 50 et 80 grammes par litre, comparées à 37 grammes par litre dans l'eau de mer. Bien que ce sel précipite actuellement dans la mer sans impact environnemental significatif, une décharge prolongée de grandes quantités peut entraîner un déséquilibre dans la formation de l'eau marine.

Dans le cadre de ce projet, une série d'analyses chimiques et physiques ont été effectuées sur l'eau de mer et la solution saline, en plus de la mise en œuvre de diverses méthodes pour évaluer la gestion de l'eau saline produite par la station de dessalement de Burj Al-Kifan (station Bateau Cassée) à l'aide du programme EXCEL. Ces méthodes comprenaient l'amélioration de l'efficacité des systèmes actuels et l'assurance d'un bon mélange de la saumure avec l'eau de mer pour minimiser l'impact environnemental.

Mots-clés : Dessalement, Saumure, programme EXCEL, Mer

## ABSTRACT

This study focuses on highlighting the impact of seawater desalination plants, specifically the brine solution produced by the ship's desalination station. The salt concentrations in the brine solution range between 50 and 80 grams per liter, compared to 37 grams per liter in seawater. Although this salt currently precipitates in the sea without significant environmental impact, prolonged discharge of large quantities may lead to an imbalance in marine water formation.

As part of this project, a series of chemical and physical analyses were conducted on seawater and brine solution, in addition to implementing various methods to assess the management of saline water produced by the seawater desalination station at Burj Al-Kifan (Bateau Casée station) using the EXCEL program. These methods included improving the efficiency of current systems and ensuring good integration of brine solution with seawater to minimize environmental impact

Keywords : Desalination, Brine Solution, EXCEL program, Sea

# SOMMAIRE

## Introduction générale

### CHAPITRE I : Ressources en eau et dessalement en Algérie

Introduction	1
I.1. La situation de l'eau en Algérie	1
I.1.1. Les ressources en eau	1
I.1.2. Les potentialités globales en eau	2
I.1.3. Capacités de mobilisation	2
I.1.4. Les principaux problèmes hydrauliques en Algérie	3
I.1.4.1. Les problèmes liés au changement climatique	3
I.1.4.2. Les problèmes techniques	4
I.1.5. Constat sur la situation en ressources hydriques	4
I.2. Le recours au dessalement d'eau de mer	5
I.2.1. Définition du dessalement	5
I.2.2. Le dessalement de l'eau de mer en Algérie	5
I.2.3. Importance du dessalement	6
I.2.4. Les capacités installées	7

### CHAPITRE II : Classification des procédés de dessalement

Introduction	8
II.1. Les principes de dessalement	8
II.1.1. Captation de l'eau de mer	
II.1.2. Prétraitement	8
II.1.2.1. Coagulation–floculation	8
II.1.2.2. La filtration	9
II.1.2.3. Le traitement chimique	9
II.1.2.4. La filtration de sécurité ou microfiltration	9
II.2. Classification des différents procédés de dessalement	10
II.2.1. TECHNOLOGIES DE DISTILLATION THERMIQUE	
II.2.1.1. La distillation multistage (MSF)	11
II.2.1.2. Distillation multi effets (MED)	12
II.2.1.3. Distillation par compression de vapeur (VC)	13
II.2.1.4. Congélation	13
II.2.2. Procédés membranaires	
II.2.2.1. L'osmose inverse	14
II.2.2.2. L'électrodialyse (ED)	14
II.3. Comparaison entre l'osmose inverse (OI) et les différents procédés distillation	15
II.4. Les critères de choix d'un procédé de dessalement	16
II.5. Concept de traitement d'eau de mer	16
II.5.1. Le processus de traitement d'eau de mer comprend les étapes suivantes	17

### CHAPITRE III : L'OSMOSE INVERSE

Introduction	18
III.1. Domaines d'utilisation de l'osmose inverse	18
III.2. Schéma général d'une installation d'osmose inverse	19
III.3. Caractéristiques principales d'une unité d'osmose inverse	20
III.4. Membranes d'osmose inverse	20
III.5. Modules d'osmose inverse	21

<b>CHAPITRE IV : Présentation de l'unité de dessalement de l'eau de mer (bateau cassée)</b>	
Introduction	24
IV.1. Présentation de l'unité de dessalement de l'eau de mer	24
IV.1.1. Cadre climatique	25
IV.2. L'USINE DE DESSALEMENT « bateau cassée »	30
IV.3. Les activités de la station	30
IV.4. Procédés d'osmose inverse	31
IV.5. Les différentes étapes de l'usine de dessalement	31
IV.5.1. Prise d'eau de mer	32
IV.5.2 Station de pompage pour eau de mer sur la côte	32
IV.5.3 Prétraitement	32
IV.5.4. Système d'osmose inverse	36
IV.5.5. Rejets de procédé (réservoir d'effluent)	39
IV.5.6. Post-traitement	40
<b>Chapitre V : Analyse et interprétation des résultats</b>	
Introduction	42
V.1. Les objectifs de notre étude expérimentale	42
V.2. L'étude expérimentale	42
V.2.1. Mode de prélèvement	42
V.2.2. Méthodes analytiques	43
V.2.3. Méthodes analytiques bactériologique	52
V.3. Interprétations et discussion des résultats	55
V.3.1. L'eau de mer (brute)	56
V.3.2. La saumure	57
V.3.3. L'eau traitée	58
V.4. Quantification des différents éléments chimiques dans la saumure	59
V.5. Analyse biologique	61
V.5.1. Résultats des analyses biologiques	62
<b>CHAPITRE VI : impact du processus de dessalement.</b>	
Introduction	63
VI.1. Impact de dessalement sur l'environnement	63
VI.2. Impact de rejet (saumure) sur l'environnement	63
VI.2.1. Origine et type des émissions et rejets	63
VI.2.2. Mesures pour réduire le risque sur les ressources marines	65
VI.3. Recommandations d'ordre général	65
VI.4. L'élimination de la saumure	66
<b>CHAPITRE VII : Gestion et valorisation de la saumure</b>	
Introduction	67
VII.1. Gestion de la saumure des usines de dessalement	67
VII.1.1. Dilution de la saumure	67
VII.2 Valorisation de saumure	70
VII.3. Dimensionnement d'ouvrage de dilution	73
VII.3.1. Site de rejet existant	73
VII.3.2. L'emplacement de la conduite de rejet projetée	73
VII.3.4. Choix du matériau	74
VII.3.5. Dimensionnement de la conduite	74
VII.3.6. Conception de diffuseur	75
<b>Conclusion générale</b>	<b>80</b>

# LISTE DES TABLEAUX

<b>Tableau I.1 :</b> La ressource en eau dans les cinq régions hydrographiques	<b>1</b>
<b>Tableau I. 2 :</b> Les grandes unités de dessalement	<b>7</b>
<b>Tableau I. 3 :</b> Petites station (monoblocs)	<b>7</b>
<b>Tableau II.1 :</b> comparaison entre OI et les d'autres procédés de distillation	<b>15</b>
<b>Tableau III.1:</b> Avantages et inconvénients des membranes organiques	<b>20</b>
<b>Tableau III.2:</b> Avantages et inconvénients des modules plans	<b>21</b>
<b>Tableau III.3:</b> Avantages et inconvénients des modules spiraux	<b>21</b>
<b>Tableau III.4:</b> Avantages et inconvénients des modules tubulaires	<b>22</b>
<b>Tableau III.5:</b> Avantages et inconvénients des modules fibres creuses	<b>23</b>
<b>Tableau IV.1 :</b> Caractéristiques techniques du filtre à sable.	<b>34</b>
<b>Tableau IV.2 :</b> Caractéristiques techniques du filtre à cartouches.	<b>35</b>
<b>Tableau IV.3 :</b> Caractéristiques techniques du Système d'osmose inverse	<b>36</b>
<b>Tableau IV.4:</b> liste des produits chimiques utilisés dans la station dessalement de l'eau de mer	<b>41</b>
<b>Tableau V.1:</b> Résultats des analyses physico-chimiques de l'eau de mer.	<b>56</b>
<b>Tableau V.2:</b> Résultats des analyses bactériologiques de l'eau de mer.	<b>56</b>
<b>Tableau V.3:</b> Résultats des analyses physico-chimiques de la saumure.	<b>57</b>
<b>Tableau V.4:</b> Résultats des analyses bactériologiques de la saumure	<b>57</b>
<b>Tableau V.5 :</b> Résultats des analyses physico-chimiques de l'eau traitée.	<b>58</b>
<b>Tableau V.6 :</b> Résultats des analyses bactériologiques de l'eau traitée.	<b>59</b>
<b>Tableau V.7:</b> la quantité de saumure rejetée dans une durée de deux mois (janvier et février 2024) à l'usine de dessalement de bateau cassé.	<b>59</b>
<b>Tableau V.8:</b> Les quantités des différents éléments chimiques rejetées par la station de dessalement de bateau cassé.	<b>60</b>
<b>Tableau V.9 :</b> Les résultats des analyses biologiques	<b>62</b>
<b>Tableau VII.1 :</b> taux de dilution de la saumure par les eaux épurées.	<b>67</b>
<b>Tableau VII.2 :</b> Coefficient de restitution	<b>68</b>
<b>Tableau VII.3:</b> Volumes mensuels récupérables.	<b>69</b>
<b>Tableau VII.4:</b> Rôle et concentration en sortie de chaque bassin.	<b>71</b>
<b>Tableau VII.5:</b> Les valeurs de K, m et $\beta$ .	<b>74</b>
<b>Tableau VII.6:</b> les vitesses calculées pour différents diamètres	<b>75</b>
<b>Tableau VII.7 :</b> caractéristiques de diffuseur	<b>80</b>

# LISTE DES FIGURES

<b>Figure I.1</b> : Répartition des barrages en exploitation dans le nord algérien.	2
<b>Figure I.2</b> : Stress hydrique projeté pour le scénario optimiste à l'horizon 2030	4
<b>Figure I.3</b> : Demande de dessalement pour le scénario optimiste 2030	6
<b>Figure I.4</b> : la désalinisation dans le monde	6
<b>Figure II.1:</b> Coagulation floculation	8
<b>Figure II.2:</b> Principe de dessalement thermique	11
<b>Figure II.3:</b> Schéma de principe de l'unité MSF	11
<b>Figure II.4:</b> Schéma de principe de l'unité MED	12
<b>Figure II.5:</b> Schéma de principe des unités VC (MVC et TVC)	13
<b>Figure II.6:</b> Structure d'une membrane et son principe	14
<b>Figure II.7:</b> Principe des phénomènes d'osmose et d'osmose inverse.	14
<b>Figure II.8:</b> Schéma de principe de l'unité d'électrodialyse	15
<b>Figure II.9:</b> Le choix du procédé de dessalement varie en fonction du niveau de salinité des eaux à traiter.	16
<b>Figure III.1</b> : Principe de l'osmose inverse	18
<b>Figure III.2</b> : Schéma de principe d'une unité d'osmose inverse	19
<b>Figure III.3:</b> Modules spirales	22
<b>Figure III.4:</b> Modules tubulaires	22
<b>Figure III.5:</b> Modules fibre creuses	23
<b>Figure IV.1:</b> Situation Géographique de la Station de Dessalement	24
<b>Figure IV.2</b> : Météo mensuelle pour Alger	25
<b>Figure IV.3</b> : une caractérisation compacte des températures horaires moyennes pour toute l'année.	25
<b>Figure IV.4</b> : Catégories de couverture nuageuse à Alger	26
<b>Figure IV.5</b> : Probabilité de précipitation quotidienne à Alger	27
<b>Figure IV.6</b> : Pluviométrie mensuelle moyenne à Alger	27
<b>Figure IV.7</b> : Heures de clarté et crépuscule à Alger.	28
<b>Figure IV.8</b> : Niveaux de confort selon l'humidité à Alger	28
<b>Figure IV.9</b> : Vitesse moyenne du vent à Alger	29
<b>Figure IV.10</b> : Température moyenne de l'eau à Alger	30
<b>Figure IV.11</b> : Tour de prise sous-marine.	31
<b>Figure IV.12</b> : les pompes de l'eau de mer	32
<b>Figure IV.13</b> : l'emplacement de mélangeurs au niveau de la conduite	33
<b>Figure IV.14</b> : schéma d'un décanteur lamellaire	33
<b>Figure IV.15</b> : les filtres à sable sous pression à double couche	35
<b>Figure IV.16</b> : les filtres à cartouche	36
<b>Figure IV.17</b> : unité d'osmose inverse de bateau cassé	37
<b>Figure IV.18</b> : pompe haute pression	37
<b>Figure IV.19</b> : pompe booster	38
<b>Figure IV.20</b> : Dispositifs de récupération d'énergie (ERD)	38
<b>Figure IV.21:</b> Système de récupération d'énergie	39
<b>Figure IV.22</b> : Châssis d'Osmose Inverse	39
<b>Figure IV.23</b> : Schéma représentatif du système de ré-minéralisation par la chaux	40
<b>Figure IV.24</b> : Schéma représentatif du système de reminéralisation par la calcite	40

<b>Figure V.1:</b> Point de prélèvement de l'eau de mer	43
<b>Figure V.2:</b> Le point de prélèvement de l'eau produite	43
<b>Figure V.3:</b> Point de prélèvement de l'eau de saumure	43
<b>Figure V.4:</b> Appareil multi-paramètre	44
<b>Figure V.5:</b> Turbidimètre (TL2300).	44
<b>Figure V.6:</b> la solution NAOH et la solution tampon	45
<b>Figure V.7:</b> L'ajoute de murexide est observation de couleur rose	45
<b>Figure V.8:</b> le titrage	46
<b>Figure V.9:</b> Détermination des ions chlorure (cl <sup>-</sup> )	46
<b>Figure V.10 :</b> Photométrie de la flamme (PFP7 – Jenway) et les étalons	48
<b>Figure V.11:</b> spectrophotomètre (DR 6000).	49
<b>Figure V.12:</b> dosage de nitrite	50
<b>Figure V.13:</b> Dosage de nitrate	51
<b>Figure V.14 :</b> Détermination des phosphates	52
<b>Figure V.15:</b> Détermination de l'azote ammoniacal	52
<b>Figure V.16 :</b> Rampe de filtration	53
<b>Figure V.17:</b> filtres des coliformes totaux	53
<b>Figure V.18 :</b> filtres des coliformes fécaux	54
<b>Figure V.19 :</b> filtre des clostridium	54
<b>Figure V.20 :</b> filtres des Streptocoques	55
<b>Figure V.21 :</b> l'évolution du volume de la saumure pendant une année	60
<b>Figure V.22 :</b> le point de rejet de la station bateau cassée	62
<b>Figure VII.1 :</b> schéma d'un salin	71
<b>Figure VII.2 :</b> Capture d'écran de calcul des caractéristiques de rejet (Excel)	75
<b>Figure VII.3 :</b> final effluent caractéristiques	76
<b>Figure VII.4 :</b> Capture d'écran de calcul des caractéristiques de décharge de 1 <sup>er</sup> cas	76
<b>Figure VII.5 :</b> les caractéristiques de décharge de 1 <sup>er</sup> cas	76
<b>Figure VII.6 :</b> Capture d'écran de calcul des caractéristiques de décharge de 2 <sup>em</sup> cas	77
<b>Figure VII.7 :</b> les caractéristiques de décharge de 2 <sup>eme</sup> cas	77
<b>Figure VII.8 :</b> Capture d'écran de calcul des propriétés de jet.	78
<b>Figure VII.9 :</b> les propriétés de jet.	78
<b>Figure VII.10:</b> résumer de toutes les caractéristiques.	79

## Liste des abréviations :

**Al** : Alcalinité  
**ED** : Electrodialyse  
**EDTA** : Ethyle Diamine Tétracétique  
**ERI** : Energy Recovery INC  
**MSF** : Multi Stage Flash  
**N** : Normalité  
**NTU** : Unité Néphélométrique de Turbidité  
**OI** : Osmose Inverse  
**OMS** : Organisation Mondiale de la Santé  
**PH** : Potentiel d'Hydrogène  
**ppm** : Partie par million  
**S** : Salinité  
**T** : Température  
**TDS** : Solides Totaux Dissous  
**TH** : Titre Hydrométrique (la dureté totale)  
**TSS** : Total des matières solides en suspension  
**Turb** : Turbidité

## **Liste des planches**

Planche 1 : Tracé en plan de conduite de rejet (saumure) et partie diffuseur

Planche 2 : profile hydraulique de la station de dessalement Bateau Casée

Planche 3 : plan de situation de la station de dessalement Bateau Casée

Planche 4 : plan de masse de la station de dessalement Bateau Casée

## Introduction générale :

Au cœur des terres arides de l'Afrique du Nord, l'Algérie se trouve confrontée à un défi crucial : la garantie d'un approvisionnement en eau suffisant pour ses populations, ses industries et son agriculture, dans un contexte de changements climatiques rapides. Face à cette réalité, le dessalement de l'eau de mer émerge comme une solution stratégique et incontournable pour répondre à cette demande croissante en eau potable. L'importance croissante du dessalement en Algérie est profondément enracinée dans la nécessité pressante de diversifier les sources d'eau et de garantir une sécurité hydrique dans un pays où les ressources en eau douce sont de plus en plus rares et vulnérables aux impacts du réchauffement climatique.

Le littoral étendu de l'Algérie offre un terrain fertile pour le déploiement de cette technologie, exploitant ainsi efficacement les vastes ressources marines dont dispose le pays. Cette approche permet non seulement de répondre aux besoins en eau potable des centres urbains densément peuplés, mais aussi d'offrir des solutions durables pour l'irrigation agricole dans les régions intérieures souvent arides. En investissant dans le développement du dessalement, l'Algérie prend des mesures proactives pour garantir la disponibilité continue d'une ressource vitale, même dans les conditions climatiques les plus extrêmes.

Le pays a connu une expansion significative de ses capacités de dessalement ces dernières années, avec la mise en œuvre de projets ambitieux à travers tout le territoire. Cette croissance témoigne de l'engagement ferme de l'Algérie à surmonter les défis de la rareté de l'eau en adoptant des solutions innovantes et technologiquement avancées. Cependant, ce développement rapide n'est pas sans conséquences, et il est impératif d'évaluer attentivement les impacts environnementaux potentiels associés à cette expansion du dessalement.

Cette étude se propose donc d'examiner de manière approfondie l'importance croissante du dessalement en Algérie dans le contexte du réchauffement climatique, en mettant en lumière les avancées réalisées, les défis rencontrés et les opportunités à saisir. En analysant les implications socio-économiques et environnementales de cette stratégie, nous chercherons à fournir des recommandations éclairées pour une mise en œuvre durable du dessalement, afin de garantir la sécurité hydrique et de préserver les écosystèmes marins précieux de l'Algérie pour les générations futures.

## CHAPITRE I : Ressources en eau et dessalement en Algérie

### Introduction :

La Terre, souvent décrite comme la planète bleue en raison de ses océans couvrant les trois quarts de sa surface, présente une réalité paradoxale : la grande majorité de cette eau est salée et impropre à la consommation humaine. Les réserves naturelles d'eau douce sont donc précieuses mais limitées, souvent mal distribuées et vulnérables aux conditions climatiques telles que les sécheresses.

La gestion de l'eau est un défi majeur dans de nombreux pays, y compris en Algérie, confrontés à une pression croissante sur leurs ressources hydriques. Cette gestion complexe est exacerbée par des contraintes socio-économiques, juridiques et géopolitiques qui entravent le développement équitable de certaines régions. En Algérie, où les ressources en eau douce sont limitées et souvent mal réparties, ces défis sont particulièrement préoccupants.

Face aux besoins mondiaux croissants en eau douce pour la consommation humaine, l'agriculture et le tourisme, le dessalement de l'eau de mer apparaît comme une solution attrayante et logique. L'Algérie, consciente de cette nécessité, a investi dans des infrastructures de dessalement pour augmenter son approvisionnement en eau potable et soutenir son développement économique. Cette initiative témoigne de l'engagement du pays à surmonter les défis liés à la gestion de l'eau et à garantir un accès durable à cette ressource essentielle.

### I.1. La situation de l'eau en Algérie :

La situation de l'eau en Algérie présente plusieurs défis significatifs. En raison de sa géographie aride et semi-aride, l'Algérie est confrontée à une rareté chronique de ressources en eau. Voici quelques points clés concernant la situation de l'eau dans le pays :

#### I.1.1. Les ressources en eau :

Les 17 bassins versants du pays sont répartis en 5 bassins hydrographiques. La répartition des ressources en eau est inégale, que ce soit en termes de répartition géographique, de quantité ou de nature (eaux de surface ou souterraines), comme le montre le tableau I.1. [1]

**Tableau I.1** : La ressource en eau dans les 5 bassins hydrographiques [2]

Régions hydrographiques	Eaux superficielles	Eaux Souterraines	Total de la ressource
Oranie - Chott Chergui	1 milliard de m <sup>3</sup>	0.6 milliards de m <sup>3</sup>	1.6 milliards de m <sup>3</sup>
Cheliff - Zahrez	1.5 milliard de m <sup>3</sup>	0.33 milliard de m <sup>3</sup>	1.83 milliards de m <sup>3</sup>
Algérois - Hodna -Soummam	3.4 milliards de m <sup>3</sup>	0.74 milliard de m <sup>3</sup>	4.14 milliards de m <sup>3</sup>
Constantinois - Seybouse - Mellegue	3.7 milliards de m <sup>3</sup>	0.43 milliard de m <sup>3</sup>	4.13 milliards de m <sup>3</sup>
Sahara	0.2 milliard de m <sup>3</sup>	5 milliards de m <sup>3</sup>	(Il s'agit de la nappe albienne)

#### I.1.2. Les potentialités globales en eau :

Le pays dispose de ressources en eau considérables, évaluées à environ 18 milliards de mètres cubes par an. Au nord, les nappes souterraines renouvelables fournissent près de 2,5 milliards

de mètres cubes d'eau chaque année, tandis que les ressources en eaux de surface atteignent environ 10 milliards de mètres cubes par an.

Dans le sud du pays, les réserves en eau souterraine sont remarquables, principalement issues des nappes du Continental Intercalaire (CI) et du Complexe Terminal (CT). Les ressources en eau souterraine fossile sont estimées à près de 5 milliards de mètres cubes par an, auxquelles s'ajoutent environ 0,5 milliard de mètres cubes provenant des sources de surface annuellement. [1]

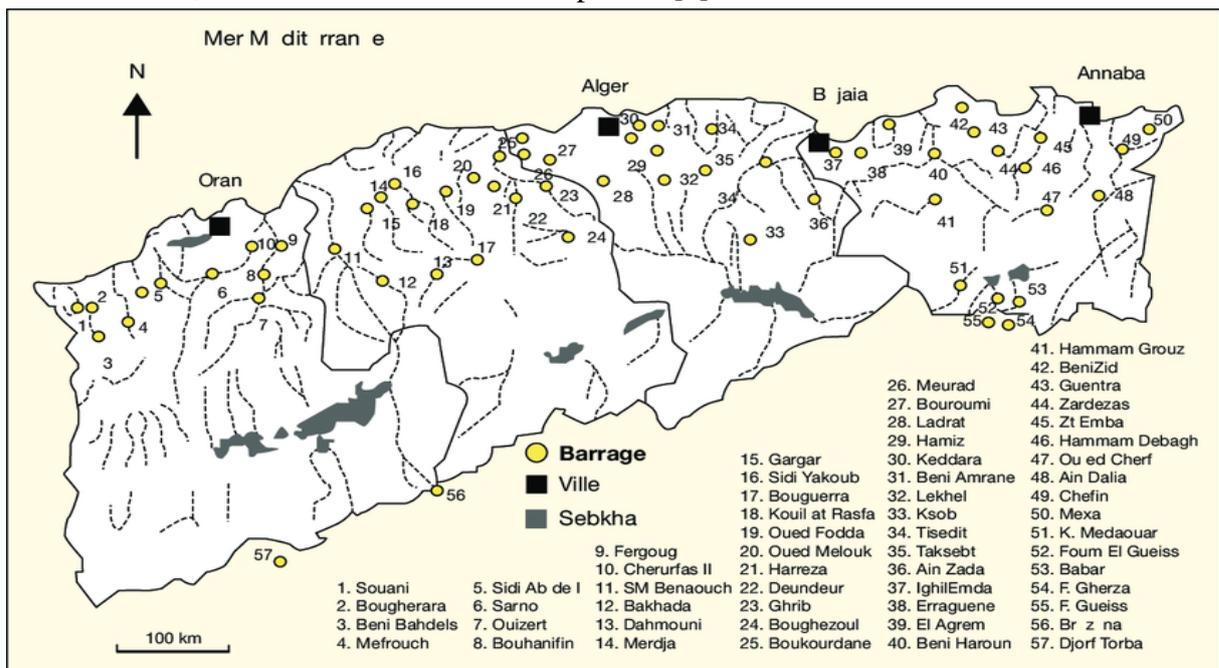
**I.1.3. Capacités de mobilisation :**

Les capacités totales de mobilisation des ressources en eau s'élèvent à 12 milliards de mètres cubes par an, réparties comme suit :

- Dans le Nord du pays, ces capacités atteignent 6,8 milliards de mètres cubes par an, dont 5 milliards proviennent des eaux de surface et 1,8 milliard des eaux souterraines.
- Les régions sahariennes contribuent avec 5,2 milliards de mètres cubes par an, représentant les réserves exploitables sans risque de perturbation hydrodynamique.

La mobilisation de ces ressources est principalement assurée par :

- La construction de barrages. En 2008, les 57 barrages répartis dans les 5 bassins hydrographiques avaient une capacité totale de 6 milliards de mètres cubes, avec 3 milliards de mètres cubes régularisables. Avec les projets en cours, l'Algérie prévoit d'augmenter ce parc à 72 grands ouvrages d'ici 2010, augmentant ainsi la capacité totale de mobilisation à 7,40 milliards de mètres cubes par an. [1]



**Figure I.1 :** Répartition des barrages en exploitation dans le nord algérien. [3]

- Actuellement, l'exploitation des eaux souterraines se chiffre à 1,6 milliard de mètres cubes par an à travers des forages, complétée par 85 millions de mètres cubes par an provenant des foggaras.

- Le recyclage des eaux usées épurées concerne environ 730 millions de mètres cubes rejetés chaque année. Actuellement, les 65 stations d'épuration en fonctionnement disposent d'une capacité totale de traitement de 365 millions de mètres cubes par an. [1]

#### I.1.4. Les principaux problèmes hydrauliques en Algérie :

En Algérie, la problématique de l'eau s'est intensifiée au cours de la dernière décennie marquée par une sécheresse persistante qui a entraîné une diminution des réserves hydriques. Au niveau des précipitations, cette période se caractérise par leur insuffisance et leur irrégularité spatiale et temporelle, tant à l'échelle interannuelle que saisonnière. Ainsi, la rareté croissante des ressources en eau, la dégradation de leur volume disponible et les impératifs de développement économique et social exigent l'élaboration et la définition d'une stratégie de gestion à moyen et long terme.

Malgré la construction de nouveaux barrages et le recours au dessalement, l'Algérie prévoit un déficit en eau atteignant 1 milliard de mètres cubes d'ici l'année 2025. [4]

##### I.1.4.1. Les problèmes liés au changement climatique :

Il y a plusieurs problèmes climatiques en Algérie :

###### a) La sécheresse :

En Algérie, une sécheresse intense et persistante observée au cours des 30 dernières années a entraîné un déficit pluviométrique estimé à 30%. Cette situation a eu des répercussions néfastes sur les débits des cours d'eau, le niveau de remplissage des réservoirs de barrages et la recharge des nappes souterraines. Ces impacts ont eu des conséquences graves sur toutes les activités socio-économiques du pays. [4]

###### b) L'évaporation des lacs de barrages :

L'évaporation des lacs des barrages en Algérie est un phénomène significatif, entraînant une perte de volume très importante chaque année. [4]

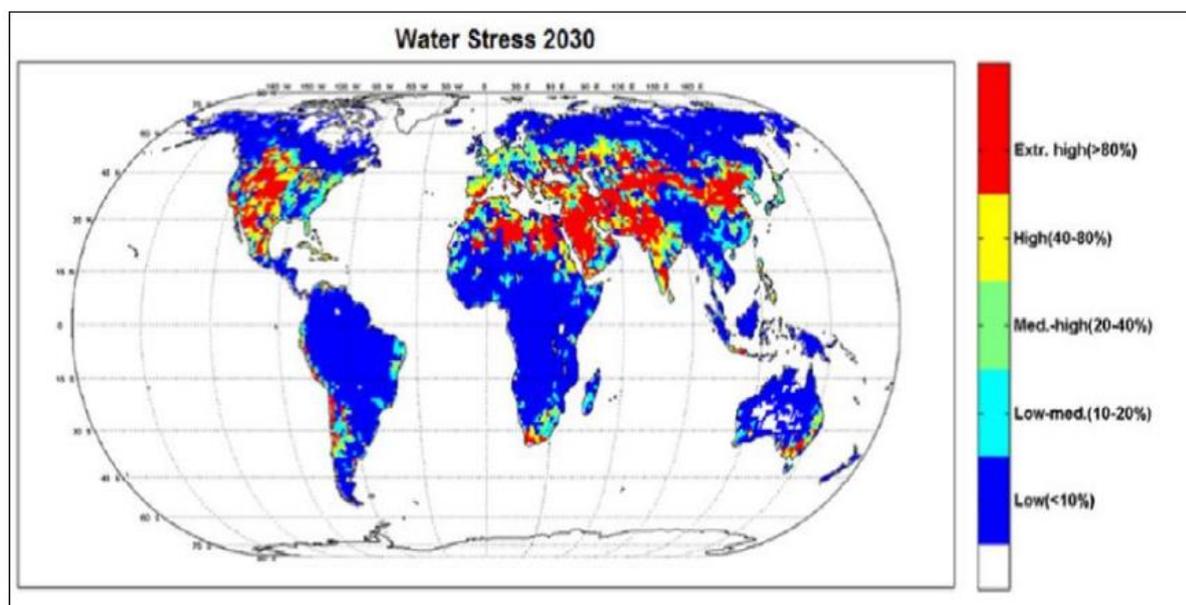


Figure I.2 : Stress hydrique projeté pour le scénario optimiste à l'horizon 2030[8]

### I.1.4.2. Les problèmes techniques :

L'Algérie prévoit un déficit en eau à cause de plusieurs problèmes techniques, voici quelques problèmes :

#### a) L'envasement des barrages en Algérie :

L'envasement progressif des réservoirs de barrages réduit inexorablement leurs capacités et compromet la régulation des débits essentiels. Dans les zones où l'érosion des sols est active, ce phénomène s'accroît rapidement, menaçant à moyen terme une diminution significative, de l'ordre de 20 à 30%, des volumes d'eau stockés.

#### b) La fuite dans les barrages :

Les fuites d'eau au niveau des barrages entraînent une déperdition considérable de cette ressource précieuse et rare, tout en posant des risques sérieux pour la stabilité des ouvrages hydrauliques. Par ailleurs, la plupart des barrages subissent une réduction de leur capacité due principalement à trois facteurs : les fuites d'eau, l'envasement et l'évaporation.

#### c) Eutrophisation des retenues de barrages :

L'eutrophisation se réfère à l'enrichissement d'un corps d'eau en sels minéraux, particulièrement en nitrates et en phosphates, provoquant des déséquilibres écologiques tels que la prolifération excessive de la végétation aquatique et la réduction du niveau d'oxygène dissous.

### I.1.5. Analyse de la situation actuelle des ressources en eau :

La situation de déficit en ressources hydriques en Algérie est exacerbée par plusieurs défis majeurs :

- 1. Un déséquilibre croissant entre les besoins et les ressources disponibles :** La croissance démographique et le développement économique et social des deux dernières décennies ont engendré une augmentation considérable des demandes en eau potable, industrielle et agricole.
- 2. Un déséquilibre géographique marqué entre les besoins et les ressources :** Une grande partie des besoins en eau est concentrée le long de la bande côtière (représentant 60% des besoins), nécessitant des transferts coûteux de ressources hydriques vers les régions intérieures du pays, notamment les Hauts Plateaux, pour compenser les déficits.
- 3. La pollution des nappes phréatiques et des ressources en eau de surface :** Les déchets domestiques, industriels et agricoles dépassent largement les capacités des systèmes de traitement, entraînant une réduction significative des volumes d'eau utilisables.

Ces facteurs cumulés représentent des défis importants pour la gestion durable et équilibrée des ressources hydriques en Algérie. La faiblesse des ressources est encore aggravée par :

- Une répartition spatiale et temporelle inégale des ressources en eau.
- L'érosion des sols et l'envasement des barrages, compromettant leur efficacité.
- Les pertes causées par la vétusté des réseaux de distribution et une gestion insuffisante.
- Les coûts sans cesse importants des investissements nécessaires à la mobilisation et transfert des ressources en eau. [4]

## I.2. Le recours au dessalement d'eau de mer :

Les ressources en eau de l'Algérie sont limitées, principalement en raison de conditions climatiques peu favorables. La pluviométrie est irrégulière, oscillant entre 100 et 600 mm par an seulement. Ce faible niveau place l'Algérie parmi les pays souffrant de pénurie d'eau selon les critères de la Banque mondiale, nécessitant la mobilisation de toutes les ressources disponibles pour assurer un approvisionnement en eau potable sécurisé. Ainsi, le dessalement des eaux de mer est une solution viable à cette problématique. [5]

### I.2.1. Définition du dessalement :

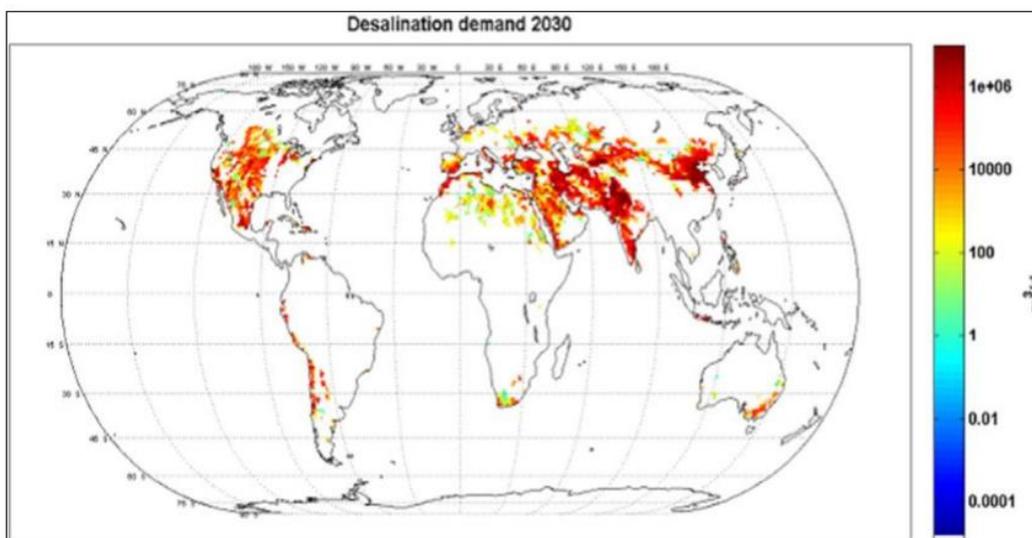
Le dessalement de l'eau, également appelé désalinisation, est un processus crucial permettant de produire de l'eau douce potable à partir d'eau saumâtre ou salée, principalement l'eau de mer.

Il est important de souligner que, en règle générale, il est plus simple et économique de trouver et traiter des sources d'eau douce, telles que les eaux de surface (lacs, rivières) ou les eaux souterraines, que de dessaler l'eau de mer. Cependant, dans de nombreuses régions du monde, comme c'est le cas en Algérie, les sources d'eau douce sont limitées. C'est pourquoi le dessalement de l'eau de mer est une solution essentielle pour répondre aux besoins croissants en eau potable dans ces zones. [6]

### I.2.2. Le dessalement de l'eau de mer en Algérie :

Les disponibilités en eau par habitant en Algérie ont diminué progressivement, accentuant l'écart entre la demande croissante et l'approvisionnement en eau, malgré les efforts soutenus de mobilisation. L'année hydrologique 2001-2002 a marqué un moment critique pour l'approvisionnement en eau et la redéfinition de la politique hydrique. À cette période, les réserves stratégiques en eau ont atteint un niveau particulièrement bas, avec un déficit hydrologique dépassant les 50%, principalement dans les régions Centre et Est du pays.

Pour faire face à cette situation urgente, un programme d'urgence de dessalement de l'eau de mer a été lancé dès 2002. Ce programme a été suivi par un projet découlant d'une étude approfondie sur le dessalement, visant à établir 13 grandes stations ayant une capacité totale d'environ 2,2 millions de mètres cubes par jour. Ces installations étaient destinées à répondre aux besoins en eau de 20 wilayas, comprenant 14 wilayas côtières et 6 wilayas limitrophes. [7]



**Figure I.3 :** Demande de dessalement pour le scénario optimiste 2030 [8]

**I.2.3. Importance du dessalement :**

La technique du dessalement d'eau de mer représente une solution durable et efficace pour répondre aux besoins en eau à la fois à court et à long terme. 72% de la surface totale de la terre est recouverte d'eau, dont 97% est salée. Les 3% d'eau douce qui reste sont inégalement répartis

10 pays se partagent 60% des réserves, alors que 29 autres essentiellement en Afrique et au Moyen Orient font régulièrement face à des pénuries.

Bien que le dessalement ne fournisse actuellement qu'une infime fraction, soit moins de 1%, de l'eau potable consommée à l'échelle mondiale, ses perspectives d'avenir sont en constante expansion.

40 % de la population mondiale vit à moins de 70 kilomètres d'une côte, soit la zone d'utilisation raisonnable du dessalement. En 2016, grâce à plus de 17 000 unités de production d'eau potable, générant une capacité totale de 51 millions de mètres cubes par jour, la production d'eau dessalée a atteint 109 millions de mètres cubes par jour. En Mer Méditerranée, la salinité varie entre 38, 4 g/litre et 41, 2 g/litre. [6]

**La désalinisation dans le monde**

15 906 usines produisent près de 100 millions de m<sup>3</sup> par jour d'eau dessalée et 142 millions de m<sup>3</sup> de saumure

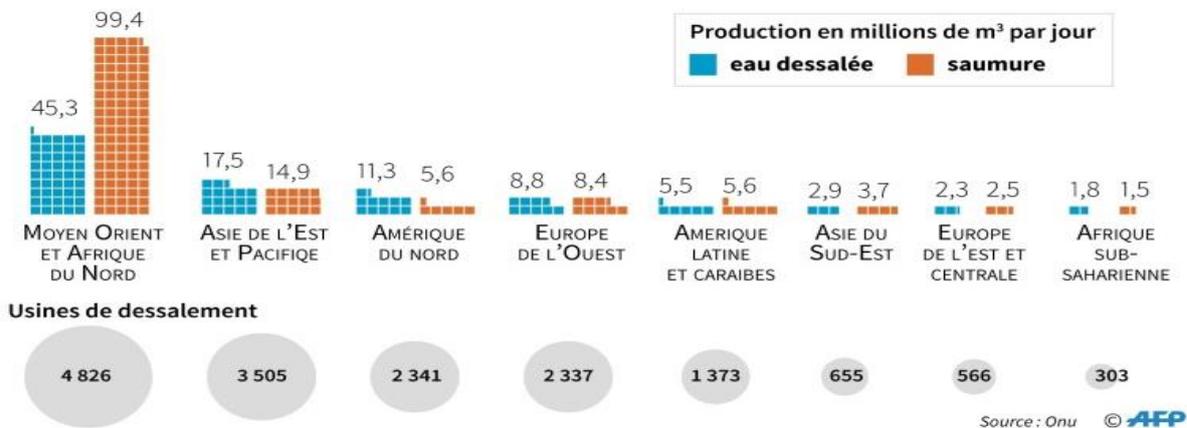


Figure I.4 : la désalinisation dans le monde [9]

**I.2.4. Les capacités installées :**

L'Algérie compte actuellement 14 usines de dessalement d'eau de mer d'une capacité de production estimée à 1,5 million de mètres cubes par jour. Cinq nouvelles stations en cours de réalisation à Bejaia (Tighremt), Boumerdes (Cap Djinet), El Tarf (Koudiet Eddraouche), Oran (Cap Blanc) et Tipaza (Fouka), entreront en production d'ici fin 2024, portant le nombre total des stations au 19.

Avec ces nouvelles usines, la capacité de dessalement de l'Algérie passera à 3,76 millions de mètres cubes par jour. Fin septembre dernier, l'Algerian Energy Company (AEC), filiale de Sonatrach, avait annoncé l'entrée en phase de production de la station de dessalement d'eau de mer de Corso (wilaya de Boumerdès), à pleine capacité de 80.000 m<sup>3</sup>/jour. En mars 2023, la station de dessalement d'El Marsa à Skikda a été mise en service.

D'autres projets de stations de dessalement sont inscrits, notamment à Tizi-Ouzou, où il est prévu la réalisation de deux usines à Azeffoun et Tizgirt. Il est également prévu un projet à Skikda et un autre à Jijel. [10]

**Tableau I. 2 :** Les grandes unités de dessalement

N°	Localisation	Capacité m <sup>3</sup> /j	Population à servir	Echéancier prévisionnel
1	Kahrama (Arzew)	90 000	540 000	En Exploitation
2	Hamma (Alger)	200 000	L'Algérois	En Exploitation
3	Skikda	100 000	666 660	En Exploitation
4	BeniSaf A.Temouchen	200 000	1 333 320	En Exploitation
5	Mostaganem	200 000	1 333 320	En Exploitation
6	Douaouda (Alger Ouest)	120 000	666 660	En Exploitation
7	Cap Djenet (Alger Est)	100 000	666 660	En Exploitation
8	Souk Tleta (Tlemcen)	200 000	1 333 320	En Exploitation
9	Honaine (Tlemcen)	200 000	1 333 320	En Exploitation
10	Mactaa (Oran)	500 000	1 333 320	En Exploitation
11	El Tarf	50 000	/	En Exploitation
12	Ténès	200 000	999 990	En Exploitation
13	Oued Sebt (Tipaza)	100 000	/	En Exploitation

**Tableau I. 3 :** Petites station (monoblocs)

Wilaya	Site	Capacité m <sup>3</sup> /j	Population à servir
Alger	Champ de tir	5000	33330
Alger	Palm Beach	2500	16660
Alger	La Fontaine	5000	33330
Tlemcen	Ghazaouet	5000	33330
Tipasa	Bou Ismail	5000	33330
Skikda	L.BenMhidi	7000	47000
Tizi –Ouzou	Tigzirt	2500	16660
Oran	Bou Sfer	5000	33330
Oran	Les Dunes	2X2 500	33330
Ain-Temouchent	Bou Zdjer	5000	33330
Ain-Temouchent	Chatt el Ward	5000	33330
Boumerdes	Corso	5000	33330

## CHAPITRE II : Classification des procédés de dessalement

### INTRODUCTION :

Il existe deux approches de base pour séparer l'eau du sel. La première approche consiste à utiliser des moyens thermiques pour effectuer un changement de phase de l'eau (en vapeur ou solide), séparer physiquement la nouvelle phase de la solution saline restante, puis récupérer l'énergie thermique pour la réutiliser lorsque l'eau séparée redevient liquide. Les procédés de distillation ont été les premiers procédés de dessalement réalisés à grande échelle et représentent une grande partie de la capacité de dessalement du monde. La deuxième approche consiste à utiliser les procédés de séparation membranaires. Les deux processus majeurs de ce type sont l'osmose inverse (OI) et l'électrodialyse (ED). Dans l'OI, l'eau passe à travers une membrane imperméable au soluté en réponse à un gradient de potentiel chimique obtenu par pressurisation. En ED, les ions en solution migrent à travers des membranes sélectives aux anions et aux cations en réponse à un champ électrique. Ces deux procédés ont été commercialisés à grande échelle [11].

### II.1. Les principes de dessalement :

Le dessalement de l'eau est une technique essentielle pour fournir de l'eau douce dans les régions où les ressources en eau naturelles sont limitées. Voici les principes fondamentaux du dessalement :

#### II.1.1 Captation de l'eau de mer :

Le processus commence par le pompage de l'eau de mer vers la station de dessalement, en s'assurant qu'elle ne contient pas de matières en suspension. Deux principales méthodes sont utilisées pour cela :

- **Les forages côtiers** : qu'ils soient verticaux ou sous forme de galeries horizontales, ces techniques permettent d'obtenir une eau de très bonne qualité et stable.
- **La prise d'eau en surface** : idéalement réalisée en haute mer, loin des côtes et dans des zones profondes, cette approche vise à éviter les pollutions et les courants forts, assurant ainsi une source d'eau propre et fiable. [24]

#### II.1.2 Prétraitement :

Le prétraitement contient plusieurs étapes, séquentiellement comme suit :

##### II.1.2.1 Coagulation–floculation :

L'opération de coagulation-floculation vise à favoriser la croissance des particules, principalement des floccs colloïdaux, en déstabilisant d'abord les particules en suspension, puis en les agrégeant pour former des floccs. [25] Les floccs ainsi formés seront ensuite décantés et filtrés pour permettre la séparation des particules clarifiées de l'eau.

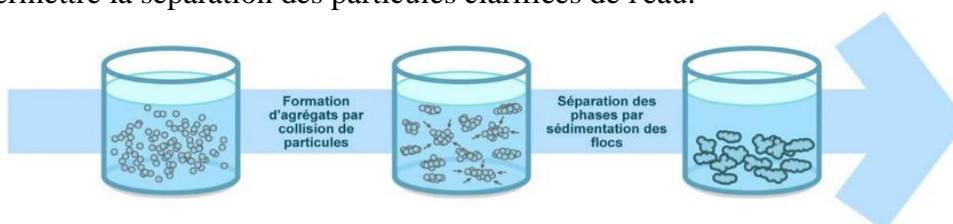


Figure II.1: Coagulation floculation. [25]

- ❖ Coagulation : La charge électrique et la couche d'eau qui entourent les particules hydrophiles ont pour effet de les maintenir dispersées dans la solution, les stabilisant ainsi. L'objectif principal de la coagulation est de perturber ces forces afin de favoriser l'agglomération des particules. Les coagulants sont des agents capables de neutraliser les charges des colloïdes présents dans l'eau.
- ❖ Floculation : c'est un processus physico-chimique où les matières en suspension dans un liquide se regroupent pour former des particules plus grandes, souvent très poreuses, appelées floes. Ces floes ont généralement une capacité de sédimentation plus rapide que les particules individuelles dont ils sont constitués. La floculation peut se produire naturellement ou être accélérée par l'ajout d'un floculant.[25]

### II.1.2.2 La filtration :

Dans le processus de filtration sur sable, la séparation des particules se déroule le long d'un milieu poreux, tel que le sable, qui peut être plus ou moins tortueux. Au fur et à mesure que le fluide traverse ce milieu, les particules en suspension s'accumulent, colmatant progressivement les pores en profondeur. Ce principe est également utilisé dans d'autres types de filtres comme les filtres à cartouche et les filtres à disque.

Un milieu poreux est composé de grains ou d'agrégats entourés par des espaces vides appelés pores, qui peuvent être interconnectés ou non. Ce matériau doit être perméable afin de permettre un écoulement fluide à travers ces pores. [28]

### II.1.2.3 Le traitement chimique :

Après la filtration à sable, des équipements de dosage sont intégrés dans le prétraitement chimique de l'eau de mer avant son passage à travers les membranes. Ce processus inclut typiquement l'acidification, l'ajout de bisulfite de sodium et le dosage d'anti-incrustants. [29]

### II.1.2.4 La filtration de sécurité ou microfiltration :

Pour retenir les particules de quelques microns qui ne sont pas capturées par le filtre à sable [30], on utilise la microfiltration avec un filtre à cartouche de type bobiné comprenant 35 cartouches. Entre le collecteur d'entrée et de sortie, un manomètre différentiel équipé d'un contact électrique pour alarme est installé. Ce dispositif signale quand il est nécessaire de remplacer les cartouches filtrantes [29]

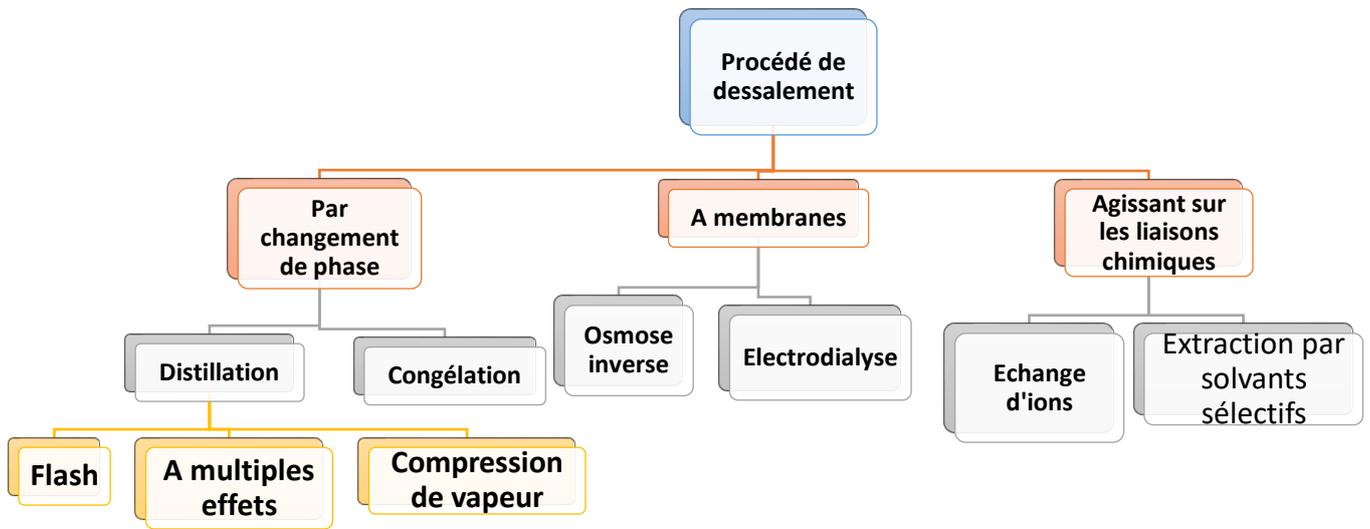
## II.2. Classification des différents procédés de dessalement :

Les méthodes de dessalement peuvent être classées en fonction des procédés utilisés :

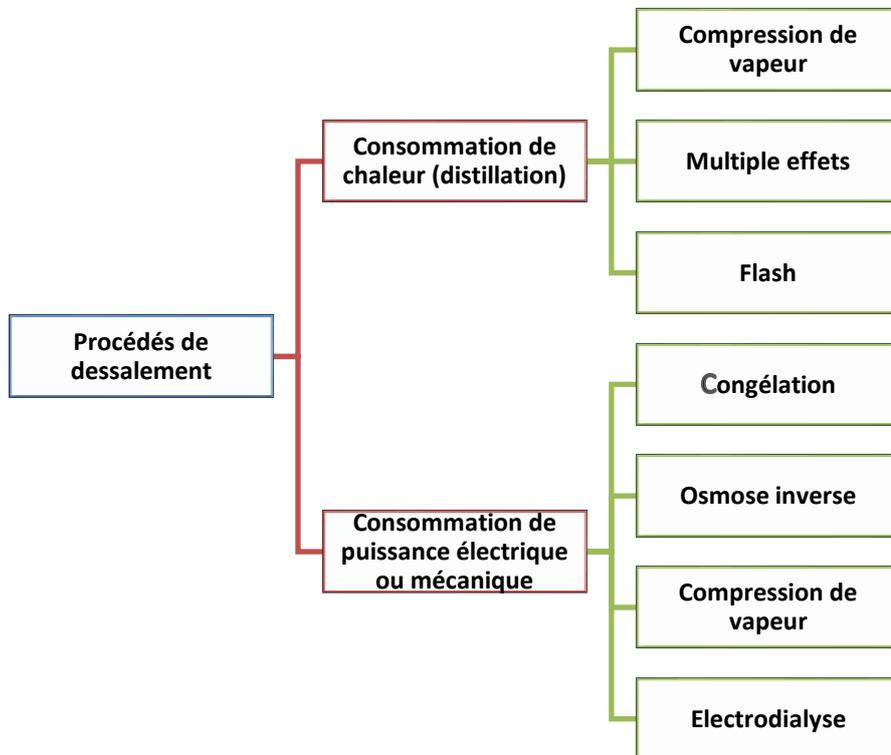
- Les procédés faisant intervenir un changement de phase (distillation et congélation).
- Les procédés utilisant des membranes (électrodialyse et osmose inverse).
- Les procédés agissant sur les liaisons chimiques (échange d'ions et extraction par solvant sélectif).

Ces procédés peuvent être classés plus précisément, soit :

❖ Selon le principe sur lequel ils se basent :



❖ Selon le type d'énergie consommée :



### II.2.1. TECHNOLOGIES DE DISTILLATION THERMIQUE

Le dessalement thermique repose sur les principes de l'évaporation et de la condensation (Figure 2). L'eau est chauffée jusqu'à sa température de saturation, au-delà de laquelle l'évaporation se produit. Le sel reste tandis que la vapeur est condensée dans un autre échangeur de chaleur pour produire de l'eau douce [11]

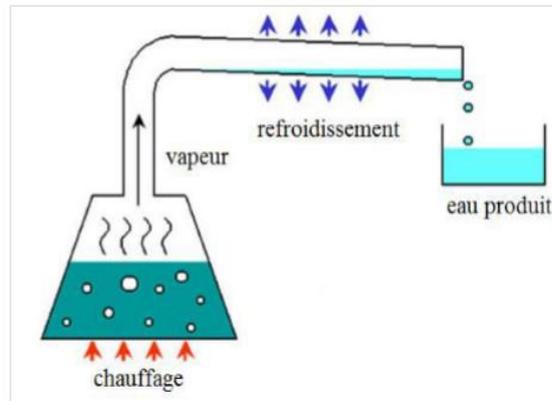


Figure II.2: Principe de dessalement thermique [13]

### II.2.1.1. La distillation multistage (MSF) :

La distillation MSF est un processus énergivore qui nécessite à la fois de l'énergie thermique et électrique. C'est actuellement le deuxième processus de dessalement installé dans le monde après le processus d'osmose inverse (OI).

Le processus de dessalement MSF est surtout utilisé pour des installations de dessalement thermique de grande taille, où l'énergie thermique est généralement disponible sous forme de vapeur à faible pression (1 à 3 bars). Générer le vide requis dans différentes sections de l'unité. L'énergie électrique est nécessaire au fonctionnement des différentes pompes de l'unité, telles que le recyclage, l'eau de refroidissement, le produit de distillat, la purge de saumure, le condensat et les pompes de produits chimiques. Les unités MSF se situent généralement entre 10 000 et 35 000 m<sup>3</sup> / jour et consistent en une série d'étapes allant de 4 à 40 unités, avec des températures et des pressions progressivement plus basses qui provoquent une évaporation instantanée de la saumure chaude suivie d'une condensation en eau douce [12, 14].

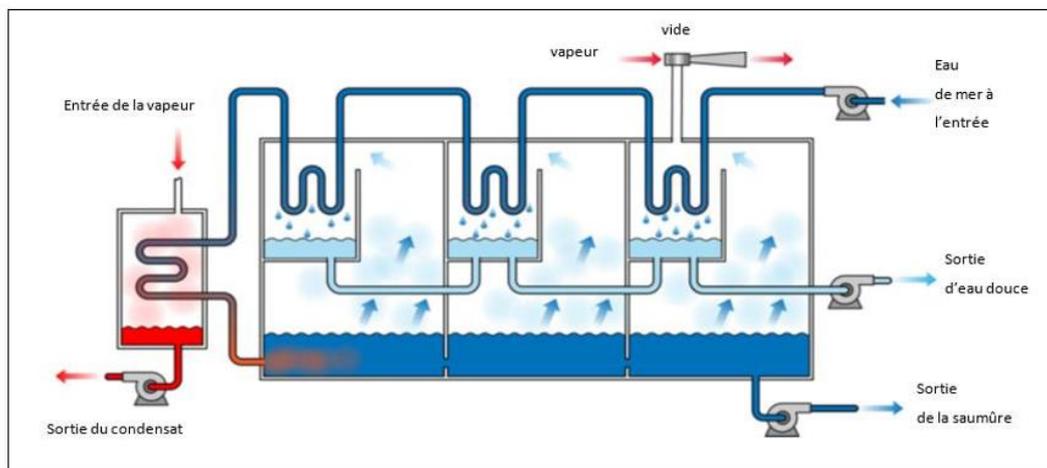


Figure II.3: Schéma de principe de l'unité MSF [12]

Le MSF repose sur le principe d'évaporation instantanée. Dans le procédé MSF (Figure 3), l'eau salée est évaporée en réduisant la pression par opposition à l'élévation de la température. Le chauffage de l'eau salée se fait dans le réchauffeur de saumure, par une vapeur de basse pression fournie extérieurement par une chaudière. L'eau salée est ensuite introduite dans la première chambre. Chaque chambre ou étape fonctionne à des pressions progressivement plus faibles.

La vapeur produite est refroidie par échange de chaleur avec l'eau d'alimentation et est condensée sous forme d'eau dessalée. Ce sont les écarts de pression entre les chambres qui autorisent, sans la nécessité de pompes, l'écoulement de l'eau salée et de l'eau douce produite jusqu'à la dernière chambre [16].

### II.2.1.2. Distillation multi effets (MED) :

Le processus MED consiste en une série d'étapes (généralement de 2 à 16) qui sont maintenues à des niveaux de pression décroissants.

La distillation multi-effet se produit dans une série des effets (ou récipients) et utilise les principes de l'évaporation et de la condensation à une pression ambiante réduite. En MED, une série d'effets d'évaporateur produisent de l'eau à des pressions progressivement plus faibles. L'eau bouillonne à des températures plus basses lorsque la pression diminue, de sorte que la vapeur d'eau du premier récipient (effet) sert de milieu de chauffage pour le second, et ainsi de suite. La vapeur de chauffe condensée dans le premier effet est récupérée sous forme d'eau douce à la sortie du deuxième effet. Plus il y a d'effets (de 4 à 21), plus le rapport de performance est élevé.

La chaleur externe d'une chaudière à combustible fossile, de la chaleur résiduelle d'une centrale, du soleil ou d'autres sources est fournie pour augmenter la température de la saumure du premier étage à environ 70 °C, afin de permettre l'évaporation d'une partie de la saumure maintenue à basse pression. La vapeur d'eau produite par la platine est transférée dans un tube à l'étage de chauffage qui se situe après pour faire bouillir de l'eau de mer supplémentaire, laquelle produit de la vapeur d'eau en série.

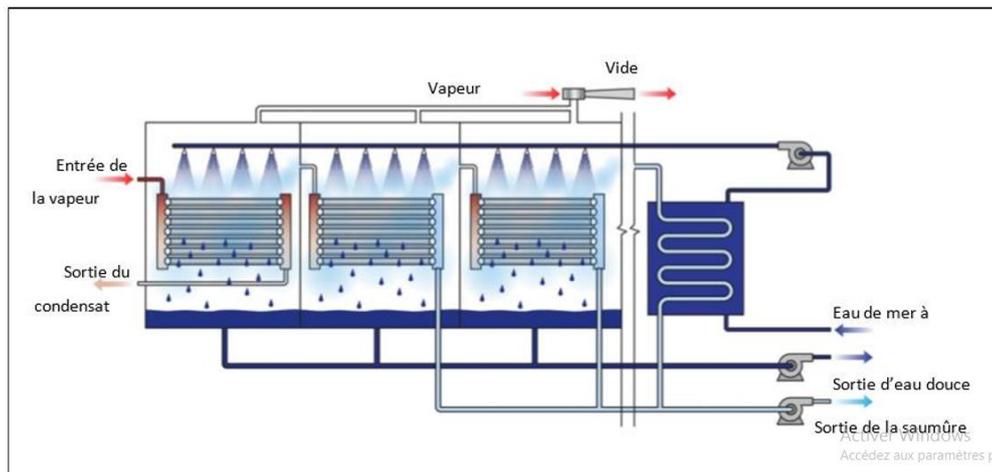
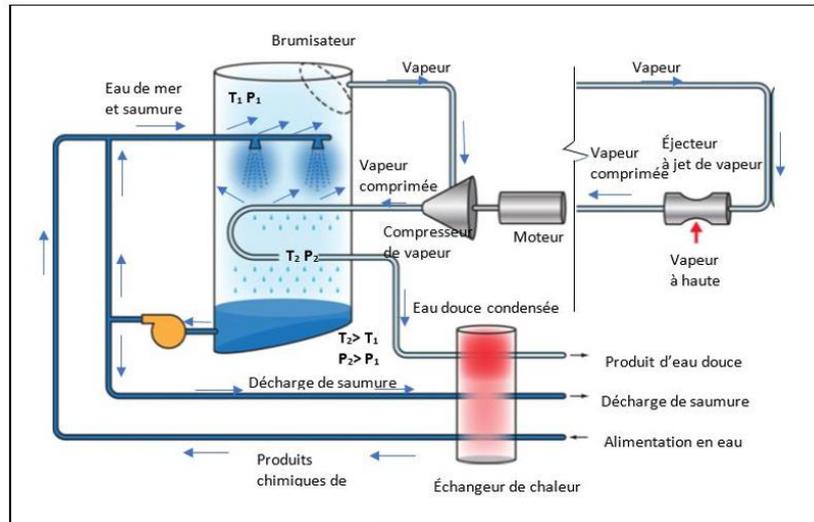


Figure II.4: Schéma de principe de l'unité MED [12]

La figure 4 ci-dessus montre un schéma de principe de l'unité MED. Dans l'industrie de dessalement, les premières installations utilisaient la MED, mais la distillation MSF l'a dépassée en raison de son coût inférieur et des problèmes d'encrassement et d'entartrage des tubes des évaporateurs, qui sont évités dans les unités MSF [12].

### II.2.1.3 Distillation par compression de vapeur (VC) :

Le processus de distillation par compression de vapeur (VC) s'appuie sur la chaleur générée par la compression de la vapeur d'eau, pour l'évaporation de l'eau salée (Figure 5).



**Figure II.5:** Schéma de principe des unités VC (MVC et TVC) [12]

L'eau d'alimentation entre dans le procédé VC à travers un échangeur de chaleur, et des vapeurs sont générées dans l'évaporateur et comprimées par des moyens mécaniques (MVC) ou thermiques (TVC). La compression de la vapeur augmente sa température d'une quantité suffisante pour servir de source de chaleur. La saumure concentrée est retirée de l'évaporateur par la pompe de réticulation concentrée. Ce flux est ensuite divisé, et une partie est mélangée avec l'alimentation entrante et le reste est pompé vers les déchets. Les unités VC sont généralement de petite taille et sont souvent utilisées dans les hôtels, les centres commerciaux et les applications industrielles [11, 12].

La faible utilisation du procédé à compression de vapeur est liée probablement au fait que le marché des compresseurs de vapeur d'eau n'est pas suffisamment développé actuellement dans le domaine des grandes puissances. Il en résulte un coût unitaire relativement élevé et un manque de crédulité de la part des utilisateurs, dans ces matériels [15].

#### II.2.1.4. Congélation :

À mesure que l'eau de mer est refroidie jusqu'à environ  $-2^{\circ}\text{C}$ , des cristaux de glace se forment, constitués essentiellement d'eau douce. À cette température, l'eau de mer devient plus concentrée en sels, ce qui la rend moins susceptible de geler. Si la température est abaissée davantage, la production de glace augmente, mais cela peut entraîner la précipitation du sulfate de sodium déca hydraté vers  $-9^{\circ}\text{C}$ . Pour obtenir de l'eau pure, il est donc conseillé de ne pas descendre en dessous de cette température.

Le dessalement des eaux de mer est particulièrement avantageux dans les régions où les températures sont fréquemment inférieures à  $0^{\circ}\text{C}$ . Dans de telles conditions, des bassins à ciel ouvert peuvent être aménagés. Lorsque la température est suffisamment basse, ces bassins sont partiellement remplis, généralement sur une hauteur de 10 à 15 cm. Une fois que la couche de glace atteint une épaisseur de 1 à 1,5 cm, on élimine la saumure et on récupère la glace. Cette dernière est ensuite lavée et fondue pour produire de l'eau douce utilisable. [21]

#### II.2.2. Procédés membranaires :

Les membranes ont les capacités de différencier et séparer sélectivement les sels et l'eau. En utilisant ces capacités mais différemment dans chaque cas, deux procédés de dessalement à

membrane ont été développés et sont actuellement disponibles au marché : l'électrodialyse (ED) et l'osmose inverse (OI). [18]

### II.2.2.1. L'osmose inverse :

L'osmose inverse est un procédé utilisant des membranes semi-perméables pour séparer l'eau des sels dissous sous l'effet d'une pression élevée (entre 54 et 80 bars pour le traitement de l'eau de mer). Contrairement à d'autres méthodes, comme la distillation, l'osmose inverse fonctionne à température ambiante sans changement de phase. [17]

Les membranes polymères spécifiques utilisées dans ce processus permettent le passage des molécules d'eau tout en bloquant les particules, les sels dissous et les molécules organiques dont la taille dépasse environ  $10^{-7}$  mm (micromètres).

En résumé, l'osmose inverse est une technologie efficace pour produire de l'eau douce à partir de l'eau de mer, en utilisant des membranes qui agissent comme des filtres sélectifs sous haute pression.

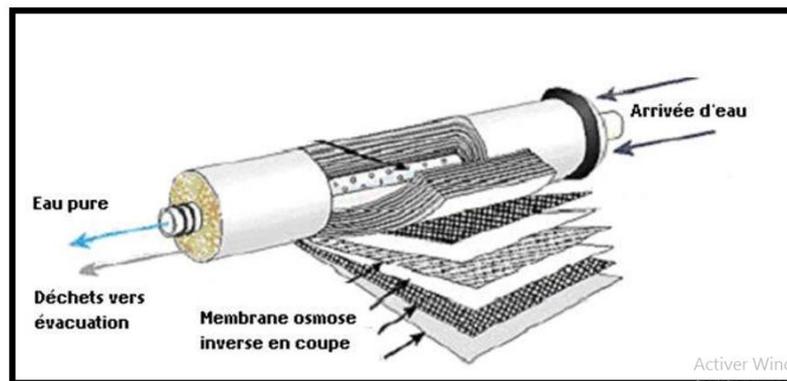


Figure II.6: Structure d'une membrane et son principe [17]

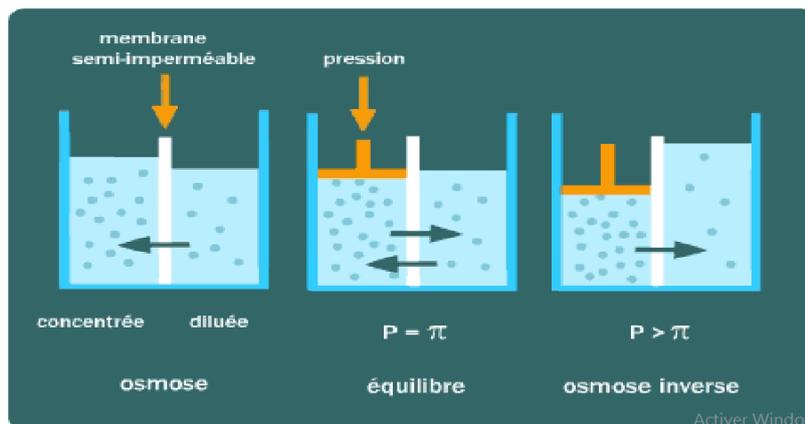


Figure II.7: Principe des phénomènes d'osmose et d'osmose inverse. [17]

### II.2.2.2. L'électrodialyse (ED) :

Est un procédé de séparation électrochimique qui fonctionne à la pression atmosphérique et utilise un courant électrique continu pour déplacer les ions (sels) de manière sélective à travers

une membrane, laissant ainsi de l'eau douce derrière. Dans l'électrodialyse, on intercale alternativement des membranes filtrantes, des membranes échangeuses d'anions et des membranes échangeuses de cations [11].

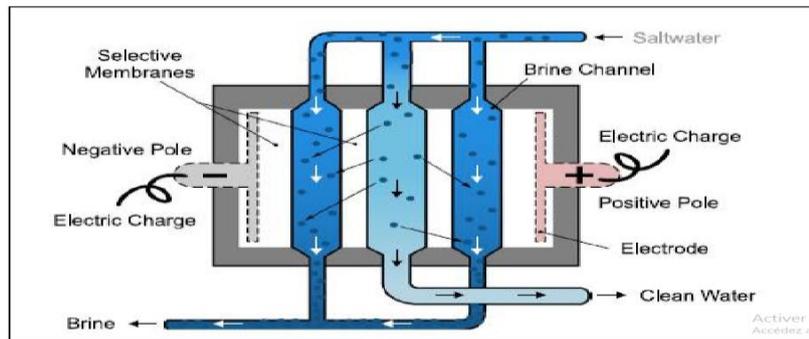


Figure II.8: Schéma de principe de l'unité d'électrodialyse [11]

Le principe de cette méthode repose sur l'utilisation d'un champ électrique pour séparer les ions dissouts de l'eau (Figure 6), les électrodes (généralement construites en niobium ou en titane avec un revêtement de platine) sont connectées à une source externe de courant continu dans un récipient contenant de l'eau salée contenant une membrane sélective en anions connectée en parallèle pour former des canaux. Lorsque de l'eau saumâtre coule entre ces canaux, de l'électricité chargeant les électrodes, les ions de sel positifs se propagent à travers la membrane perméable aux cations vers les électrodes négatives et les ions de sel négatifs se propagent à travers la membrane perméable aux anions jusqu'à l'électrode positive, ce qui entraîne l'élimination de la salinité de l'eau [19].

### II.3. Comparaison entre l'osmose inverse (OI) et les différents procédés de distillation :

Le tableau suivant explique les différents paramètres de fonctionnement pour chaque procédé de dessalement et montre la différence entre eux :

Tableau II.1 : comparaison entre OI et les d'autres procédés de distillation

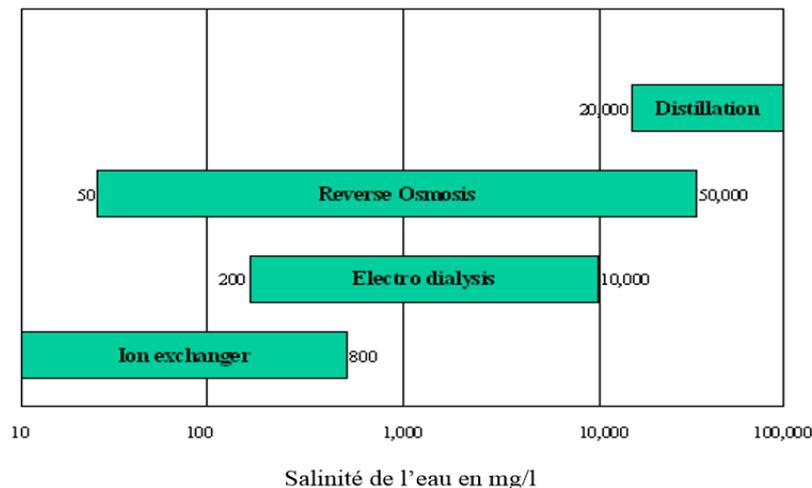
	MSF	MED	MED-TVC	MVC	OI
Température de fonctionnement (°C)	< 120	< 70	< 70	< 70	< 45
Principale source d'énergie		Thermique et électrique	Thermique	Mécanique (via électricité)	Mécanique (via électricité)
Consommation thermique(kWh/m <sup>3</sup> )	12	6	21	Pas applicable	Pas applicable
Consommation électrique (kWh/m <sup>3</sup> )	3,5	1,5	1,5	8 à 14	4 à 7
Salinité de l'eau brute (g.L <sup>-1</sup> )	30 à 100	30 à 100	30 à 100	30 à 50	1 à 45
Salinité de l'eau traitée (mg. L <sup>-1</sup> )	<10	<10	<10	<10	< 500
Avantages	Technique éprouvée	20 % moins cher que le MSF	Capacité, robustesse	Simplicité de fonctionnement	Modularité
Inconvénients	Investissement, Consommation	Capacité plus faible que MSF	Consommation	Capacité limitée	Fragilité

## II.4. Les critères de choix d'un procédé de dessalement : [20]

Le choix d'un procédé de dessalement dépend de plusieurs paramètres techniques et économiques cruciaux :

- **Énergie consommée** : L'efficacité énergétique est un facteur déterminant, car elle influence directement les coûts d'exploitation.
- **Composition physico-chimique de l'eau à traiter** : Des caractéristiques telles que la turbidité, la salinité, la température et autres paramètres physico-chimiques jouent un rôle essentiel dans la sélection du procédé adapté.
- **Coût des produits chimiques** : Certains procédés nécessitent l'utilisation de produits chimiques pour le traitement de l'eau, ce qui peut significativement influencer les coûts.
- **Coût des équipements** : L'investissement initial dans les équipements nécessaires pour le dessalement est un facteur économique majeur à prendre en compte.
- **Qualité de l'eau produite exigée** : Les exigences de qualité de l'eau finale déterminent souvent le choix du procédé, en particulier dans les applications où une pureté élevée est requise.
- **Capacité de production de l'unité** : La capacité de production nécessaire influence le type et la taille des installations à mettre en place.
- **Durée de vie de l'unité** : La durabilité et la maintenance des équipements sont des considérations importantes pour évaluer les coûts à long terme.
- **Coût de la main d'œuvre** : Le coût associé à l'exploitation et à la maintenance, y compris la main d'œuvre qualifiée, est également un élément économique crucial.
- **Impact sur l'environnement** : L'empreinte environnementale du procédé, y compris la consommation d'énergie et l'utilisation de produits chimiques, est de plus en plus prise en compte.
- **Qualité de l'eau brute** : La qualité de l'eau brute disponible peut influencer le choix du procédé et les prétraitements nécessaires.

En conclusion, le choix optimal d'un procédé de dessalement repose sur une analyse approfondie de ces paramètres afin de répondre aux besoins spécifiques tout en optimisant les coûts et en minimisant l'impact environnemental.



**Figure II.9** : Le choix du procédé de dessalement varie en fonction du niveau de salinité des eaux à traiter. [20]

## II.5. Concept de traitement d'eau de mer :

Le dessalement d'eau de mer par osmose inverse repose sur une technologie de filtration membranaire. Le rendement de l'étape d'osmose inverse, défini par le taux de récupération du perméat, influence directement la demande en eau de mer et donc le débit nécessaire pour les étapes de prétraitement. Ce rendement de 45% demeure constant sur une plage de températures de 13 à 28 °C. L'utilisation d'une prise d'eau ouverte pour l'eau de mer entraîne une qualité inférieure de l'eau brute, caractérisée par une concentration élevée en solides en suspension (TSS) et la présence de matière organique, d'hydrates de carbone, d'huile et d'algues. Les étapes de prétraitement visent à éliminer ces impuretés avant l'osmose inverse.

### II.5.1. Le processus de traitement d'eau de mer comprend les étapes suivantes :

On a 4 étapes principale dans le processus de traitement d'eau de mer, comme suite :

#### A. Prétraitement :

- Dégrillage de l'eau de mer brute
- Désinfection intermittente de l'eau de mer brute afin d'empêcher la croissance biologique et le colmatage des prises d'eau, à l'aide d'acide sulfurique et d'hypochlorite de sodium
- Pompage de l'eau de mer dégrillée vers l'étape de prétraitement
- Coagulation dans un mélangeur statique, améliorée par chlorure ferrique utilisée comme coagulant
- Flocculation dans un mélangeur statique, améliorée par polymère utilisé comme flocculant
- Sédimentation dans un décanteur lamellaire
- Rétention et pompage de l'eau de mer clarifiée
- Filtration en profondeur dans les filtres sous pression à double couche

#### B. Traitement du flux d'arrivée OI :

- Filtration de surface dans les filtres à cartouches au degré de 5  $\mu\text{m}$  ; la valeur SDI résultant du filtrat devrait être  $\leq 5$  - dosage intermittent d'eau de métabisulfite de sodium  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$  (SMBS) pour éliminer le chlore libre et les oxydants
- Dosage continu d'inhibiteur de tartre pour prévenir l'entartrage de carbones et sulfates dans les membranes d'OI
- Dosage intermittent/périodique de biocide sur base de DBNPA, (2,2-dibromo-3-nitrilopropionamide), pour maîtriser l'encrassement biologique dans les membranes d'OI.

#### C. Système OI :

- Système OI à passage unique avec des pompes haute pression d'OI, des pompes de circulation et des dispositifs de récupération d'énergie (ERD)

#### D. Posttraitement :

- Ré-minéralisation : 60% du perméat d'osmose inverse est soumis aux étapes de traitement suivantes :
  - Dosage de dioxyde de carbone,  $\text{CO}_2$
  - Dosage d'acide sulfurique,  $\text{H}_2\text{SO}_4$
  - Passage dans des contacteurs remplis de calcite,  $\text{CaCO}_3$
  - Mélange du perméat soumis aux étapes de traitement avec les 40% restants du perméat
  - Dosage continu de soude caustique (hydroxyde de sodium,  $\text{NaOH}$ ) pour l'élévation du pH et la stabilisation complète du perméat mélangé
  - Désinfection continue de l'eau potable avec de l'hypochlorite de sodium,  $\text{NaClO}$
  - Stockage et pompage de l'eau potable

## CHAPITRE III : L'OSMOSE INVERSE

### Introduction :

Un système chimique évolue naturellement d'une enthalpie libre plus élevée vers une moins élevée, conformément au premier principe de la thermodynamique. Lorsque deux solutions sont en contact à travers une membrane semi-perméable, l'eau se déplace spontanément de la solution moins concentrée vers la solution plus concentrée, en réponse au gradient de concentration. Ce mouvement est motivé par la pression générée par ce gradient. Le transfert d'eau se poursuit jusqu'à ce que le système atteigne un état d'équilibre, caractérisé par une différence de hauteur entre les niveaux des deux solutions de part et d'autre de la membrane, correspondant à la pression osmotique. Ce phénomène est connu sous le nom d'osmose et est quantifié par les principes du potentiel chimique. Les lois du potentiel chimique nous permettent de quantifier et d'exprimer cette pression osmotique :  $\Pi=C.R. T$

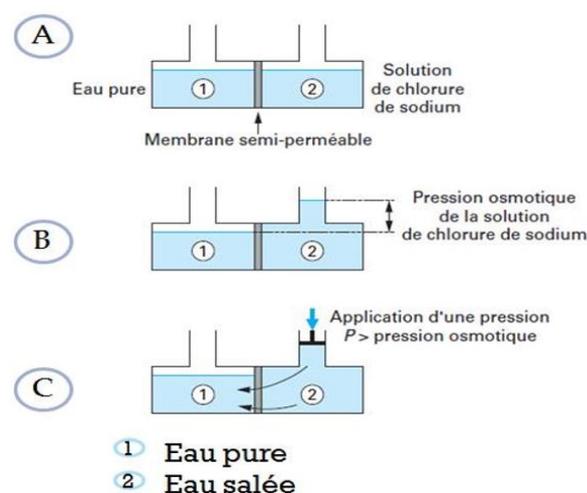
Dans laquelle :

C : concentration du soluté ;

R : constante des gaz parfaits,  $R=8,314 \text{ J.mole.K}$  ;

Et T : température de la solution en Kelvin. [24]

L'osmose inverse est un processus réversible qui nécessite de l'énergie. En appliquant une pression supérieure à la pression osmotique du côté de la solution la plus concentrée, on inverse le flux : cela permet à l'eau brute de traverser les membranes qui retiennent les sels et les contaminants. C'est le principe fondamental de l'osmose inverse, la seule méthode membranaire capable de séparer efficacement les sels de l'eau. Le contrôle précis du flux et de la pression joue un rôle crucial dans cette technologie pour assurer des performances optimales.



**Figure III.1 :** Principe de l'osmose inverse [23]

**A :** Lorsque les niveaux sont égaux dans les deux compartiments, l'eau circule de 1 vers 2.

**B :** À l'équilibre, une différence de niveau se forme, correspondant à la pression osmotique  $\pi$ .

**C :** En appliquant une pression  $P > \pi$ , l'eau circule en sens inverse, de 2 vers 1, tandis que les sels demeurent retenus dans le compartiment 2.

$\Pi$  représente la différence de pression de chaque côté de la membrane.

Une membrane semi-sélective ou semi-perméable est imperméable aux substances dissoutes (ioniques ou non) tout en permettant le passage du solvant.

### III.1. Domaines d'utilisation de l'osmose inverse :

La technologie d'osmose inverse, utilisant des pores de 0,1 à 1,5 nm, est appliquée dans plusieurs secteurs :

- Production d'eau ultra pure pour des industries sensibles comme la pharmacie, la tannerie et la papeterie ;
- Dessalement des eaux de mer et des eaux saumâtres ;
- Récupération d'eau à partir d'effluents d'usines de blanchiment ultrafiltrés et d'eau blanche ultrafiltrée ;
- Concentration et purification d'effluents acides ou alcalins contaminés ;
- Récupération d'eau à partir d'effluents colorés ;
- Récupération d'eau à partir d'effluents miniers.

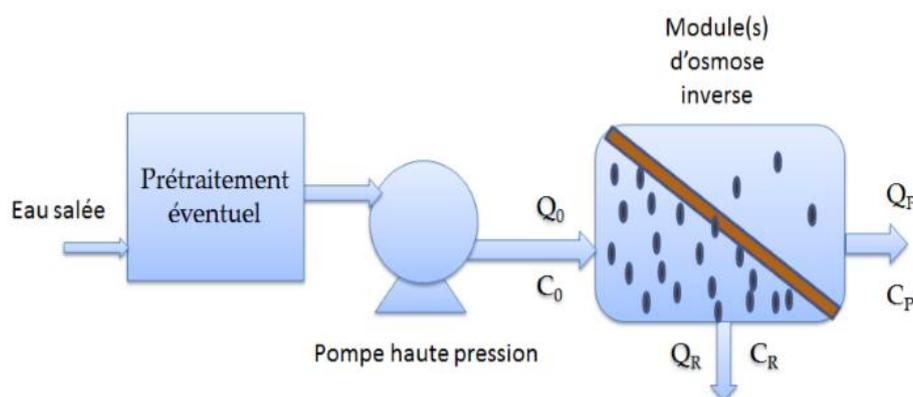
Cette technologie joue un rôle crucial en permettant une séparation efficace des sels, contaminants et autres impuretés des liquides, répondant ainsi à divers besoins industriels et environnementaux.

### III.2. Schéma général d'une installation d'osmose inverse :

Les principaux composants d'un système d'osmose inverse sont :

- La membrane spécifique utilisée
- Le module
- La pompe à haute pression
- Le système de traitement

L'écoulement du fluide le long de la membrane est continu et tangentiel, ce qui aide à prévenir l'accumulation des différentes particules, molécules et ions retenus par celle-ci. À l'entrée, le débit ( $Q_0$ ) se divise en deux flux de concentrations différentes au niveau de la membrane : une partie ( $Q_p$ ) traverse la membrane pour former le perméat, tandis que l'autre partie reste retenue comme concentrât ou retentât par la membrane (voir figure III.2).



**Figure III.2 :** Schéma de principe d'une unité d'osmose inverse [13]

### III.3. Caractéristiques principales d'une unité d'osmose inverse :

Deux paramètres sont considérés :

- Le taux de conversion, qui représente la fraction du débit de liquide traversant la membrane,

$$Y = \frac{Q_p}{Q_0}$$

- La sélectivité de la membrane est définie par le taux de rejet R (ou taux de rétention), qui mesure la capacité de la membrane à retenir une espèce spécifique.

$$R = \frac{c_0 - c_p}{c_0} = 1 - \frac{c_p}{c_0}$$

### III.4. Membranes d'osmose inverse :

Le tableau III.1 résume les avantages et les inconvénients des membranes organiques suivant leur composition :

**Tableau III.1:** Avantages et inconvénients des membranes organiques [13]

	Avantages	Inconvénient
Acétate de cellulose	Perméabilité élevée Sélectivité élevée Mise en œuvre assez aisée Adsorption des protéines faible => colmatage moindre	Sensible à la température Sensible au pH Sensible au chlore Sensible au compactage Sensible aux microorganismes
Type Polyamide	Bonne stabilité chimique, thermique et mécanique	Grande sensibilité aux oxydants Faible perméabilité Phénomènes d'adsorption
Type Polysulfone	Bonne stabilité thermique Bonne tenue au pH Résistance au chlore	Sensible au compactage Adsorptions
Matériaux acryliques	Bonne stabilité thermique et chimique Stockage à sec possible	Faible résistance mécanique Pores de diamètres assez élevés
Matériaux fluorés	Bonne stabilité thermique et chimique	Faible perméabilité Microfiltration uniquement
Membranes composites	Bonnes caractéristiques : perméabilité et sélectivité Stabilité de pH 2 à 11 Bonne tenue en température	Mauvaise tenue au chlore

### III.5. Modules d'osmose inverse :

Pour être mise en œuvre, les membranes doivent être montées dans des supports appelés modules. Actuellement, quatre types de modules sont commercialisés : modules tubulaires, modules fibres creuses, modules plans et modules spirales. Plusieurs critères sont à prendre en compte pour le choix d'un type de module tels que :

- Les conditions de transfert optimal
- La surface spécifique d'échange élevée
- L'investissement minimal et le coût de fabrication
- La simplicité de mise en œuvre et la durée de vie des membranes
- L'entretien aisé (nettoyage, démontage, remplacement des membranes)

#### a. Modules plans :

Les modules plans sont parmi les modules les plus élémentaires et historiques. Ils se composent de plaques individuelles disposées en parallèle et séparées par des grilles. Un tableau récapitulatif dans le tableau III.2 présente de manière détaillée leurs avantages et inconvénients.

**Tableau III.2:** Avantages et inconvénients des modules plans [13]

Avantages	Inconvénients
<b>Système souple et modulable</b>	Système peu compact (100 à 400 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> )
<b>Changement facile des membranes</b>	Investissement relativement élevé
<b>Visualisation du perméat</b>	

#### b. Modules spirales :

Les membranes planes sont disposées en spirale autour d'un tube creux et perforé conçu pour recueillir le perméat. Un grillage plastique d'une épaisseur comprise entre 0,8 et 1,2 mm est intercalé entre les membranes pour induire une turbulence dans le flux du fluide. Cette configuration crée un cylindre multicouche où le perméat se déplace en spirale vers le tube poreux, tandis que l'alimentation circule axialement à travers les canaux (voir figure III.5). Les avantages et les inconvénients de ce dispositif sont répertoriés dans le tableau III.3.

**Tableau III.3:** Avantages et inconvénients des modules spiraux [13]

Avantages	Inconvénients
<b>Compacité élevée (300 à 1000 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>)</b>	Sensible au colmatage
<b>Faible volume mort</b>	Difficulté de nettoyage
<b>Coût d'investissement relativement faible</b>	

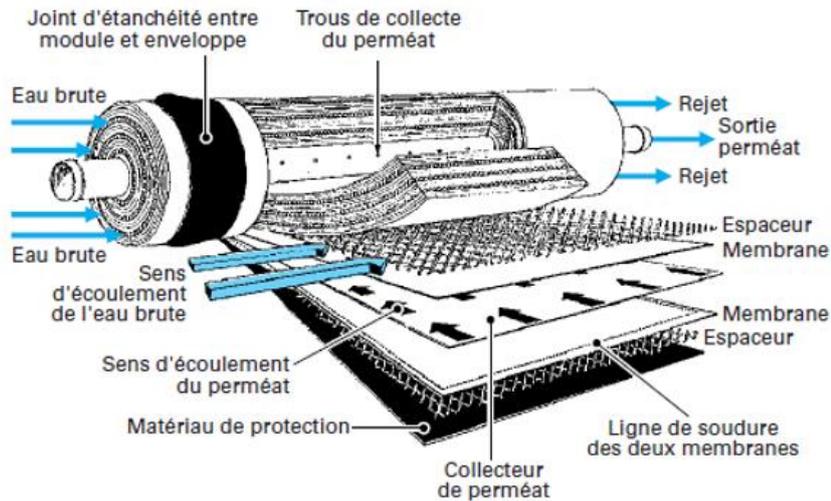


Figure III.3: Modules spirales [5]

c. Modules tubulaires :

Ce type de module utilise des tubes métalliques ou en plastique sur lesquels est fixée une membrane semi-perméable. Les diamètres des tubes varient généralement de 7 à 25 mm, souvent 12,5 mm. L'eau à traiter circule à l'intérieur de ces tubes, tandis que le perméat est recueilli à l'extérieur, soit à travers des pores dans le tube, soit par des perforations spécifiques (voir figure III.4).

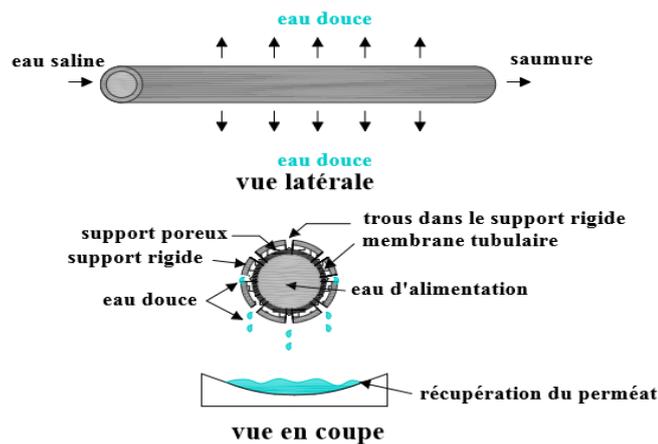


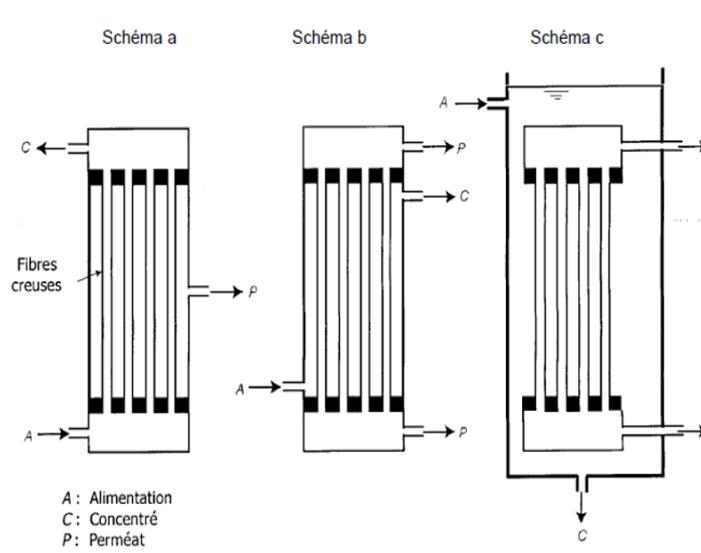
Figure III.4: Modules tubulaires [31]

Tableau III.4: Avantages et inconvénients des modules tubulaires [13]

Avantages	Inconvénients
Technologie simple	Consommation d'énergie élevée
Peu traités tous types de fluides (chargés, visqueux)	Faible compacité (10 et 300 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> )
Facilité de nettoyage	Coût élevé

**d. Modules fibres creuses :**

Ces modules sont typiquement des modules tubulaires constitués de tubes de petit diamètre, variant de quelques millimètres à quelques dizaines de microns. À la différence des modules tubulaires traditionnels nécessitant une membrane distincte et un support inerte, les fibres creuses jouent un double rôle en faisant à la fois office de membrane et de support (voir figure III.5). Les avantages et les inconvénients de ces modules sont présentés de manière détaillée dans le tableau III.5.



**Figure III.5:** Modules fibre creuses [23]

Il y a deux configurations principales :

- **Configuration Int-Ext (schéma b) :** L'eau à traiter circule à l'intérieur des fibres, et le perméat est récupéré à l'extérieur.
- **Configuration Ext-Int (schémas a et c) :** L'eau circule à l'extérieur des fibres, et le perméat est récupéré à l'intérieur.

**Tableau III.5:** Avantages et inconvénients des modules fibres creuses.[13]

Avantages	Inconvénients
<b>Compacité élevée (15000 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>)</b>	Sensibilité de colmatage dû au faible diamètre des fibres
<b>Faible volume mort</b>	Fragiles (Canaux fins)
<b>Faible consommation énergétique</b>	
<b>Possibilité de nettoyage à contre-courant</b>	

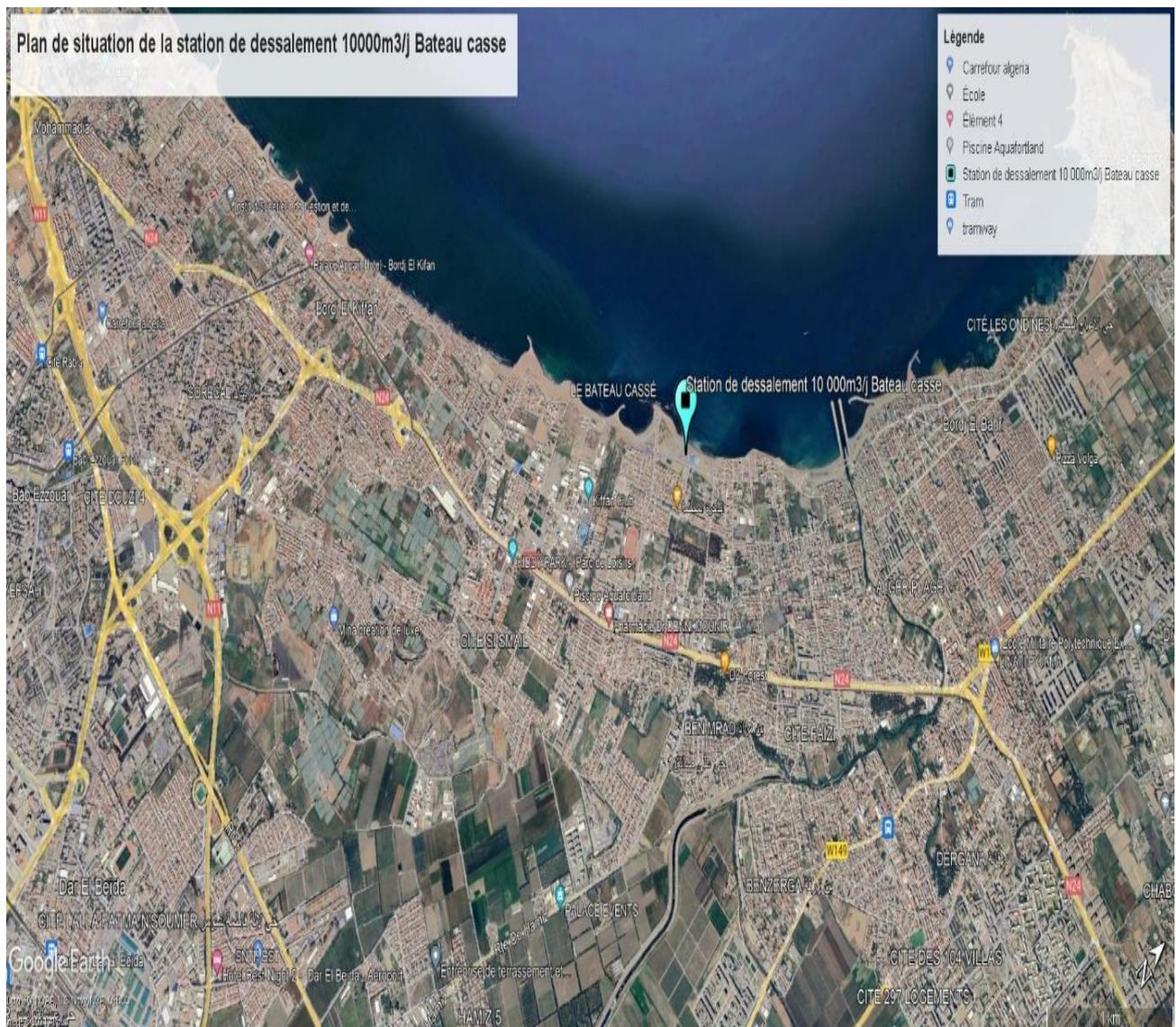
## **CHAPITRE IV : Présentation de l'unité de dessalement de l'eau de mer (bateau cassée)**

### **Introduction :**

L'Algérie a lancé ces dernières années, un programme ambitieux d'installations de stations de dessalement pour faire face à des problèmes d'alimentation en eau qui s'accroissent par l'explosion démographique, le développement industriel et agricole ainsi que la sécheresse. Dans ce cadre, la station de dessalement d'eau de mer au niveau de la ville de Mostaganem fournie de l'eau pour combler le déficit en eau potable de la zone côtière.

### **IV.1. Présentation de l'unité de dessalement de l'eau de mer :**

La station de dessalement bateau cassée est située au bord de mer à bordj El kifan, près de la ville d'Alger à 20 km à l'est du chef-lieu de wilaya (figure 4.1) ; La mise en service 20 Mars 2022, d'une capacité de 10.000 m<sup>3</sup>/j pour couvrir les besoins de 100000 habitants avec une dotation de 100 l/j.



### IV.1.1. Cadre climatique :

À Bordj el Kiffan, les étés sont très chauds, lourds, secs et dégagés dans l'ensemble et les hivers sont longs, frisquets, venteux et partiellement nuageux. Au cours de l'année, la température varie généralement de 6 °C à 31 °C et est rarement inférieure à 2 °C ou supérieure à 35°C [32]

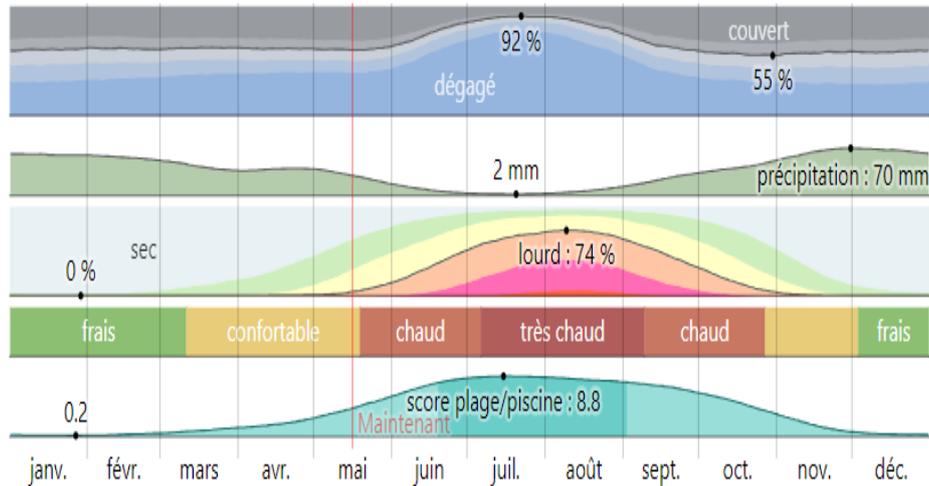


Figure IV.2 : Météo mensuelle pour Alger [32]

#### 1. Température :

La saison très chaude dure 3,0 mois, du 21 juin au 22 septembre, avec une température quotidienne moyenne maximale supérieure à 28 °C. Le mois le plus chaud de l'année à Bordj el Kiffan est août, avec une température moyenne maximale de 31 °C et minimale de 20 °C.

La saison fraîche dure 4,0 mois, du 23 novembre au 23 mars, avec une température quotidienne moyenne maximale inférieure à 19 °C. Le mois le plus froid de l'année à Bordj el Kiffan est janvier, avec une température moyenne minimale de 6 °C et maximale de 17 °C [32]

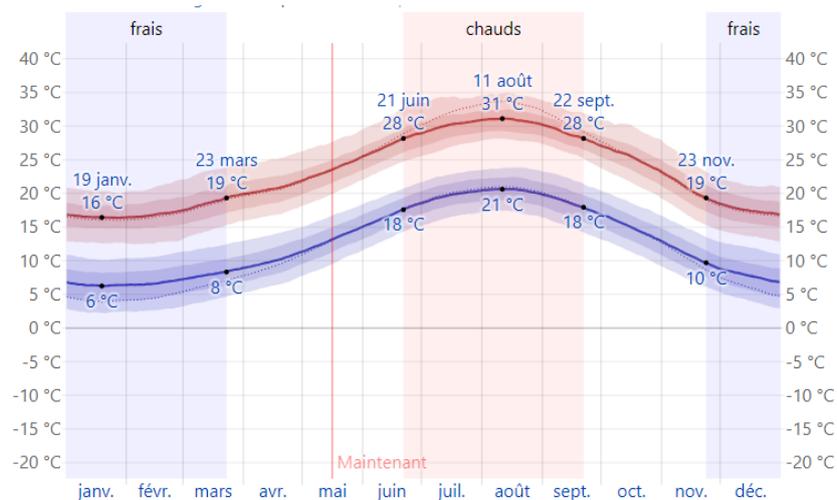


Figure IV.3 : une caractérisation compacte des températures horaires moyennes pour toute l'année. [32]

#### 2. Nébulosité :

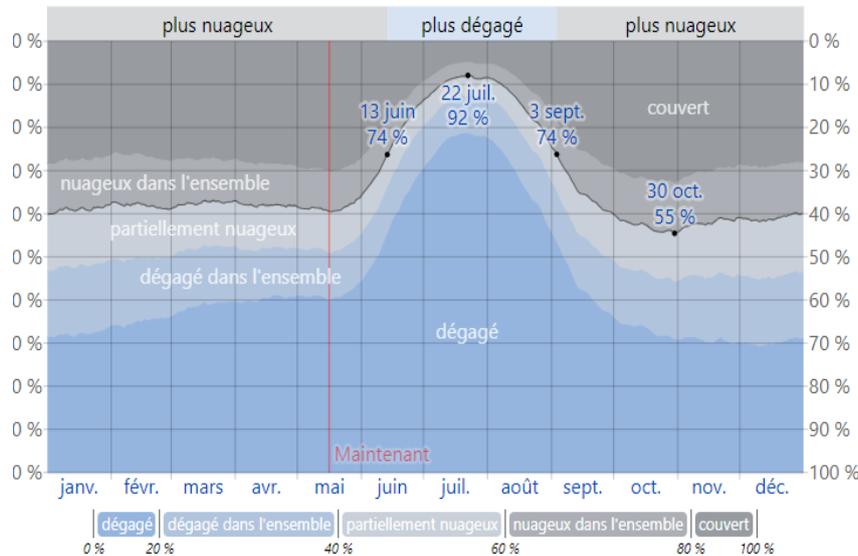
À Bordj el Kiffan, le pourcentage de nébulosité connaît une variation saisonnière considérable au cours de l'année.

La période la plus dégagée de l'année à Bordj el Kiffan commence aux alentours du 13 juin et dure 2,7 mois, se terminant aux alentours du 3 septembre.

Le mois le plus dégagé de l'année à Bordj el Kiffan est juillet, durant lequel le ciel est généralement dégagé, dégagé dans l'ensemble ou partiellement nuageux 90 % du temps.

La période plus nuageuse de l'année commence aux alentours du 3 septembre et dure 9,3 mois, se terminant aux alentours du 13 juin.

Le mois le plus nuageux de l'année à Bordj el Kiffan est octobre, durant lequel le ciel est généralement couvert ou nuageux dans l'ensemble 43 % du temps. [32]



**Figure IV.4 :** Catégories de couverture nuageuse à Alger (Le pourcentage de temps passé dans chaque bande de couverture nuageuse, catégorisée par le pourcentage de couverture nuageuse du ciel.) [32]

### 3. Précipitation :

A jour de précipitation est un jour au cours duquel on observe une accumulation d'eau ou mesurée en eau d'au moins 1 millimètre. La probabilité de jours de précipitation à Bordj el Kiffan varie au cours de l'année.

La saison connaissant le plus de précipitation dure 7,9 mois, du 21 septembre au 16 mai, avec une probabilité de précipitation quotidienne supérieure à 15 %. Le mois ayant le plus grand nombre de jours de précipitation à Bordj el Kiffan est novembre, avec une moyenne de 7,9 jours ayant au moins 1 millimètre de précipitation.

La saison la plus sèche dure 4,1 mois, du 16 mai au 21 septembre. Le moins ayant le moins de jours de précipitation à Bordj el Kiffan est juillet, avec une moyenne de 0,7 jour ayant au moins 1 millimètre de précipitation.

Pour les jours de précipitation, nous distinguons les jours avec pluie seulement, neige seulement ou un mélange des deux. Le mois avec le plus grand nombre de jours de pluie seulement à Bordj el Kiffan est novembre, avec une moyenne de 7,9 jours. En fonction de ce classement, la forme de précipitation la plus courante au cours de l'année est de la pluie seulement, avec une probabilité culminant à 29 % le 18 novembre. [32]

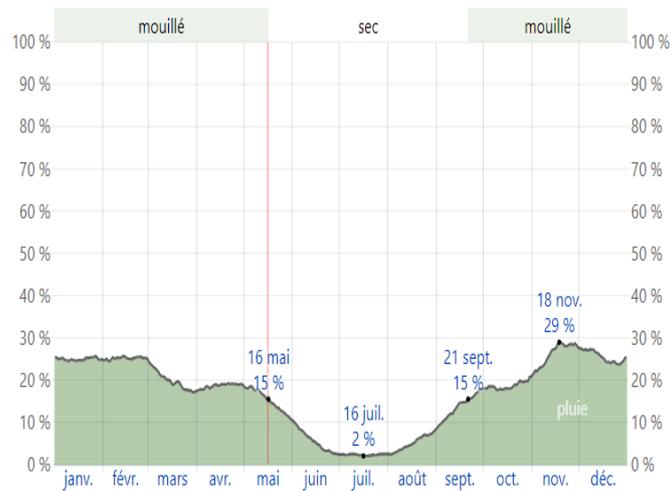


Figure IV.5 : Probabilité de précipitation quotidienne à Alger [32]

#### 4. Pluie :

Pour montrer la variation au cours des mois et pas seulement les totaux mensuels, nous montrons l'accumulation de pluie au cours d'une période glissante de 31 jours centrée sur chaque jour de l'année. Bordj el Kiffan connaît des variations saisonnières considérables en ce qui concerne les précipitations de pluie mensuelles.

La période pluvieuse de l'année dure 9,3 mois, du 30 août au 8 juin, avec une chute de pluie d'au moins 13 millimètres sur une période glissante de 31 jours. Le mois le plus pluvieux à Bordj el Kiffan est décembre, avec une chute de pluie moyenne de 68 millimètres.

La période sèche de l'année dure 2,7 mois, du 8 juin au 30 août. Le mois le moins pluvieux à Bordj el Kiffan est juillet, avec une chute de pluie moyenne de 2 millimètres. [32]

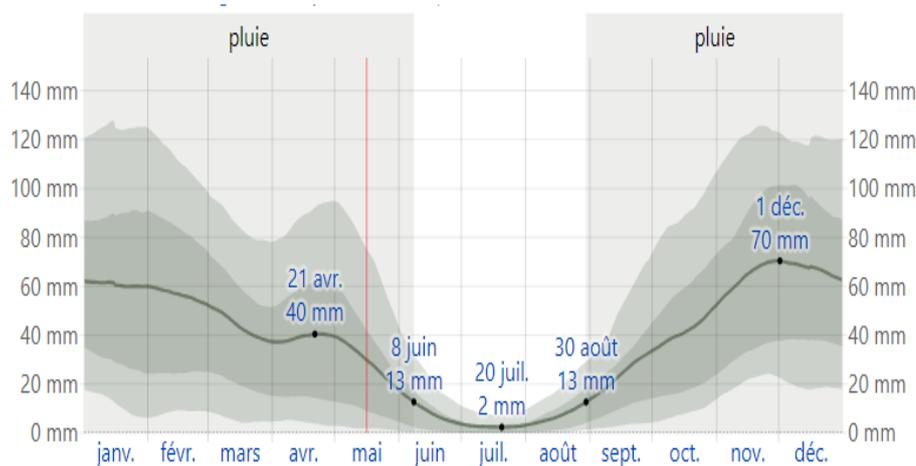


Figure IV.6 : Pluviométrie mensuelle moyenne à Alger [32]

#### 5. Soleil :

La longueur du jour à Bordj el Kiffan varie considérablement au cours de l'année. En 2024, le jour le plus court est le 21 décembre, avec 9 heures et 39 minutes de jour ; le jour le plus long est le 20 juin, avec 14 heures et 41 minutes de jour.

Le lever de soleil le plus tôt a lieu à 05 :27 le 12 juin et le lever de soleil le plus tardif a lieu 2 heures et 33 minutes plus tard à 08 :00 le 6 janvier. Le coucher de soleil le plus tôt a lieu à 17

:30 le 5 décembre et le coucher de soleil le plus tardif a lieu 2 heures et 39 minutes plus tard à 20:10 le 27 juin.à 08:00 le 6 janvier. Le coucher de soleil le plus tôt a lieu à 17:31 le 5 décembre et le coucher de soleil le plus tardif a lieu 2 heures et 39 minutes plus tard à 20:10 le 27 juin. [32]

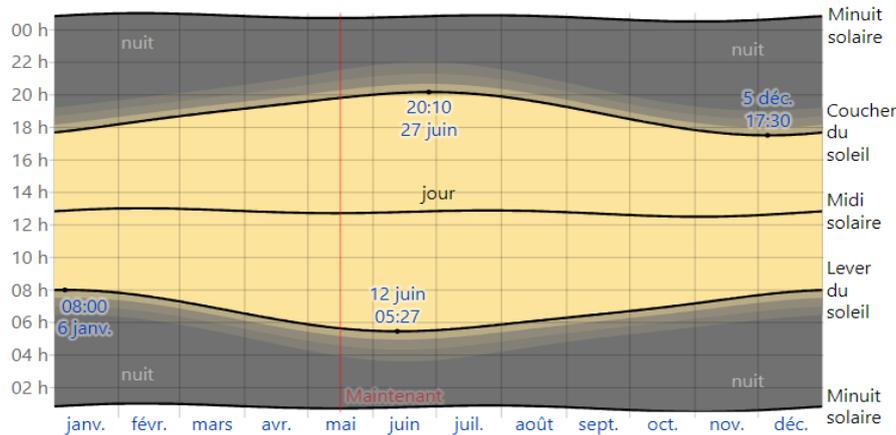


Figure IV.7 : Heures de clarté et crépuscule à Alger. [32]

## 6. Humidité :

Nous estimons le niveau de confort selon l'humidité sur le point de rosée, car il détermine si la transpiration s'évaporera de la peau, causant ainsi un rafraîchissement de l'organisme. Les points de rosée plus bas sont ressentis comme un environnement plus sec et les points de rosée plus haut comme un environnement plus humide. Contrairement à la température, qui varie généralement considérablement entre le jour et la nuit, les points de rosée varient plus lentement. Ainsi, bien que la température puisse chuter la nuit, une journée lourde est généralement suivie d'une nuit lourde.

Bordj el Kiffan connaît des variations saisonnières extrêmes en ce qui concerne l'humidité perçue.

La période la plus lourde de l'année dure 4,2 mois, du 5 juin au 12 octobre, avec une sensation de lourdeur, oppressante ou étouffante au moins 18 % du temps.

Le mois ayant le plus grand nombre de jours lourds à Bordj el Kiffan est août, avec 22,2 jours lourds ou plus accablants.

Le mois ayant le moins de jours lourds à Bordj el Kiffan est janvier, avec 0,0 jour lourds ou plus accablants [32]

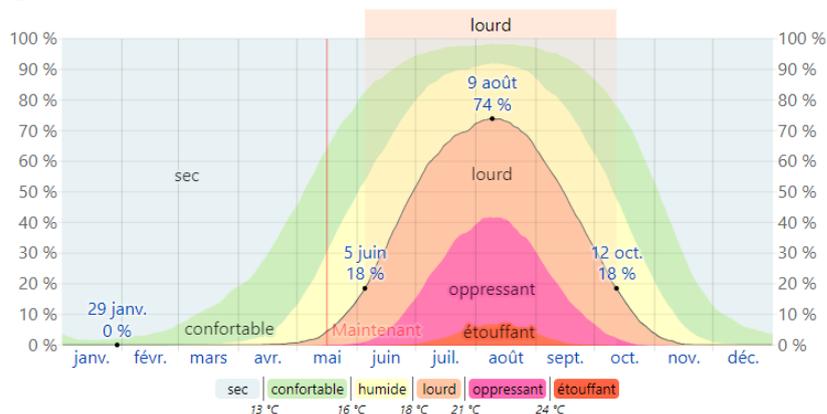


Figure IV.8 : Niveaux de confort selon l'humidité à Alger [32]

### 7. Vent :

Cette section traite du vecteur vent moyen horaire étendu (vitesse et direction) à 10 mètres au-dessus du sol. Le vent observé à un emplacement donné dépend fortement de la topographie locale et d'autres facteurs, et la vitesse et la direction du vent instantané varient plus que les moyennes horaires.

La vitesse horaire moyenne du vent à Bordj el Kiffan connaît une variation saisonnière modérée au cours de l'année.

La période la plus venteuse de l'année dure 5,5 mois, du 29 octobre au 14 avril, avec des vitesses de vent moyennes supérieures à 14,8 kilomètres par heure. Le mois le plus venteux de l'année à Bordj el Kiffan est décembre, avec une vitesse horaire moyenne du vent de 16,7 kilomètres par heure.

La période la plus calme de l'année dure 6,5 mois, du 14 avril au 29 octobre. Le mois le plus calme de l'année à Bordj el Kiffan est août, avec une vitesse horaire moyenne du vent de 12,8 kilomètres par heure. [32]

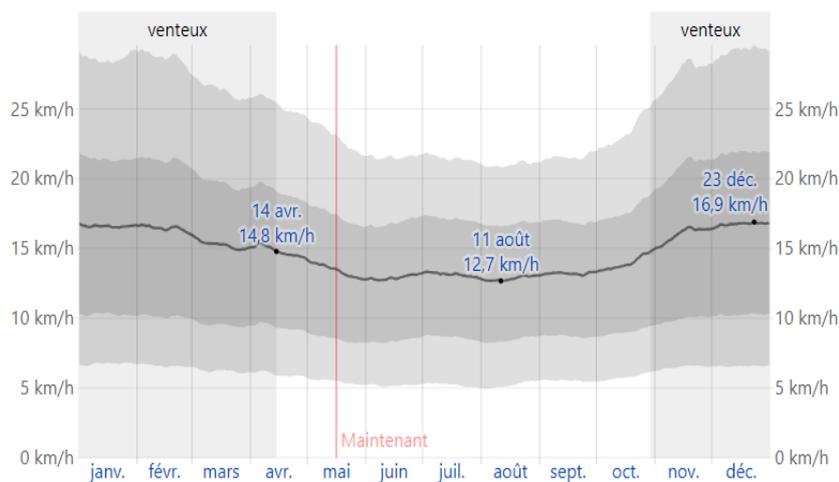


Figure IV.9 : Vitesse moyenne du vent à Alger [32]

### 8. Température de l'eau :

Bordj el Kiffan est situé près d'une grande masse d'eau (océan, mer ou grand lac par exemple). Cette section présente la température de surface moyenne étendue de cette eau.

La température moyenne de l'eau connaît une variation saisonnière extrême au cours de l'année.

La période de l'année où l'eau est plus chaude dure 2,7 mois, du 10 juillet au 2 octobre, avec une température moyenne supérieure à 23 °C. Le mois de l'année à Bordj el Kiffan ayant l'eau la plus chaude est août, avec une température moyenne de 25 °C.

La période de l'année où l'eau est plus froide dure 4,7 mois, du 9 décembre au 29 avril, avec une température moyenne inférieure à 17 °C. Le mois de l'année à Bordj el Kiffan ayant l'eau la plus froide est février, avec une température moyenne de 15 °C. [32]

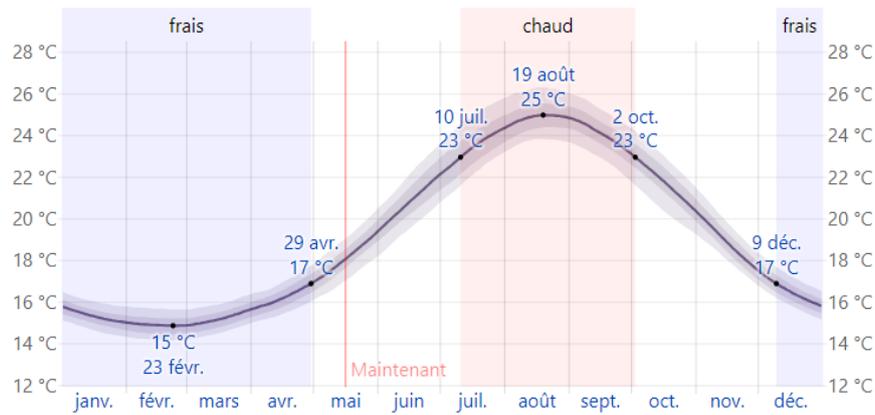


Figure IV.10 : Température moyenne de l'eau à Alger [32]

### 9. Topographie :

Dans ce rapport, les coordonnées géographiques pour Bordj el Kiffan sont 36,749° de latitude, 3,192° de longitude et 11 m d'altitude.

La topographie dans les 3 kilomètres entourant Bordj el Kiffan ne présente que des variations légères de l'altitude, avec une variation maximum de l'altitude de 43 mètres et une altitude moyenne au-dessus du niveau de la mer de 8 mètres. Dans les 16 kilomètres, légères variations de l'altitude uniquement (401 mètres). Dans les 80 kilomètres, variations très importantes de l'altitude (2 062 mètres).

La région dans un rayon de 3 kilomètres de Bordj el Kiffan est couverte par des surfaces artificielles (53 %) et de l'eau (43 %), dans un rayon de 16 kilomètres par des de l'eau (39 %) et des surfaces artificielles (32 %) et dans un rayon de 80 kilomètres par des de l'eau (50 %) et des terres cultivées (29 %). [32]

## IV.2. L'USINE DE DESSALEMENT « Bateau cassée »

L'usine ou station de dessalement de l'eau de mer, étudiée, a été mise en service le 20 mars 2022, dont le système de qualité et l'activité du laboratoire d'Eco Progress respectent les normes UNE-EN-ISO-17025.

Elle a une capacité journalière de 10 000 m<sup>3</sup> grâce à la technique d'osmose inverse, visant à renforcer les ressources en eau et à améliorer la qualité de l'eau distribuée. Cette installation assure la production, le traitement et le transport de l'eau.

### IV.3. Les activités de la station :

- **Caractéristiques du projet :** Utilisation directe de l'eau de mer, installation de dessalement et gestion du rejet de la saumure.
- **Méthode de traitement :** Osmose inverse utilisant 784 membranes.
- **Débit de captation :** ~22973 m<sup>3</sup>/j ~957 m<sup>3</sup>/h
- **Débit moyen rejeté :** ~12885 m<sup>3</sup>/j
- **Taux de conversion :** 45%
- **Emissaire de captation :** DN 600 /PN10, longueur 1 ,01 km, profondeur 12m
- **Emissaire de rejet de saumure :** DN 600 mm, longueur 280 m, profondeur 2m

### IV.4. Procédés d'osmose inverse :

Le système de dessalement d'eau comprend deux châssis équipés au total de 784 membranes de type SW 30HRLE-400i, de marque LG et fabriquées en polyamide aromatique. Chaque membrane est disposée en forme de roulement en spirale, ce qui optimise l'efficacité du processus d'osmose inverse pour éliminer les impuretés de l'eau de mer. Ce dispositif permet une utilisation directe de l'eau de mer tout en garantissant un dessalement efficace. Pour plus de détails sur les procédés de RO (Reverse Osmoses), veuillez spécifier les informations supplémentaires nécessaires.

- **Nombre de membranes /tube de pression :** 7 unités
- **Nombre de tubes de pression/châssis :** 56 u
- **Diamètre :** 200mm
- **Pression de châssis :** 70 bars
- **Pression de pompe haute pression :** 62 bars
- **Pression de pompe booster :** 3.6 bars

### IV.5. Les différentes étapes de l'usine de dessalement :

Une usine de dessalement passe typiquement par plusieurs étapes pour transformer l'eau de mer en eau douce potable. Voici les principales étapes d'une usine de dessalement par osmose inverse, qui est la méthode la plus couramment utilisée :

#### IV.5.1. Prise de l'eau de mer :

Pour garantir une qualité optimale de l'eau à l'entrée de l'usine de dessalement, notamment en ce qui concerne les matières en suspension, deux technologies peuvent être envisagées en fonction de la localisation géographique de l'usine : les forages côtiers et les prises d'eau de surface. Les forages côtiers sont utilisés lorsque les conditions géologiques le permettent, assurant ainsi un accès direct à une eau de mer relativement exempte de contaminants. En revanche, les prises d'eau de surface sont privilégiées dans les zones où les eaux côtières sont suffisamment propres ou où des traitements préliminaires peuvent être appliqués pour réduire les matières en suspension avant le processus de dessalement. Le choix entre ces technologies dépend donc de la situation géographique spécifique de l'usine et des conditions environnementales locales.

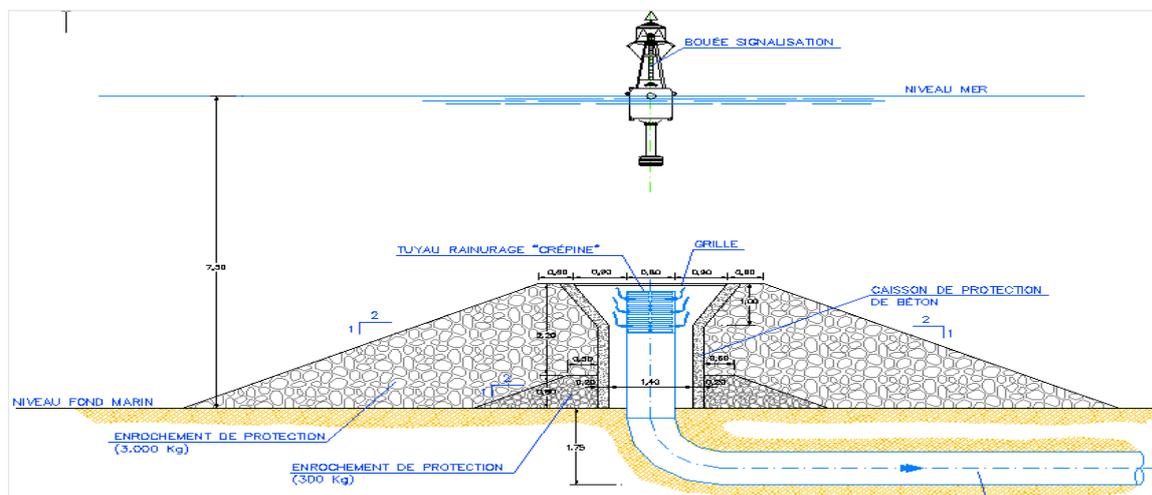


Figure IV.11 : Tour de prise sous-marine.

### IV.5.2 Station de pompage pour l'eau de mer sur la côte :

- Nombre de pompes : 2 (1 installée + 1 en réserve)
- Type : pompe centrifuge verticale en ligne avec système d'amorçage intégré
- Débit : 980 m<sup>3</sup>/h
- Vitesse nominale : 1485 tr/min
- Rendement hydraulique : 79,57%



Figure IV.12 : les pompes de l'eau de mer

### IV.5.3 Prétraitement :

#### A. La coagulation :

L'objectif est de neutraliser les colloïdes, majoritairement chargés négativement, en utilisant des sels tels que le sulfate d'aluminium ( $Al_2(SO_4)_3$ ), le chlorure ferrique ( $FeCl_3$ ) et le sulfate ferrique ( $Fe_2(SO_4)_3$ ).

Mélangeur statique pour la coagulation est pour le but de mélange et homogénéisation de l'eau de mer avec la solution injectée de chlorure ferrique

#### B. La floculation

Cette étape consiste à agglomérer les particules colloïdales neutralisées préalablement par coagulation, afin de former des floes. Étant donné que les membranes d'osmose inverse sont chargées négativement, il est conseillé d'utiliser des floculants non ioniques ou anioniques, comme le polyacrylamide, pour prévenir le colmatage.

Mélange statique pour la floculation est pour le but de mélange et homogénéisation de l'eau de mer avec la solution injectée de polymère



Figure IV.13 : l'emplacement de mélangeurs au niveau de la conduite

**C. La décantation : « décanteur lamellaire »**

Elle est nécessaire lorsque l'eau brute est trop chargée pour subir une filtration directe. Pour améliorer la décantation, il est préférable d'aménager une zone de floculation avec agitation lente, pour favoriser le grossissement des floccs et améliorer leur décantation.

Les lamelles, inclinées à un angle minimum de  $55^\circ$ , sont conçues pour optimiser le flux des boues vers le fond de l'installation. Le débit de conception est de  $960 \text{ m}^3/\text{h}$ , avec une charge de surface effective (vitesse Hazen) de  $0,64 \text{ m/h}$  et une vitesse d'écoulement à travers la surface de base atteignant  $9,90 \text{ m/h}$ .

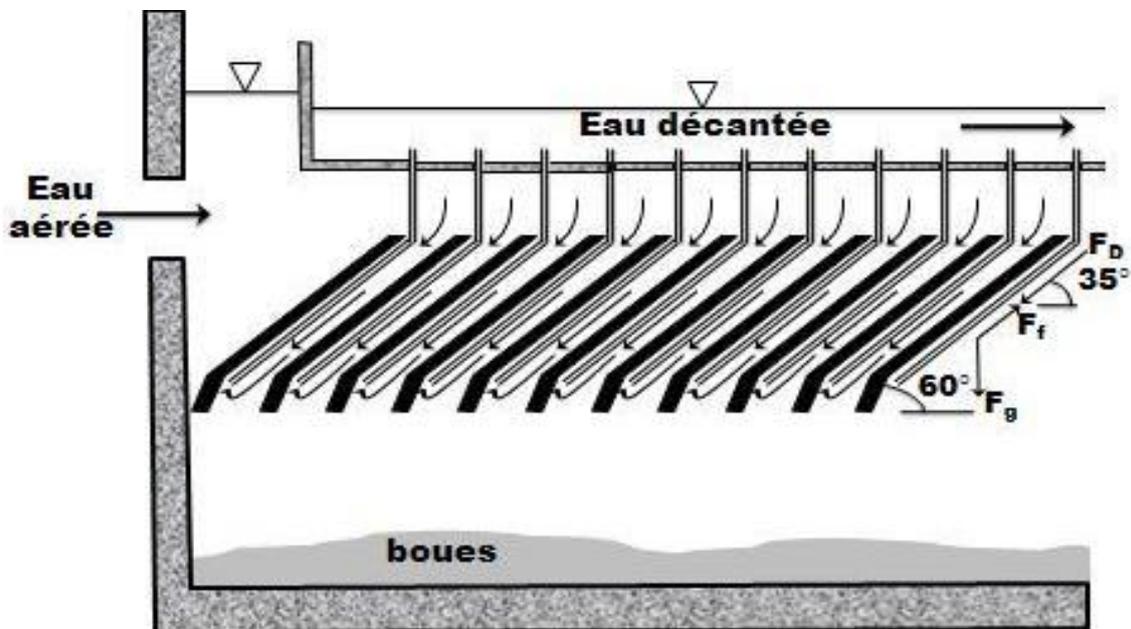


Figure IV.14 : schéma d'un décanteur lamellaire

**D. Hypochlorite de sodium :**

Indépendamment du procédé de dessalement sélectionné, il est crucial de prévenir toute croissance biologique dans l'eau d'alimentation. Ainsi, dès la prise d'eau, il est recommandé d'injecter du chlore ou son équivalent, comme l'eau de Javel.

**E. Bac d'eau clarifiée :**

Est un réservoir rectangulaire de plain-pied avec couvercle en béton renforcé afin de stocker l'eau sortie de décanteur, le bac dimensionné pour un volume de rétention effectif : 167 m<sup>3</sup> et un temps de rétention à débit de conception : 20 min.

**F. Filtration avec un filtre sous pression à double couche :**

1. L'eau est pompée à l'aide de trois pompes, dont deux sont opérationnelles et une est en réserve. Avant d'arriver aux filtres à sable pour la première étape de filtration, elle est préalablement désinfectée à l'aide d'hypochlorite de sodium (NaClO).

2. L'eau traverse quatre filtres à sable en parallèle, où elle subit une première filtration. Chaque filtre est équipé de deux types de médias filtrants : de l'hydro-anthracite en surface et du sable quartzique en dessous, avec une couche de gravier servant de support. Cette étape élimine efficacement les matières en suspension et les particules grossières résiduelles présentes dans l'eau de mer, préparant ainsi l'eau pour la phase suivante du traitement. Ensuite, l'eau est traitée avec du bisulfite de sodium (Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>) SMBS pour éliminer le chlore résiduel, et un agent antitartre est ajouté pour prévenir tout risque d'entartrage de l'eau.

**Tableau IV.1 :** Caractéristiques techniques du filtre à sable.

Débit de conception max	480 m <sup>3</sup> /h
Nombre de filtres	4
Agencement	En parallèle
Type de filtres	Filtres horizontaux sous pression à deux médias
Type de filtration	Filtration profonde à travers le médium granulaire
Débit de conception par filtre, tous les filtres en service :	240 m <sup>3</sup> /h
Surface de filtration totale :	80,0 m <sup>2</sup>
Vitesse réelle de filtration à débit de conception	12 m/h
Pression de conception	6 bars
Diamètre extérieur de cuve de filtre :	2500 mm
Longueur cylindrique	8000 mm



Figure IV.15: les filtres à sable sous pression à double couche

**G. Microfiltration « filtre à cartouches » :**

La microfiltration, dernière étape du prétraitement, vise plusieurs objectifs essentiels :

- Réduire les substances organiques responsables du colmatage.
- Affiner l'eau préfiltrée pour abaisser sa turbidité et son indice de colmatage.
- Filtrer les impuretés des solutions injectées en amont.
- Protéger efficacement les membranes en retenant les matières en suspension.

Tableau IV.2 : Caractéristiques techniques du filtre à cartouches.

Débit de conception totale	940 m <sup>3</sup> /h
Nombre de boîtiers	6 (5+1)
Nombre de cartouches	420 (70 par boîtier)
Fabriquant	FLUYTEC
Type de cartouches	à fil bobiné en polypropylène
Finesse de filtration (degré de séparation)	5 µm
Nombre de cartouches par boîtier	70
Débit de conception par filtre, tous les filtres en service	188 m <sup>3</sup> /h
Surface de filtration totale	0.19 m <sup>2</sup>
Pression de conception	1.2 bars
Diamètre de boîtier	700 mm
Hauteur totale	1730 mm



**Figure IV.16 : les filtres à cartouche**

#### **IV.5.4. Système d'osmose inverse :**

En utilisant des pompes à haute pression, l'eau filtrée est aspirée et poussée à une pression de 62,7 bars. Elle est ensuite dirigée vers les tubes de pression pour procéder à la séparation du sel et de l'eau.

Chaque ligne d'OI dispose d'un mécanisme d'entraînement composé de :

- 1 pompe à haute pression
- 1 batterie de 2 dispositifs de récupération d'énergie isobare (échangeurs de pression)
- 1 pompe de circulation (booster) pour les ERD

**Tableau IV.3 : Caractéristiques techniques du Système d'osmose inverse**

Objectif	Réduction de solides dissous de l'eau de mer prétraitée et filtrée et production de perméat au débit et à la qualité stipulés
Débit requis de perméat	420 m <sup>3</sup> /h
Taux de récupération de conception	45%
Débit de conception du courant d'alimentation	933 m <sup>3</sup> /h
Débit de conception de saumure	513 m <sup>3</sup> /h
Concept du processus	Une étape, un étage
Nombre de lignes parallèles	2
Nombre de cuves sous pression total	112
Nombre de membranes d'OI d'eau de mer total	784



Figure IV.17 : unité d'osmose inverse de bateau cassé

- **POMPE à haute pression** : La pompe haute pression sert à alimenter l'unité d'osmose inverse en eau prétraitée et filtrée le type des PHP utiliser dans la station de dessalement de bateau cassée sont des pompes pompe centrifuge horizontale multicellulaire à plan de joint radial, conçue pour le fonctionnement avec des variateurs de fréquence (VFD). La pression d'alimentation doit être de l'ordre de 62.2 bar maximum



Figure IV.18 : Pompe à haute pression

- **Pompes de circulation (booster) pour l'OI :** L'axe de rotation de la pompe BOOSTER est aligné avec celui de la pompe HP. Lorsque le concentrât actionne la pompe BOOSTER, cette dernière tourne pour soutenir la pompe haute pression en réduisant la puissance de son moteur électrique jusqu'à 99%. Cette méthode est connue sous le nom de "système de récupération de l'énergie du concentrât". Ensuite, le concentrât s'écoule librement à travers un tuyau vers le bac de saumure.



**Figure IV.19 :** Pompe booster

- **Dispositifs de récupération d'énergie (ERD) :**

Chaque processus de production implique la pompe de l'eau de mer vers les membranes à l'aide de pompes haute pression. Le concentrât est envoyé au système de récupération d'énergie pour bénéficier de la pression de la saumure produite dans les châssis, ce qui permet d'augmenter la pression de l'eau de mer à l'entrée des membranes.

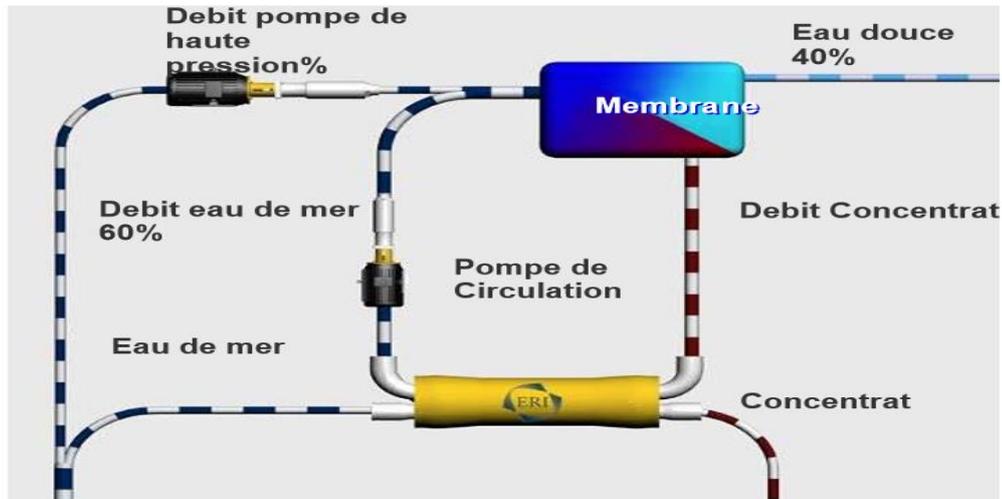
- Les tuyaux de haute pression des filières sont faits en acier inoxydable Duplex.
- Les vannes de haute pression soudées, du genre prise, sont en acier inoxydable Duplex.



**Figure IV.20 :** Dispositifs de récupération d'énergie (ERD)

↳ **Les avantages de Technologie PX récupération d'énergie**

- Jusqu'à 98% de récupération de l'énergie provenant du rejet membrane
- Simple, élégant, modulable
- Construction robuste en céramique
- Permet plus de flexibilité au niveau du procès d'OI



**Figure IV.21:** Système de récupération d'énergie

▪ **Châssis d'Osiose Inverse :**

Les membranes qui composent le châssis d'osiose inverse seront d'enroulement en spirale et elles seront installées en tuyaux à pression.



**Figure IV.22 :** Châssis d'Osiose Inverse

**IV.5.5. Rejets de procédé (réservoir d'effluent) :**

Les rejets de procédé comprennent les eaux suivantes :

- Les eaux de décharge des saturateurs de chaux ;
- Les eaux de lavage des filtres ;
- Les eaux de lavage ou *flushing* de l'osiose inverse.

Ces eaux sont acheminées vers le réservoir de traitement (neutralisation) des effluents et de là vers l'émissaire.

Le dosage de chaux et d'acide sulfurique est possible dans le réservoir afin de neutraliser les eaux avant rejet si requis.

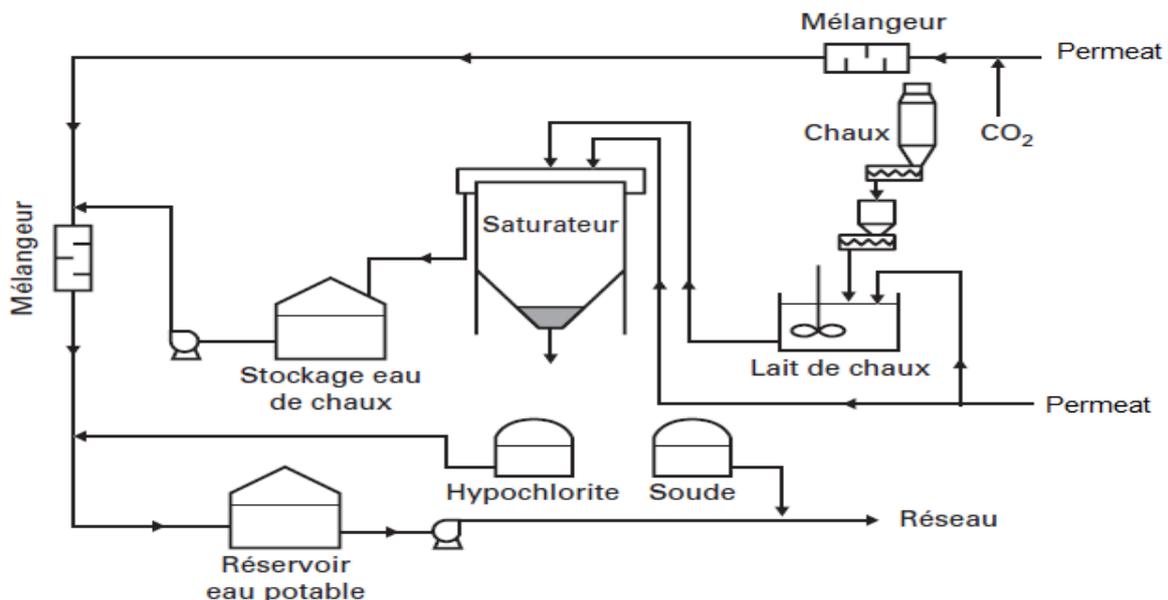
**IV.5.6. Post-traitement :**

La ré-minéralisation est une étape du procès qui a pour but de rendre le permeat moins agressif, répondant aux caractéristiques physico-chimiques d'une eau potable et conforme aux exigences du contrat de vente et d'achat d'eau (CVAE).

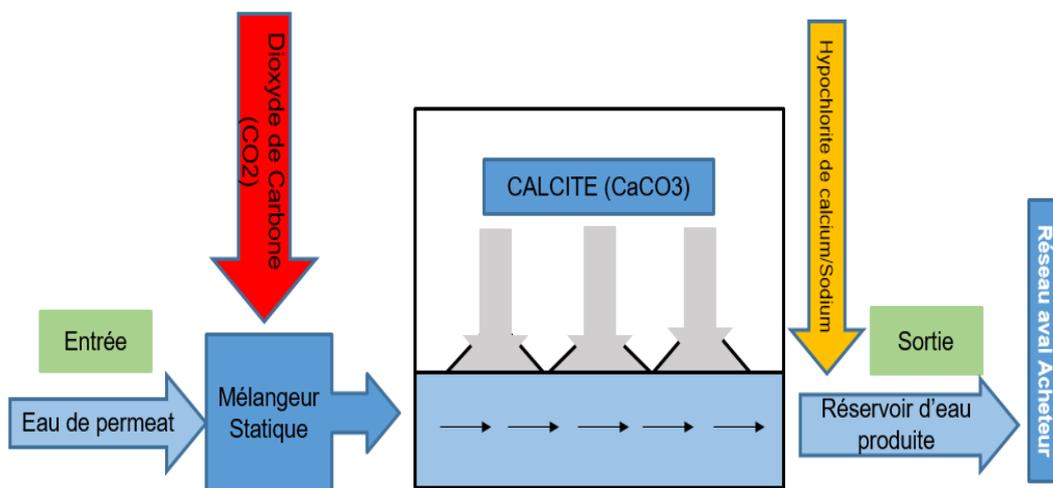
La ré-minéralisation peut se faire par deux procédés soit avec :

- De la chaux ;
- De la calcite ;

Un système de dosage de dioxyde de carbone CO<sub>2</sub> est nécessaire pour faciliter la dissolution de la chaux et ou la calcite dans l'eau



**Figure IV.23 :** Schéma représentatif du système de ré-minéralisation par la chaux



**Figure IV.24 :** Schéma représentatif du système de reminéralisation par la calcite

**IV.6. Les produits chimiques utilisés dans l'exploitation des usines de dessalement d'eau de mer :**

Les eaux rejetées par ces usines contiennent de nombreux produits chimiques utilisés tout au long du processus de dessalement de l'eau, comme le montre le tableau ci-de

**Tableau IV.4:** liste des produits chimiques utilisés dans la station de dessalement de l'eau de mer

Produits	Point d'injection	Rôle	Formule commerciale
Hypochlorite de calcium (Sodium)	Tour de captage Conduite d'amenée Bassin de captage Post traitement	Le chlore est injecté en traitement choc, pour l'élimination des moules et les algues, ainsi que les bactéries en présence de l'acide sulfurique qui augmente l'effet bactéricide de hypochlorite.	$\text{Ca}(\text{ClO})_2$ , $\text{NaClO}$
Acide sulfurique	Tour de captage Conduite d'amenée	Augmenter l'effet bactéricide d'hypochlorite réduire le taux de PH	$\text{H}_2\text{SO}_4$
Acide chlorhydrique	Bassin de captage Mélangeur statique		HCl
Coagulant (chlorure ferrique)	Mélangeur statique	Neutralise les colloïdes et favorise leur précipitation partielle.	$\text{Fe}(\text{Cl})_3$ , $6\text{H}_2\text{O}$ forme hydratée
Floculant (polyelectrolyte)		Forme des floccs de colloïdes pour accélérer la sédimentation.	Polymère
Inhibiteur (Antiscalant, Anti incrustant, Dispersant Anti tartre)	Entrée et sortie filtre à cartouche	Défavoriser la précipitation des matières minérales sur la paroi des filtres à cartouche	
Bisulfite de (sodium /calcium), Métabisulfite de Sodium	Sortie filtre à cartouche	Elimine le chlore résiduel de l'hypochlorite de calcium à l'entrée des membranes OI	$\text{NaHSO}_3$ $/\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$
Hydroxide de Sodium		Augmenter le pH et neutraliser tous les types d'eaux acides l'adoucissement de l'eau potable par augmentation du pH	$\text{NaOH}$
Acide citrique	Bâtiment d'osmose inverse	Le nettoyage chimique des membranes, notamment pour prévenir le tartre (anti tartre)	$\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$
Sodium tripolyphosphate	Bâtiment d'osmose inverse	Nettoyage chimique des membranes	$\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$
Clean MCT 524	Bâtiment d'osmose inverse	Une base utilisation dans le lavage chimique des membranes RO	
Polyéthylène glycol		Préservation des membranes d'osmose inverse	$\text{C}_{2n}\text{H}_{4n+2}\text{O}_{n+1}$
Laur sulfate de sodium	Bâtiment d'osmose inverse	Nettoyage chimique des membranes	$\text{NaC}_{12}\text{H}_{25}\text{SO}_4$
Calcite	Post traitement	La calcite réagit avec le $\text{CO}_2$ pour augmenter l'alcalinité et la dureté	$\text{CaCO}_3$
La chaux hydratée		La chaux réagit avec le $\text{CO}_2$ pour augmenter l'alcalinité et la dureté	$\text{CaO}$
Dioxyde de carbone		Réduire le pH de l'eau de mer et éviter les précipitations des carbonates	$\text{CO}_2$

## CHAPITRE V : Analyse et interprétation des résultats

### Introduction :

L'étude expérimentale consiste à effectuer des prélèvements et des analyses physicochimiques de l'eau traitée après le processus de dessalement. Afin de contrôler sa qualité dont les données mesurées doivent être conformes aux normes convenues par l'organisation scientifique et nationale de la santé.

Pour étudier l'impact de dessalement sur l'environnement et contrôler les paramètres qui permettent de déceler et évaluer les niveaux de pollutions nous avons effectué des analyses Physicochimiques de l'eau brute (eau de mer) et l'eau rejetée (saumure) et l'eau produite et des analyses biologiques à déférente point dans la mer.

### V.1. Les objectifs de l'étude expérimentale :

- Collecter et analyser des échantillons d'eau brute, d'eau douce produite et de saumure pour vérifier que chaque étape du traitement fonctionne correctement.
- Prélever et analyser des échantillons d'eau de mer à différentes distances du point de rejet afin d'évaluer l'impact sur les organismes marins.
- Utiliser les résultats des analyses pour comprendre l'impact de la saumure et d'autres rejets sur l'écosystème marin.
- Proposer des solutions pour minimiser ces impacts (chapitre VII).

### V.2. L'étude expérimentale :

Au cours de cette section pratique et expérimentale, nous avons réalisé une série d'analyses physico-chimiques, bactériologiques et biologiques de l'eau dans trois points de la station :

- À l'entrée de la station, on retrouve l'eau nécessaire pour le dessalement (l'eau de mer).
- En quittant la station, il y a deux points distincts : l'eau produite après le dessalement (l'eau dessalée) et l'eau des rejets (la saumure).

#### V.2.1. Mode de prélèvement :

Les prélèvements d'eaux ont été effectués pour l'analyse physico-chimique. Pour l'analyse physico-chimique, il est nécessaire de prélever un échantillon d'eau en suivant la procédure suivante :

- Il est important de maintenir le contenant propre, mais il ne faut pas nécessairement le stériliser, des bouteilles en plastique de 500 ml et 1 litre ont été utilisées., ainsi que parfois des bouteilles en verre qui ont été préalablement rincées avec de l'eau distillée au moins trois fois.
- Il est nécessaire de laisser l'eau couler à un maximum de débit pendant 5 à 10 secondes, puis pendant 2 à 5 minutes à un débit moyen, avant de prélever un échantillon.
- Déverrouiller le paquet, le remplir et le refermer immédiatement.

Les prélèvements ont été réalisés au 17 Mars 2024 à 8 :30, les analyses sont effectuées au niveau de laboratoire de L'ADE de Ain defla « unité centrale » à partir de 17 mars 2024 jusqu'a 20 Mars 2024



Figure V.1: Point de prélèvement de l'eau de mer (17/3/2024)



Figure V.2: Le point de prélèvement de l'eau produite (17/3/2024)



Figure V.3: Point de prélèvement de l'eau de saumure (17/3/2024)

### V.2.2. Méthodes analytiques :

On deux types d'analyse, comme suit :

➤ **Analyses physiques :**

Dans cette partie on va mesurer ces paramètres suivants :

**A. Mesure de PH, conductivité, TDS, et température et O<sub>2</sub> dissous :**

Ces paramètres ont été mesurés par un appareil multi-paramètre de la marque Hache SL 1000



Figure V.4: Appareil multi-paramètre (17/3/2024)

**B. Mesure de la turbidité**

**Principe :** L'évaluation des différents niveaux de turbidité nécessite une comparaison entre la lumière diffusée et la lumière transmise par l'échantillon d'eau et par une série étalon de solutions de formazine :

- ✓ Il est particulièrement utile de mesurer la lumière diffusée pour les eaux de faible turbidité qui ne présentent pas de trouble visible à l'œil nu, telles que les eaux de boisson.
- ✓ Il est essentiel de mesurer la lumière transmise dans les eaux qui sont visiblement troubles à l'œil nu, comme les eaux polluées, ainsi que dans les eaux de faible turbidité contenant des substances qui ne peuvent pas transmettre la lumière.

Pour chaque échantillon d'eau, ces mesures permettent de repérer des particules non dissoutes qui absorbent la lumière mais qui diffusent peu, ce qui permet de détecter des particules non dissoutes.



Figure V.5: Turbidimètre (TL2300). (17/3/2024)

➤ **Analyses chimiques :**

Dans cette partie on va mesurer ces paramètres suivants :

**A. Mesure de la dureté totale TH**

1. Avant tout, agiter l'échantillon doucement.
2. A l'aide d'une fiole jaugée propre de 50ml, introduire 50ml d'échantillon dans un erlenmeyer propre de 100ml ;
3. Ajouter 4 ml de tampon pH 10 à l'aide de la pipette en plastique propre ;
4. A l'aide de la spatule, ajouter un peu de noir d'erichrome 1% jusqu'à obtenir une couleur rose-violette ;
5. Mélanger le tout et commencer à verser l'EDTA goutte à goutte tout en mélangeant énergiquement jusqu'à la coloration bleu-franche ;
6. Noter le volume « V » de burette.

$$\text{TH en mg/l CaCO}_3 = V \times 10$$

**B. Mesure de Calcium et Magnésium**

1. Avant tout, agiter l'échantillon doucement.
2. A l'aide d'une fiole jaugée propre de 50ml, introduire 50ml d'échantillon dans une fiole conique de 250ml ; Ajouter 2ml de la solution de NaOH et environ 0,2g de l'indicateur HSN



**Figure V.6 :** la solution NAOH et la solution tampon (17/3/2024)

3. Ajouter 4 ml de tampon pH 10 à l'aide de la pipette en plastique propre
4. A l'aide de la spatule, ajouter un peu de murexide jusqu'à obtenir une couleur rose



**Figure V.7 :** L'ajoute de murexide est observation de couleur rose (17/3/2024)

5. Mélanger le tout et commencer à verser l'EDTA goutte à goutte tout en mélangeant énergiquement jusqu'à la coloration violette



**Figure V.8:** le titrage (17/3/2024)

6. Noter le volume « V » de burette.

$$[\text{Ca}^{2+}] \text{ en mg/l} = V_1 \times F \times 8^2$$

$V_{1 \text{ EDTA}}$  : volume de la solution d'EDTA utilisé pour le dosage (ml).

$V_2$  : volume d'échantillon dosé (ml)

$C_{\text{EDTA}}$  : concentration molaire de la solution d'EDTA (0,01 M/l).

F : Facteur de dilution

$$[\text{Mg}^{2+}] \text{ en mg/l} = (V_2 - V_1) \times F \times 4.86$$

### C. Chlorure :

- Prendre 5 ml d'eau à analyser.
- Ajouter 2 gouttes de  $\text{K}_2\text{CrO}_4$  (coloration jaunâtre).
- Titrer avec  $\text{AgNO}_3$  à 0,01 N jusqu'à coloration brun rougeâtre.



**Figure V.9:** Détermination des ions chlorure ( $\text{Cl}^-$ ).

$$[\text{Cl}^-](\text{Mg/l}) = \frac{M_{\text{Cl}} \times N_{\text{AgNO}_3} \times V_{\text{AgNO}_3}}{PE} \times F \times 1000$$

$V_{\text{AgNO}_3}$  : Volume d'AgNO<sub>3</sub> nécessaire pour le dosage de l'échantillon.  $N_{\text{AgNO}_3}$  : Normalité d'AgNO<sub>3</sub>

$M_{\text{Cl}^-}$  : masse des chlorures.

F : facteur de correction du titre d'Ag NO<sub>3</sub>.

PE : prise d'essai.

Pour le F :

- ✓ Prendre 5 ml de la solution mère à 71 mg/l.
- ✓ Ajouter 2 gouttes de l'indicateur coloré.
- ✓ Doser par AgNO<sub>3</sub> à 0,01 N jusqu'au virage. (Couleur brun rougeâtre)

#### D. Dosage de sodium et de potassium par photométrie de la flamme :

La photométrie de la flamme est un des procédés les plus rapides et sensibles connus aujourd'hui pour le dosage des éléments alcalins et alcalino-terreux.

Les éléments à analyser (sodium, potassium lithium, calcium etc ...) sont généralement sous forme de sels. L'analyse se fait en partant de leurs solutions.

##### ❖ Mode opératoire :

Appareil Dr LANGE (JENWAY)

Il faut le suivre étape par étape :

- Allumer l'appareil à l'aide du bouton vert (Power).
- Ouvrir le robinet de la bouteille du gaz.
- Allumer la flamme à l'aide du bouton noir "IGNITION" sans lâcher le doigt jusqu'à l'affichage "FLM" en rouge sur l'écran.
- Pipeter de l'eau distillée remplie dans une cuvette.
- Optimiser la flamme si elle est jaune à l'aide du bouton « fuel » jusqu'à ce que la couleur devienne bleu violacé.
- Optimiser à zéro à l'aide du bouton "Blank".
- Laisser se stabiliser 5 à 10 minutes.
- Une fois qu'elle se stabilise à zéro, activer la cuvette d'eau distillée et la remplacer par une autre cuvette remplie par une solution étalon de Na<sup>+</sup> ou du K<sup>+</sup> à 10 mg/l.
- Optimiser à 10 mg/l à l'aide du bouton "FINE"
- Retirer la cuvette remplie par une solution étalon de "Na<sup>+</sup>" ou de "K<sup>+</sup>" à 10 mg/l et la remplacer par une cuvette remplie d'eau distillée et vérifier si l'écran affiche zéro (0.000).
- Retirer la cuvette remplie par l'eau distillée et la remplacer par une cuvette remplie par une solution étalon de "Na<sup>+</sup>" ou de "K<sup>+</sup>" à 10 mg/l et vérifier si l'écran affiche (10).
- Retirer la cuvette et la remplacer par une autre cuvette remplie d'eau distillée.

- A la fin, passer aux échantillons inconnus jusqu'à ce que la valeur affichée sur l'écran soit stable (3 essais pour chaque échantillon).

A la fin du dosage et par mise de la sécurité, il faut toujours fermer la bouteille de gaz propane en premier lieu ensuite l'appareil et la pompe.

Le résultat est donné directement en mg/l.



Figure V.10 : Photométrie de la flamme (PFP7 – Jenway) et les étalons

#### Remarque :

Avant de doser le sodium ( $\text{Na}^+$ ) il faut toujours vérifier les valeurs de la " conductivité " car cette dernière a un rapport proportionnel à la dilution, c'est à dire plus que la conductivité est grande plus que la dilution du  $\text{Na}^+$  est grande et vice versa. Alors pour le cas de  $\text{K}^+$  on ne fait pas la dilution sauf que la conductivité est grande.

#### E. Détermination des Sulfates ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) :

##### ❖ Mode opératoire :

- Placez progressivement 5.0 ml de l'échantillon d'eau dans un flacon spécial conçu pour la production de solution.
- Placer progressivement une cuillère du réactif A dans le flacon contenant l'échantillon d'eau.
- Fermer correctement le flacon.
- Effectuer un retour à plusieurs reprises pendant 2 minutes rapidement.
- N'oubliez pas de bien nettoyer l'extérieur du flacon et de mesurer.
- Il est important de manipuler avec prudence en raison de la réaction qui peut faire chauffer la petite fiole. Il faut le placer dans le spectrophotomètre et appuyer sur le bouton de mesure, puis attendre quelques instants pour que les résultats soient affichés.

#### F. Fer total :

##### ❖ Mode opératoire

- Prendre 50 ml l'échantillon dans une fiole de 100 ml.
- Ajouter 1 ml de chlorhydrate d'hydroxylamine.

- Mélanger bien la solution.
- Ajouter 2 ml de la solution tampon acétate ; le PH doit être compris entre 3,5 et 5,5.
- Ajouter 2 ml de la solution de phenanthroline.
- Compléter à 50 ml puis conserver la fiole dans l'obscurité pendant 15 minutes.
- Mesurer la concentration du fer d'un spectrophotomètre à une longueur d'onde 510 nm.

Le résultat est donné directement sur le spectrophotomètre en mg/l.



Figure V.11: spectrophotomètre (DR 6000).

### G. Détermination de l'alcalinité ( $\text{HCO}_3^-$ ) :

Analyse des volumes d'acide fort en solution diluée nécessaires pour neutraliser le volume d'eau à analyser, à des niveaux de pH = 8,3 et 4.3. La première mesure permet de déterminer le titre alcalimétrique (TA), tandis que la seconde mesure permet de déterminer le titre alcalimétrique complet (TAC).

$$\text{TA} = (V1 * N * 1000) * \text{masse molaire des carbonates} / V$$

$$\text{TAC} = (V2 * N * 1000) * \text{masse molaire des bicarbonates} / V$$

#### ❖ Mode opératoire :

- Prendre 100 ml d'eau à analyser,
- Évaluer le pH, puis titrer avec du HCl à 0,1 N jusqu'à ce que le pH soit de 4,3.

$$[\text{HCO}_3^-] \text{ mg/l} = V_{A1} \times 61$$

$V_A$  : Volume d'acide versé.

$N_A$  : normalité d'acide versé.

$M_{\text{HCO}_3^-}$  : masse des bicarbonates ( $\text{HCO}_3^-$ ).

P.E : prise d'essai.

$$[\text{CO}_3^{2-}] \text{ mg/l} = V_{A1} \times 60$$

### H. Dosage des nitrites ( $\text{NO}_2^-$ ) :

La réaction des nitrites avec le Sulfanilamide crée un composé diazoïque qui, après avoir été combiné avec le N1 Naphtyléthylènediamine dichloride, produit une coloration rose mesurée à 543nm.

**❖ Mode opératoire :**

- Prendre 50 ml d'eau à analyser
- Ajouter 1 ml du réactif mixte
- Attendre 10min.

**❖ Appareillage :**

- Spectrophotomètre UV-Visible

La coloration rose apparaît lorsque les  $\text{NO}_2$  sont présents.

Analyser à une longueur d'onde de 543 nm.



**Figure V.12:** dosage de nitrite

**I. DOSAGE DES NITRATES  $\text{NO}_3^-$  : Méthode au salicylate de sodium.**

Lorsque le salicylate de sodium est présent, les nitrates produisent du paranitrosnylate de sodium qui est jaune et peut être dosé colorie métriquement.

**❖ Mode opératoire :**

- Prendre 10 ml de l'échantillon à analyser.
- Ajouter 2 à 3 gouttes de  $\text{NaOH}$  à 30 %.
- Ajouter 1 ml de salicylate de sodium.
- Evaporer à sec au bain marie ou à l'étuve 75 - 88° C. (ne pas surcharger ni surchauffer très longtemps) laisser refroidir.
- Reprendre le résidu avec 2 ml de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  laissé reposer 10 mn.
- Ajouter 15 ml d'eau distillée.
- Incorporer 15 ml de tartrate double de sodium et de potassium, puis ajouter au spectrophotomètre à une longueur d'onde de 420 nm.

**❖ Appareillage :**

- Etuve.
- Spectrophotomètre U.V visible.

**❖ Expression des résultats :**

Le résultat est donné directement en mg/l à une longueur d'onde de 420 nm.

Multiplier par 4,43 pour obtenir le résultat en  $\text{NO}_3^-$



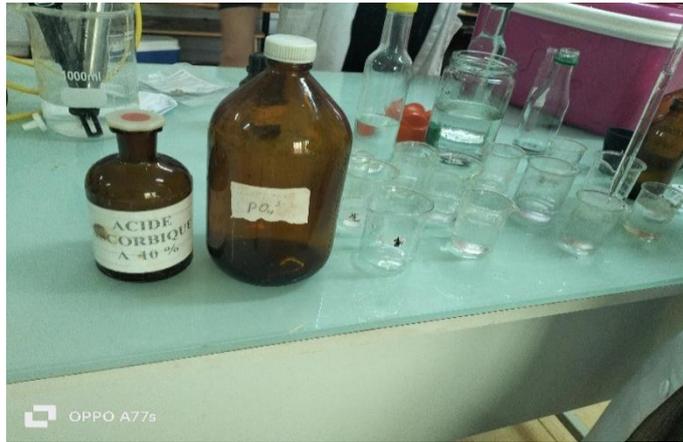
Figure V.13: Dosage de nitrate

### J. Détermination des phosphates ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) :

#### ❖ Mode opératoire :

- 40 ml d'eau à analyser.
- 1 ml acide ascorbique
- 2 ml du réactif mixte.
- Attendre 15 min le développement de la couleur bleue.
- La lecture doit être réalisée à une longueur d'onde de 880 nm.

#### ❖ Appareils : Spectrophotomètre UV. Visible



**Figure V.14 :** Détermination des phosphates

### K. Détermination de l'azote ammoniacal ( $\text{NH}_4^+$ ):

#### ❖ Mode opératoire :

- Prélever 40 ml de l'échantillon d'eau à examiner.
- Ajouter 4 ml du réactif I.
- Ensuite, incorporer 4 ml du réactif II et ajuster le volume à 50 ml avec de l'eau distillée.
- Laisser reposer pendant 1h30.

#### ❖ Appareillage : Spectrophotomètre UV-Visible



**Figure V.15:** Détermination de l'azote ammoniacal

### V.2.3. Méthodes analytiques bactériologique :

#### ➤ Matériel :

- Les rampes de filtration
- Pince
- Les boîtes pétries
- Le bec benzène
- Pipette pasteur
- L'étuve
- Bain marie
- Une anse de platine
- Les filtre 0.45 $\mu\text{m}$  et 0.2 $\mu\text{m}$

#### ➤ Produits :

- Milieu de culture gélose tergitol + additif TTCtergitol et tergitol 7
- Milieu de culture gélose slanetz et bartley+ additif slanetz et bartley

- Milieu de culture gélose viande de foie +additif alun de fer
- Milieu de culture BEA (Bile Esculine Agar)
- Milieu de culture TGEA
- Bouillon VBL
- Bouillon SHUBERT
- Réactif Kovac's



Figure V.16 : Rampe de filtration

#### a. Recherche des coliformes totaux

##### ❖ Mode opératoire

- Filtrer 100 ml de l'échantillon avec la rampe de filtration et par un filtre de 0.45  $\mu\text{m}$  de pore.
- Mettre le filtre sur le milieu TERGITOL.
- Incubera 37° pendant 24 heures.
- 1<sup>ère</sup> lecture : des colonies jaune orange, dénombrement des colonies et repiquage sur bouillon vbl+cloche.
- Incubera 37° pendant 24 heures.
- 2<sup>ème</sup> lecture : résultat présence des gaz+ trouble



Figure V.17: filtres des coliformes totaux

**b. Recherche de coliformes fécaux :****❖ Mode opératoire :**

- Filtrer 100 ml de l'échantillon avec la rampe de filtration et par un filtre de 0.45 µm de pore.
- Mettre le filtre sur le milieu TERGITOL.
- Incubera 44° pendant 24 heures.
- 1ère lecture : des colonies jaune orange, dénombrement des colonies et repiquage sur bouillon SCHUBERT+ CLOCHE.
- Incubera 44° pendant 24 heures.
- 2eme lecture : résultat présence des gaz+ trouble.
- Mettre des gouttes de kovacs, résultat : couleur rouge.

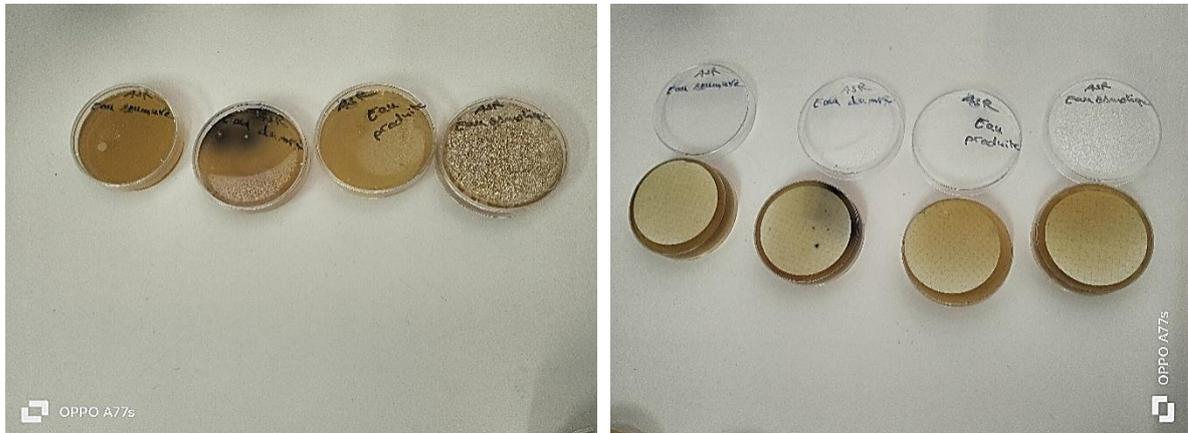
**Figure V.18 :** filtres des coliformes fécaux**c. Recherche des clostridium (sulfito-réductase) :****❖ Mode opératoire :**

- Mettre 100 ml de l'échantillon dans un bain marie, attendre laisser l'échantillon pendant 10 minutes. Jusqu'à ce que la température atteint 80
- Sortir l'échantillon du bain marie et le mettre sous l'eau froide (choque thermique).
- Filtrer l'échantillon avec un filtre de 0.2 µm.
- Mettre le filtre à l'envers dans une boîte pétri puis couler une gélose viande de foie.
- Incubera 37° pendant 24 heures.
- Résultat : colonies noir, dénombrement des colonies

**Figure V.19 :** filtre des clostridium

**d. Recherche des Streptocoques :****❖ Mode opératoire :**

- Filtrer 100 ml de l'échantillon avec la rampe de filtration et par un filtre de 0.45 µm de pore.
- Mettre le filtre sur le milieu SLANETZ ET BARTLEY.
- Incubera 37° pendant 24 heures.
- 1 ère lecture : colonies rouge, dénombrement des colonies.
- Mettre le filtre sur milieu BEA et incuber à 37° pendant 2 heures.
- 2eme lecture : points noirs



**Figure V.20 : filtres des Streptocoques**

**V.3. Interprétations et discussion des résultats :**

De nombreuses expériences physico-chimiques nous ont permis de voir ce qui suit, sur l'eau de mer :

- La neutralisation du pH
- Une concentration élevée de sels minéraux
- Une conductivité excessive
- Une turbidité normale

Il est crucial de mener des recherches bactériologiques dans une eau de mer en raison de l'utilisation des membranes où il existe un risque d'eutrophisation biologique

## V.3.1. L'eau de mer (brute) :

Tableau V.1: Résultats des analyses physico-chimiques de l'eau de mer.

Paramètres	Méthode	Résultats	Unités
pH	NA 751	<b>7,79</b>	Unité pH
Conductivité	NA 749	<b>58566</b>	µS/cm
TDS		<b>36846</b>	Mg/l
Température	NA 750	<b>17</b>	°C
Turbidité	NA 746	<b>0,87</b>	NTU
Oxygène dissous (O2 dis)	NA 1654	<b>9,5</b>	%
Chlorures	ISO 6917	<b>20336,175</b>	mg/L
Nitrates	NA 1656	<b>2</b>	mg/L
Sulfates	Méthode interne	<b>1861</b>	mg/L
Nitrites	NA 1657	<b>&lt;0,02</b>	mg/L
Bicarbonates	ISO9963	<b>183</b>	mg/L
Carbonates	ISO9963	<b>180</b>	mg/L
Titre alcalimétrique complet	ISO9963	<b>18,3</b>	°F
Calcium	NA 1657	<b>400</b>	mg/L
Magnésium	NA 752	<b>1312,2</b>	mg/L
Sodium	NA 1653	<b>4580</b>	mg/L
Potassium	NA 1653	<b>125,8</b>	mg/L
Phosphate		<b>&lt;0.03</b>	
Ammonium	ISO 7150	<b>&lt;0,02</b>	mg/L
Dureté totale	NA 752	<b>640</b>	°F
Fer	ISO 15586	<b>0,02</b>	mg/L

Tableau V.2: Résultats des analyses bactériologiques de l'eau de mer.

Paramètres	Méthode	Résultats	unité
Coliformes totaux	ISO 9308-1	<b>3</b>	n/100 ml
Coliformes fécaux	ISO 9308-1	<b>0</b>	n/100 ml
Streptocoques totaux	ISO7899-2	<b>1</b>	n/100 ml
Clostridium	NF T 90 415	<b>0</b>	n/20ml

## ➤ Les remarques :

La conductivité électrique de l'eau de mer est élevée, ce qui s'explique par l'abondance d'ions dissous qui favorise la polarité de l'eau salée. L'eau de mer présente une légère alcalinité et le pH varie entre 7,5 et 8,4, en fonction de la température. Si la température augmente, le pH diminue et tend à être acide. Le niveau de salinité dépend de la pression ou de la profondeur ainsi que de l'activité vitale des organismes marins.

**V.3.2. La saumure :**

La saumure est un résidu inévitable du dessalement, qui est généralement déchargé dans l'environnement marin. La qualité de l'eau d'alimentation, la qualité de l'eau douce produite et la technique de dessalement utilisée influencent grandement les composants présents dans ces eaux résiduaires rejetées par les usines de dessalement. Les produits utilisés sont principalement des biocides, des antitartres, des antisalissures et des antimousses, et ils modifient finalement la composition de la saumure concentrée.

**Tableau V.3:** Résultats des analyses physico-chimiques de la saumure.

Paramètres	Méthode	Résultats	Unités
pH	NA 751	<b>7.47</b>	Unité pH
Conductivité	NA 749	<b>92224</b>	µS/cm
TDS		<b>64782,89</b>	Mg/l
Température	NA 750	<b>18</b>	°C
Turbidité	NA 746	<b>0.6</b>	NTU
Oxygène dissous (O2 dis)	NA 1654	<b>9.4</b>	%
Chlorures	ISO 6917	<b>33725</b>	mg/L
Nitrates	NA 1656	<b>2</b>	mg/L
Sulfates	Méthode interne	<b>2327</b>	mg/L
Nitrites	NA 1657	<b>&lt;0.02</b>	mg/L
Bicarbonates	ISO9963	<b>335</b>	mg/L
Carbonates	ISO9963	<b>329.5</b>	mg/L
Titre alcalimétrique complet	ISO9963	<b>33.5</b>	°F
Calcium	NA 1657	<b>720</b>	mg/L
Magnésium	NA 752	<b>1555.2</b>	mg/L
Sodium	NA 1653	<b>23215</b>	mg/L
Potassium	NA 1653	<b>158.8</b>	mg/L
Ammonium	ISO 7150	<b>0</b>	mg/L
Dureté totale	NA 752	<b>820</b>	°F
Fer	ISO 15586	<b>0.02</b>	mg/L

**Tableau V.4:** Résultats des analyses bactériologiques de la saumure

Paramètres	Méthode	Résultats	Unité
Coliformes totaux	ISO 9308-1	<b>0</b>	n/100 ml
Coliformes fécaux	ISO 9308-1	<b>0</b>	n/100 ml
Streptocoques totaux	ISO7899-2	<b>0</b>	n/100 ml
Clostridium	NF T 90 415	<b>0</b>	n/20ml

La saumure possède une conductivité maximale de 95ms/cm, ce qui la rend extrêmement chargée en sels. La conductivité varie en fonction de :

- La concentration en ions.
- La nature des ions.
- La température de la saumure.
- La viscosité de la saumure.

➤ **Les remarques :**

La teneur en salinité de la saumure varie considérablement entre « 62-66 » g/l, soit près du double de celle de l'eau de mer, ce qui favorise l'efficacité du traitement approprié appelé « osmose inverse ».

Selon nos analyses, la température 18°C, ce qui est considéré comme très normal et conforme à la norme.

On observe une valeur élevée de TH, avec une surabondance de  $\text{Ca}^{++}$  et  $\text{Mg}^{++}$  liés à  $\text{HCO}_3^-$ , ainsi que la présence d'ions bicarbonates, de calcium et de sulfates. Selon les conditions de température, de concentration et de pH, ces ions peuvent être des sources potentielles d'entartrément. Cependant, toute méthode de dessalement nécessite une concentration d'eau. L'opérateur aura donc la possibilité de choisir la température et le pH afin de limiter ou d'éviter l'entartrément des appareils.

La saumure présente une forte teneur en chlorures, atteignant presque le triple de la quantité d'eau de mer. Cette augmentation significative est due à l'injection régulière d'hypochlorite de sodium, dans le but d'éviter la prolifération bactériologique.

Les ions de fer jouent un rôle crucial au niveau de la station car ils peuvent provoquer la corrosion des conduites qu'ils traversent. En présence d'une forte salinité, cela peut entraîner une augmentation de la turbidité, ce qui pourrait perturber la photosynthèse. La norme de rejet «  $0.045 < 95 \text{ mg/l}$  » est largement influencée par cette valeur.

### V.3.3. L'eau traitée :

**Tableau V.5 :** Résultats des analyses physico-chimiques de l'eau traitée.

Paramètres	Méthode	Résultats	Unités	V.I
PH	NA 751	<b>8.53</b>	Unité pH	$\geq 6,5$ et $\leq 9$
Conductivité	NA 749	<b>572.7</b>	$\mu\text{S/cm}$	2800
TDS		<b>286.35</b>	Mg/l	$150 < \text{MTD} < 500$ ppm
Température	NA 750	<b>16</b>	°C	25
Turbidité	NA 746	<b>0.25</b>	NTU	5
Oxygène dissous (O2 dis)	NA 1654	<b>9.49</b>	%	Pas de valeur
Chlorures	ISO 6917	<b>134.9</b>	mg/L	500
Nitrates	NA 1656	<b>2</b>	mg/L	50
Sulfates	Méthode interne	<b>29</b>	mg/L	400
Nitrites	NA 1657	<b>&lt; 0.02</b>	mg/L	0,2
Bicarbonates	ISO9963	<b>73.2</b>	mg/L	500
Carbonates	ISO9963	<b>72</b>	mg/L	Pas de valeur
Titre alcalimétrique complet	ISO9963	<b>7.3</b>	°F	50
Calcium	NA 1657	<b>28</b>	mg/L	200
Magnésium	NA 752	<b>2.43</b>	mg/L	150
Sodium	NA 1653	<b>68</b>	mg/L	200
Potassium	NA 1653	<b>5.6</b>	mg/L	20
Phosphate		<b>&lt; 0.03</b>	mg/l	
Ammonium	ISO 7150	<b>&lt; 0.02</b>	mg/L	0,5
Dureté totale	NA 752	<b>8</b>	°F	50
Fer totale	ISO 15586	<b>0.02</b>	mg/L	0,3
Chlore libre		<b>0.43</b>	mg/l	0.5

**Tableau V.6 :** Résultats des analyses bactériologiques de l'eau traitée.

Paramètres	Méthode	Résultats	Unité	V.L
Coliformes totaux	ISO 9308-1	0	n/100 ml	0
Coliformes fécaux	ISO 9308-1	0	n/100 ml	0
Streptocoques totaux	ISO7899-2	0	n/100 ml	0
Clostridium	NF T 90 415	0	n/20ml	0

➤ **Les remarques :**

Selon les résultats de l'analyse de l'eau produite, il a été observé que les échantillons présentent une température qui est en dessous de la norme indiquée (25°C), ce qui assure davantage la sécurité du consommateur.

L'eau traitée présente un pH de 8,53. En se basant sur les normes de qualité de l'eau potable, les eaux traitées respectent les valeurs de pH fixées par la norme algérienne, qui sont de 6,5 à 9.

La turbidité avoisine logiquement la valeur de (0) lors de la microfiltration et de l'osmose inverse, mais l'ajout de l'eau filtrée avec de la calcite a entraîné une augmentation à la valeur tournée. La norme algérienne de turbidité pour l'eau de consommation est respectée.

Les concentrations de chlorures, de sodium, de potassium, de sulfate, de fer, de nitrite et de nitrate sont inférieures aux limites du spectrophotomètre DR5000. Ces valeurs sont en accord avec la norme en Algérie.

#### **V.4.Quantification des différents éléments chimiques dans la saumure :**

Nous sommes tous conscients que ces rejets, ainsi que de nombreux produits chimiques, contribuent chaque jour à une pollution significative des océans, perturbant la vie des organismes marins. Il est connu que certains organismes ne tolèrent pas une salinité supérieure à 38 g/l dans leur environnement. L'impact environnemental le plus préoccupant est sans aucun doute celui de la saumure, qui est l'eau rejetée par toutes les usines de dessalement et qui est souvent beaucoup plus saline que l'eau d'origine, avec une salinité 1,2 à 3 fois supérieure.

**Tableau V.7:** la quantité de saumure rejetée dans une durée de deux mois (janvier et février 2024) à l'usine de dessalement de bateau cassée.

Mois	Q d'expédition (m <sup>3</sup> /h)	Q captage (m <sup>3</sup> /h)	Y% saumure	Q saumure (m <sup>3</sup> /h)
Janvier	417	965	55%	530.75
Février	418	956	55%	525.8
Annuel	Q d'expédition (m <sup>3</sup> /année)	Q captage (m <sup>3</sup> /année)	55%	Q saumure (m <sup>3</sup> /année)
2024	3671712	8476560	55%	4715910

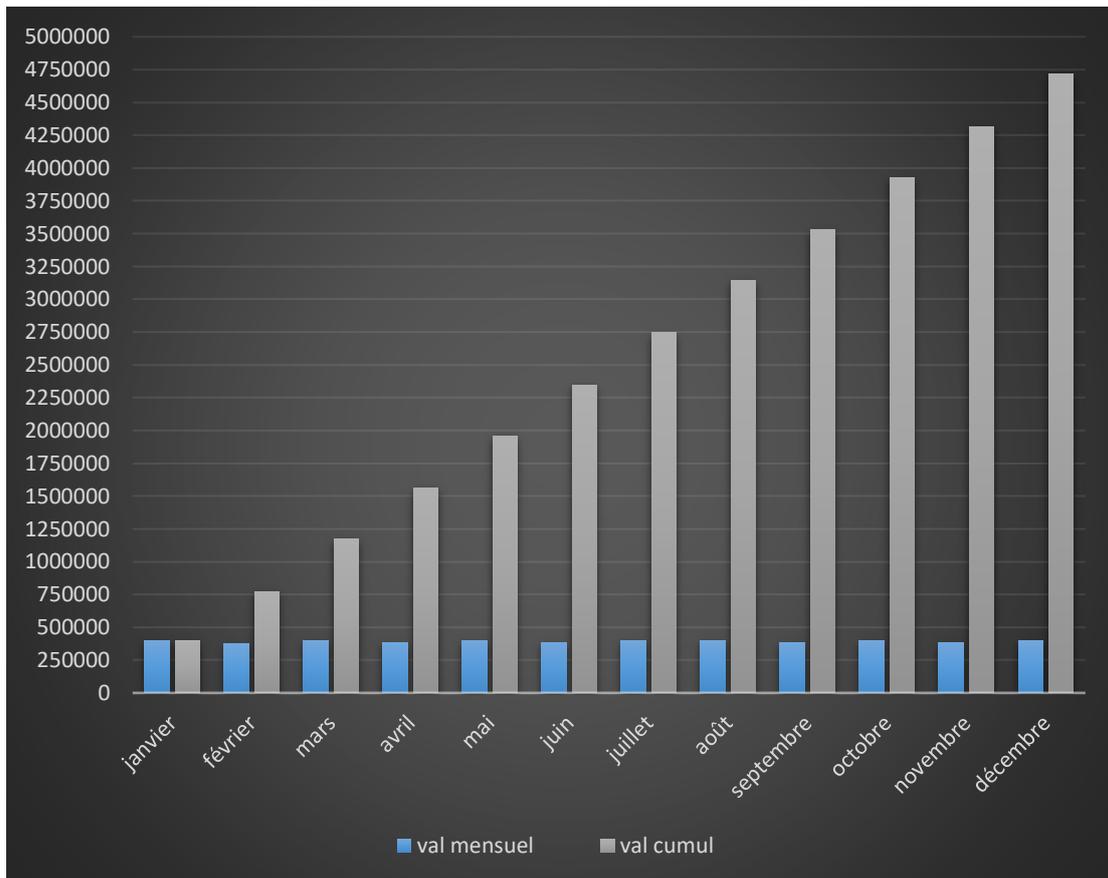


Figure V.21 : l'évolution du volume de la saumure pendant l'année 2024

➤ **La quantité journalière des différents éléments chimiques excédentaires :**

[TDS] : d'eau de mer = 36,84 (g/l)

[TDS] : de la saumure = 64,78 (g/l)

[Sels excédentaires] = 64,78 – 36,84 (g/l) = 27,94 g/l

[Sels excédentaires] journalière = [sels excédentaires] Kg/l \* Q saumure (l/j)

[Sels excédentaires] journalière = 27,94 \* 10<sup>-3</sup> \* 12885 \* 10<sup>3</sup> kg/j = 359491,5 kg/j

[Sels excédentaires] journalière = 131214,3975 Tan/an

La même procédure s'applique aux quantités des autres éléments chimiques rejetées par la station.

**Tableau V.8:** Les quantités des différents éléments chimiques rejetées par la station de dessalement de bateau cassée.

Éléments Unité	Chlorure Cl	Sodium Na <sup>+</sup>	Magnésium Mg <sup>+2</sup>	Calcium Ca <sup>+</sup>	Sulfate SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Potassium K <sup>+</sup>
<b>Kg/jour</b>	<b>434 546,625</b>	<b>299 125,275</b>	<b>20 038,752</b>	<b>9 277,2</b>	<b>29 983,395</b>	<b>2 046,138</b>
<b>Tan/année</b>	<b>158 609,52</b>	<b>109 180,72</b>	<b>7 314,14</b>	<b>3 386,178</b>	<b>10 943,904</b>	<b>746,84</b>

Comparée à l'eau de mer, l'eau salée est très salée et constitue le pire polluant. Nous savons tous que ces rejets et de nombreux produits chimiques évoluent chaque jour, provoquant une pollution importante du milieu marin et perturbant la vie des créatures marines. Il ne fait aucun doute que l'effet le plus préoccupant sur l'environnement est celui du cerveau, c'est-à-dire que l'eau contient trop de sel et est rejetée par toutes les plantes nuisibles. La salinité de la saumure dépend de la méthode utilisée. Dans les installations d'osmose inverse, la teneur en sel de la saumure dépend de la capacité d'osmose inverse de l'installation et est 1,2 à 3 fois supérieure à la teneur en sel de l'eau d'alimentation.

### V.5. Analyse biologique :

L'analyse de la biodiversité vise à détecter une certaine quantité de plancton (phytoplancton et zooplancton) dans les eaux brutes et en différents lieux et exutoires afin de révéler l'effet de la salinité sur la faune et la flore.

#### ❖ Général :

- a) **Définition du phytoplancton :** Le phytoplancton englobe de petites algues invisibles à l'œil nu, transportées par les courants marins. Ces microalgues, dotées de chloroplastes, croissent et produisent de l'oxygène sous l'effet de la lumière. Elles se nourrissent également de minéraux et de vitamines, parmi d'autres éléments. Cette activité phytoplantonique est essentielle dans les océans, tout comme les plantes le sont pour la production primaire terrestre.
- b) **Définition du zooplancton :** Le zooplancton se compose d'animaux planctoniques, c'est-à-dire d'organismes animaux dérivants. Ce groupe inclut de très petits individus comme les copépodes ainsi que des espèces plus grandes telles que les larves. Le zooplancton se nourrit principalement de phytoplancton. Pour collecter le zooplancton, on récupère les échantillons en remontant le filet, ce qui concentre les organismes vers le fond de la poche du filet du flacon. La collecte est généralement plus fructueuse en fin de journée ou tôt le matin. Pour maintenir une production optimale, il est crucial de contrôler la température de l'eau de mer et de veiller à un apport adéquat en oxygène.

#### ❖ Méthode :

Bien que le dénombrement des organismes puisse être réalisé avec un microscope à plancton inversé de type Utermohl, il s'agit de la meilleure méthode d'analyse quantitative. Les échantillons sont disposés face vers le haut, permettant l'observation des organismes fragmentés sur la ligne visible formée au fond du petit réservoir cylindrique. Il existe différentes tailles de chambres de comptage et nous sélectionnerons la taille d'échantillon la plus adaptée en fonction de la densité de plancton présente dans l'échantillon, en utilisant certains réactifs colorants comme le Lugol et le violet de gentiane. Enfin, les résultats du décompte sont exprimés en nombre de cellules par litre pour les méthodes de comptage du phytoplancton.



**Figure V.22 :** le point de rejet de la station bateau cassée

#### V.5.1. Résultats des analyses biologiques :

Les résultats du comptage des planctons de l'eau de mer et du rejet, à différentes distances de ce dernier, sont donnés dans le tableau V.9.

**Tableau V.9 :** Les résultats des analyses biologiques :

La date de prélèvement	Unité	Cellule/l	
La distance	8 m	20 m	100 m
Phytoplanctons	90.88	380.2	1560
Zooplanctons	27.26	35.4	91.3

Les résultats obtenus montrent clairement que le phytoplancton et le zooplancton ne sont pas visibles à proximité de l'exutoire. En s'éloignant de celui-ci, on observe un développement plus marqué, notamment pour le phytoplancton, ce qui souligne que leur distribution initiale est influencée par les variations locales de la salinité de l'eau de mer. La présence de quantités réduites de zooplancton indique que les micro algues sont sensibles aux fluctuations de la salinité et que leur survie est donc menacée dans ces conditions.

## CHAPITRE VI : impact du processus de dessalement

### Introduction :

Les impacts des usines de dessalement sur l'environnement marin demeurent largement méconnus en raison du manque d'études approfondies, comme le souligne le WWF, bien que certains effets présumés ou avérés soient déjà identifiés.

Pour les organisations environnementales, le dessalement compromet l'équilibre des écosystèmes marins et accroît les émissions de gaz à effet de serre. Ce processus vise à convertir une eau chargée en plancton, chlorures et sulfates en eau potable. Quelle que soit la technique utilisée (distillation ou osmose inverse), ces installations requièrent une grande quantité d'énergie, principalement issue de combustibles fossiles, entraînant ainsi une forme de pollution.

### VI.1. Impact de dessalement sur l'environnement :

Le dessalement de l'eau, bien que crucial pour fournir de l'eau douce dans les régions arides ou côtières, peut avoir divers impacts sur l'environnement. Voici les principaux aspects à considérer :

- 1. Consommation d'énergie élevée :** Le processus de dessalement nécessite une quantité importante d'énergie, principalement pour alimenter les pompes et les systèmes de traitement.
- 2. Émissions de gaz à effet de serre :** La consommation d'énergie associée au dessalement peut entraîner des émissions de gaz à effet de serre, contribuant ainsi au changement climatique.
- 3. Dégradation de l'environnement marin :** Le rejet de saumure concentrée dans les océans peut perturber les écosystèmes marins en modifiant la salinité et la composition chimique de l'eau.
- 4. Utilisation de produits chimiques :** Le processus de dessalement nécessite l'utilisation de produits chimiques, tels que les agents de nettoyage et les produits de traitement, qui peuvent avoir des impacts néfastes sur l'environnement.
- 5. Utilisation des ressources naturelles :** Le dessalement nécessite des quantités considérables d'eau et de produits chimiques, ce qui peut entraîner une pression supplémentaire sur les ressources naturelles.
- 6. Impact sur la biodiversité marine :** Les prises d'eau pour le dessalement peuvent avoir un impact sur la faune marine en aspirant et en piégeant des organismes aquatiques, perturbant ainsi les écosystèmes côtiers.

### VI.2. Impacte de rejet (saumure) sur l'environnement :

La saumure est un sous-produit du dessalement qui est rejetée dans la mer. La composition de la saumure rejetée dépend de plusieurs facteurs t'élue la qualité de l'eau produite, la technique utilisable, les produites chimique injectée dans le traitement comme Chlore, anitrate ...

**VI.2.1. Origine et type des émissions et rejets :** Les émissions et rejets dans l'eau de mer peuvent provenir de diverses sources, notamment des activités humaines et des processus naturels. Voici les principales origines et types d'émissions et de rejets dans l'eau de mer :

**A. La saumure concentrée :**

La salinité de l'eau rejetée et les fluctuations de salinité à proximité du point de rejet peuvent être une cause de décès chez les organismes sensibles. De plus, comme les rejets provenant des usines de dessalement sont plus denses que l'eau de mer, ils peuvent se déposer sur le fond océanique et avoir des effets négatifs sur les communautés benthiques. Les changements de salinité et/ou de température dus à la libération de saumure affectent également les schémas de migration latérale des poissons. Certaines espèces de poissons peuvent éviter la zone en aval et migrer vers la côte lorsqu'elles détectent des changements de salinité ou de température. En conséquence, les poissons peuvent être obligés de nager sur de plus longues distances, ce qui leur permet de disposer de plus de nourriture

**B. Rejet de produits chimiques :**

Au prétraitement de l'eau alimentaire et après le post-traitement de l'eau produite, toutes les usines de dessalement utilisent des produits chimiques. Plusieurs produits sont principalement employés en tant qu'agents biocides et antisalissures, ce qui entraîne une modification de la composition de la saumure concentrée. Certains métaux, produits de corrosion, ont aussi un impact sur les caractéristiques et la composition de la saumure. Ces produits diffèrent pour les principales méthodes de dessalement, telles que le MSF et l'osmose inverse. Les substances chimiques déversées dans l'environnement marin font partie des catégories suivantes :

**➤ Produits de corrosion :**

Les produits de corrosion ne sont pas importants dans le procédé OI car ils se produisent à température ambiante et les parties métalliques du système sont majoritairement en acier inoxydable.

**➤ Agents antitartres :**

La présence de calcaire à la surface des matériaux de dessalement industriel. La présence de tartre engendre inévitablement des problèmes d'exploitation et/ou une diminution de la productivité. L'acide sulfurique est employé en association avec des adjuvants polymères dans les usines OI afin d'éviter la formation de tartre dans les usines RO.

**➤ Agents antisalissure :**

Les salissures « fouling » sont un processus à plusieurs étapes impliquant de multiples groupes d'organismes. Au début, ils adsorbent des substances polymères provenant de l'eau brute sur des surfaces solides, ce qui crée un film préliminaire pour la colonisation bactérienne. Les périphytes se fixent d'abord sur ce biofilm, suivis des microalgues, des protozoaires et des champignons, et enfin des débris et des particules inorganiques. Depuis longtemps, on utilise des composés chlorés pour désinfecter les systèmes d'approvisionnement en eau de mer et les installations préventives afin d'éviter toute contamination. On y ajoute fréquemment du chlore.

**➤ Agents antimousses :**

Le développement de la mousse est lié aux composants organiques de l'eau de mer, principalement des produits d'excrétion et de dégradation d'algues planctoniques, ce qui nécessite l'ajout d'antioxydants dans le cas de l'OI.

### C. Rejet des eaux de lavage à contre-courant des membranes :

Le nettoyage et le stockage dans les usines RO peuvent produire des eaux potentiellement dangereuses. Les membranes doivent être nettoyées tous les trois à six mois, en fonction de la qualité de l'eau d'alimentation et du fonctionnement de l'usine. Les produits chimiques utilisés pour nettoyer la membrane sont généralement des solutions alcalines ou acides aqueuses. De plus, si les membranes sont stockées pendant la fermeture de l'usine, la solution chimique de préservation (généralement à base de bisulfite de sodium) doit être utilisée.

### D. Les émissions atmosphériques :

En général, il est nécessaire d'associer une unité de dessalement à une unité de production d'énergie. Il est évident que cette dernière produit une grande quantité de gaz à effet de serre, qui auront des conséquences néfastes sur le climat et le cycle de l'eau. Certaines personnes redoutent que la multiplication des usines de dessalement ne provoque une relance à grande échelle de la construction de centrales nucléaires : chaque unité de dessalement serait accompagnée de son unité nucléaire « spéciale ». Étant donné que les émissions d'un processus de dessalement sont directement liées à ses besoins respectifs en énergie, il est évident que les émissions de l'OI sont inférieures à celles de la MSF.

#### VI.2.2. Mesures d'atténuation des impacts sur les ressources marines :

Pour réduire les impacts sur les ressources marines, plusieurs mesures d'atténuation sont proposées : d'abord, il est essentiel de cartographier l'environnement sous-marin à protéger dans toute la région. Ensuite, l'échantillonnage de l'eau de mer et la sélection des zones de rejet doivent être effectués avec soin pour préserver la flore et la faune marines, en évitant les zones sensibles. Le système de prélèvement d'eau doit être conçu pour minimiser les risques de heurt et de piégeage. Le choix et la conception de l'émissaire doivent assurer des taux de mélange et de dilution adéquats afin de réduire au minimum les effets négatifs. L'emplacement de l'émissaire doit être en haute mer, évitant les estuaires et autres zones à faible circulation d'eau.

Il est recommandé d'utiliser des techniques de traitement initial pour limiter l'usage de produits chimiques dangereux et d'adopter une bonne technique de post-traitement pour prévenir la contamination. Il est également conseillé de laisser un laps de temps suffisant entre les nettoyages réguliers des membranes en raison de leur mauvaise performance. Lorsque possible, les substances dangereuses doivent être retirées du flux de saumure avant son rejet pour créer un bassin neutre. Il est préconisé de prévoir un bassin d'évaporation pour la saumure et la récupération du sel. La dilution des saumures avec de l'eau de mer (1 volume de saumure pour 2 à 4 volumes d'eau de mer) peut constituer une solution satisfaisante dans les zones à protéger et à potentiel limité.

### VI.3. Recommandations d'ordre général :

Avant de décider de construire une usine de dessalement, les autorités nationales devraient explorer toutes les options disponibles pour l'approvisionnement en eau afin de confirmer la nécessité réelle de cette infrastructure.

**a) Consommation d'énergie :** Pour les nouveaux projets d'usines de dessalement, il est crucial d'évaluer les technologies de production combinée (eau et électricité), les sources d'énergie alternatives et les méthodes visant à réduire la consommation d'énergie. L'intégration des énergies renouvelables jouera un rôle déterminant dans la préservation de l'environnement.

**b) Produits chimiques dangereux :** Il est primordial de privilégier les technologies et les procédés qui minimisent les rejets de produits chimiques dangereux dans la mer. Le nettoyage et le traitement des équipements de l'usine devraient se faire en utilisant des produits respectueux de l'environnement.

**c) Dilution des rejets :** Il est recommandé d'étudier des solutions telles que le mélange de la saumure avec les rejets d'eau de refroidissement des centrales pour réduire au minimum les impacts environnementaux. Cette approche permet de maintenir un indice de dilution efficace.

**d) Étude d'impact sur l'environnement :** Avant de procéder à la construction d'une nouvelle usine de dessalement, il est impératif de réaliser une étude d'impact environnemental approfondie, incluant la sélection du site. Les critères de sélection du site doivent prendre en considération la qualité de l'eau marine disponible et réduire les risques de contamination associés aux activités voisines. De plus, le site choisi devrait être proche d'une infrastructure de distribution d'eau existante pour faciliter le raccordement au réseau.

Les informations sur les impacts potentiels des rejets prévus sur les ressources marines doivent être obtenues à partir de surveillances effectuées avant la mise en service et des résultats de la surveillance continue des autres usines de dessalement.

#### VI.4. L'élimination de la saumure :

Dans la plupart des cas, la méthode la plus courante pour se débarrasser de la saumure, qui représente entre 55 et 70% du débit d'eau entrant, est de la rejeter directement dans la mer via une conduite d'évacuation. La concentration en saumure varie généralement entre 50 et 75 g/L et sa densité est beaucoup plus élevée que celle de l'eau de mer. Par conséquent, lorsqu'elle est déversée, la saumure forme un panache dense qui se dépose au fond marin près de la sortie de la conduite, pouvant avoir des effets néfastes sur la faune, la flore marine et potentiellement sur les activités humaines. Il existe trois approches principales pour gérer l'élimination de la saumure :

- ❖ Mélange
- ❖ Dilution
- ❖ Diffusion

Pour minimiser l'impact du panache, il est recommandé de positionner la sortie de la conduite à une profondeur où les courants marins sont forts, favorisant ainsi le mélange de la saumure avec l'eau de mer. La dispersion de l'eau salée peut être effectuée à l'aide d'une conduite perforée installée au fond de la mer. Le diffuseur est équipé de vannes anti-retours en caoutchouc. Une pompe de refoulement doit être installée pour garantir une pression adéquate. Lorsqu'il est nécessaire de respecter une limite maximale de rejet (généralement 10 % au-dessus du niveau de la mer), une solution consiste à réduire l'utilisation d'eau et à limiter d'autres sources d'eau de surface, telles que :

- Eau douce (rivière) si l'installation est proche d'un delta
- Effluent d'eau usée rejeté dans la mer.
- Eau de mer provenant de la pompe d'alimentation, qui nécessite une grande capacité pour retenir l'eau de mer.

## CHAPITRE VII : Gestion et valorisation de la saumure

### Introduction :

Pour réduire les impacts environnementaux de la saumure et leur rejet en mer, il est important d'apprendre comment réduire la salinité ou une valorisation de saumure.

La saumure des usines de dessalement est généralement jetée directement dans la mer ou ajoutée aux rejets de l'eau de refroidissement des centrales ou aux effluents des stations d'épuration. Au cours de ce chapitre, nous avons examiné la possibilité de trois méthodes de gestion des saumures pour une station de dessalement de bateau endommagé, à savoir :

1. La dilution avec un effluent de station d'épuration, avec l'eau de pluie, ou avec l'eau de mer
2. L'évaporation de la saumure (marais salants)
3. Le Rejet direct dans les milieux marins.

### VII.1. GESTION DE LA SAUMURE DES USINES DE DESSALEMENT :

La gestion de la saumure, un sous-produit inévitable des usines de dessalement, est essentielle pour minimiser son impact environnemental potentiel. Voici quelques stratégies et techniques utilisées pour gérer la saumure :

#### VII.1.1. Dilution de la saumure

Puisque les rejets de saumures ne sont pas régulés, la saumure des usines de dessalement est généralement rejetée directement dans la mer ou ajoutée aux rejets de l'eau de refroidissement des centrales ou aux effluents des stations d'épuration.

##### A. Dilution avec un effluent de stations d'épuration :

Il est préférable de mélanger la saumure avec les effluents des stations d'épuration plutôt que de les rejeter directement dans la mer. Ainsi, nous allons effectuer l'analyse de faisabilité de ce mélange en utilisant notre usine de dessalement de Bateau Cassée.

##### • Calcul du taux de dilution :

Le taux de dilution peut être calculé en se basant sur les débits de rejet des stations d'épuration et de la saumure  $Q_{\text{rejet saumure}} = 237885 \text{ m}^3/\text{j}$  de l'usine de bateau cassée (tableau VII.1).

**Tableau VII.1 :** taux de dilution de la saumure par les eaux épurées.

Station	Débit de rejet $\text{m}^3/\text{j}$	Débit total $\text{m}^3/\text{j}$	Le taux de dilution
Reghaia	75 000	225 000	0.94
Baraki	150 000		

La concentration de la saumure après la dilution :

$$C = \frac{M}{V} \quad C = \frac{64.78 \times 12885}{(12885 + 225\,000)} = 35,08797528 \text{ g/l}$$

C : concentration de la saumure (g /l).

M : la masse journalière des sels (g/j).

V : Volume journalier après la dilution (l/j).

Selon la dilution de la saumure, on constate une diminution de sa concentration jusqu'à 35,08 g/l.

Étant donné que certaines stations d'épuration sont éloignées de l'usine, il serait impossible de construire une conduite jusqu'à l'usine, ce qui entraînerait un coût économique très élevé. Par conséquent, nous avons conclu que cette approche de dilution des saumures ne sera possible qu'après une analyse technico-économique approfondie.

### B. Récupération des eaux de pluie :

Un système de collecte et de stockage de l'eau pluviale est appelé récupération d'eau de pluie, qui permet de l'utiliser ultérieurement. Pour atteindre cet objectif, il est indispensable de mettre en place une installation particulière, dont la complexité peut fluctuer en fonction de l'utilisation finale.

Dans de nombreux cas, cette pratique est motivée par des considérations économiques ou écologiques. Cependant, elle devient indispensable dans certains contextes pour compenser une alimentation en eau courante insuffisante, défaillante, voire inexistante.

Les facteurs à prendre en compte comprennent :

- Le volume d'eau récupérable
- La surface de toiture de l'usine
- Les précipitations
- La qualité de l'air.

La relation suivante définit le volume d'eau récupérable :

$$V_{\text{récupérable}} = P.S. Cr. Cf$$

Avec :

- S : la surface de toiture en m<sup>2</sup>
- P : la précipitation annuelle en m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/an
- Cr : le coefficient de restitution (coefficient de ruissellement)
- Cf : le rendement hydraulique du système de filtration
- V : le volume récupérable en m<sup>3</sup>/an

**Tableau VII.2 :** Coefficient de restitution

Type de toiture	Coefficient de restitution (Cr)
Toit en matière dure (tuile, ardoise...) en pente	0,9
Toit ondulé en pente	0,8
Toiture en gravier	0,6
Toiture végétalisée	0,5
Panneaux photovoltaïques	0,75

**Tableau VII.3:** Volumes mensuels récupérables.

mois	janvier	février	mars	Avril	mai	juin	juillet	août	septembre	octobre	novembre	décembre
Précipitation (mm)	60,5	56,8	43,2	39,6	29,9	8,7	2,5	6,7	23,7	41,1	64,7	68,1
Volume récupérable (m3/mois)	3214,06	3017,5	2295	2013,75	1588,43	462,18	132,81	355,93	1259,06	2183,43	3437,18	3617,81

La surface de l'usine :  $S = 6.25$  hectares. Le coefficient de ruissèlement moyen :  $Cr = 0,85$

À partir des résultats obtenus, il est clair que le volume de pluie récupérable est très limité, estimé à environ  $1964.762 \text{ m}^3/\text{an}$  (tableau VII.3), tandis que le débit de rejets de saumures atteint  $12,885 \text{ m}^3/\text{jour}$ . En conséquence, il est évident que la dilution par l'eau de pluie n'est pas envisageable.

### C. La dilution de la saumure avec l'eau de mer :

L'élimination de la saumure représente un défi environnemental crucial lors de l'installation d'une unité de dessalement. Dans la plupart des cas, la méthode la plus fréquemment utilisée pour traiter le flux important de saumure (qui constitue 70 à 55% du débit total) est de la rejeter directement sur le fond marin près de la sortie de la conduite, formant ainsi un panache très salé. Cette approche, due à la concentration élevée de 60 à 90 g/L et à la densité supérieure à celle de l'eau de mer, peut avoir des répercussions négatives sur la faune, la flore marine et les activités environnantes.

Trois stratégies concrètes sont couramment envisagées pour gérer cette saumure :

1. Pour minimiser l'effet de panache, il est recommandé de positionner la sortie de la conduite dans une zone à fort courant, ce qui favorise un mélange efficace de la saumure avec l'eau de mer environnante.

2. Une méthode alternative consiste à diffuser la saumure à travers une conduite perforée installée sur le fond marin. Cette conduite est équipée de diffuseurs munis de vannes anti-retour en caoutchouc. Une pompe de refoulement est nécessaire pour maintenir une pression adéquate.

3. Lorsqu'il est impératif de respecter des normes strictes de déversement (ne dépassant pas 10% de la salinité de l'eau de mer), il est envisageable de diluer la saumure avec une autre source d'eau en amont. Cela peut inclure de l'eau douce provenant de cours d'eau situés à proximité de deltas, des effluents d'eaux usées déversés en mer, ou même de l'eau de mer prélevée à partir d'une pompe d'alimentation nécessitant une capacité accrue de prélèvement.

$$X_s Q_s + X_{\text{mer}} Q_{\text{mer}} = X_{\text{rejet}} Q_{\text{rejet}}$$

$$Q_{\text{rejet}} = Q_2 + Q_s$$

$$X_{\text{rejet}} Q_s + X_{\text{rejet}} Q_{\text{mer}} = X_s Q_s + X_{\text{mer}} Q_{\text{mer}}$$

$$Q_s X_{\text{rejet}} - Q_s X_s = X_{\text{mer}} Q_{\text{mer}} - Q_{\text{mer}} X_{\text{rejet}}$$

$$Q_{\text{mer}} = \frac{X_{\text{rejet}} \times Q_s - X_s \times Q_s}{X_{\text{mer}} - X_{\text{rejet}}}$$

Définition des données :

$X_s$  : concentration de la saumure. (g/l)

$X_{\text{mer}}$  : concentration de l'eau de mer. (g/l)

$X_{\text{rejet}}$  : concentration de rejet. (g/l)

$Q_s$  : débit de saumure. ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

$Q_{\text{mer}}$  : débit de l'eau de mer. (Débit de dilution)

$Q_{\text{rejet}}$ : débit de rejet. ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

$$Q_{\text{mer}} = \frac{12885 \times (40.52 - 64.78)}{(36.84 - 40.52)} = 84836,74267 \text{ m}^3/\text{j}$$

Pour assurer une dilution complète de la saumure avant son rejet, un débit total de 84,836.74267  $\text{m}^3/\text{jour}$  d'eau de mer est nécessaire. Ce débit doit être géré par un système de pompage, notamment une station de pompage équipée d'un dispositif de mélange intégré à la station de dessalement, considérée comme une infrastructure auxiliaire de la station principale.

Si l'on envisage de diluer un débit de saumure de 12,885  $\text{m}^3/\text{jour}$  avec un débit d'eau de mer de 84,836.74267  $\text{m}^3/\text{jour}$ , alors il est nécessaire de dimensionner un réservoir de mélange capable de gérer un débit total de rejet de 97,721.74267  $\text{m}^3/\text{jour}$ . Cela implique également l'installation d'une station de pompage pour l'eau de mer équipée de deux conduites.

Après une analyse technico-économique, cette solution s'avère peu rentable, surtout dans le contexte actuel de notre station où deux réservoirs sont déjà en place. Par conséquent, il serait envisageable de dimensionner un autre ouvrage à partir de notre réservoir surélevé situé dans la station bateau.

## VII.2. VALORISATION DES SAUMURES :

Un marais salant est un site côtier spécialisé dans la production de sel à partir d'eau de mer, qui contient généralement entre 2 et 3 % de sel dissous. L'eau de mer est acheminée vers une série de bassins à différents niveaux à travers un système de vannes. Sous l'effet de l'évaporation causée par le soleil et le vent, la concentration en sel dans l'eau augmente progressivement. Au fur et à mesure que l'eau traverse ces bassins en suivant une pente naturelle, son épaisseur diminue et le sel se cristallise, formant une couche sur les fonds des bassins, également appelés œillets. Une fois que le sel est suffisamment sec, il est prêt à être récolté.

En résumé, les marais salants sont des installations côtières conçues pour la production de sel par cristallisation, en exploitant l'évaporation naturelle de l'eau de mer grâce à l'action combinée du soleil et du vent.

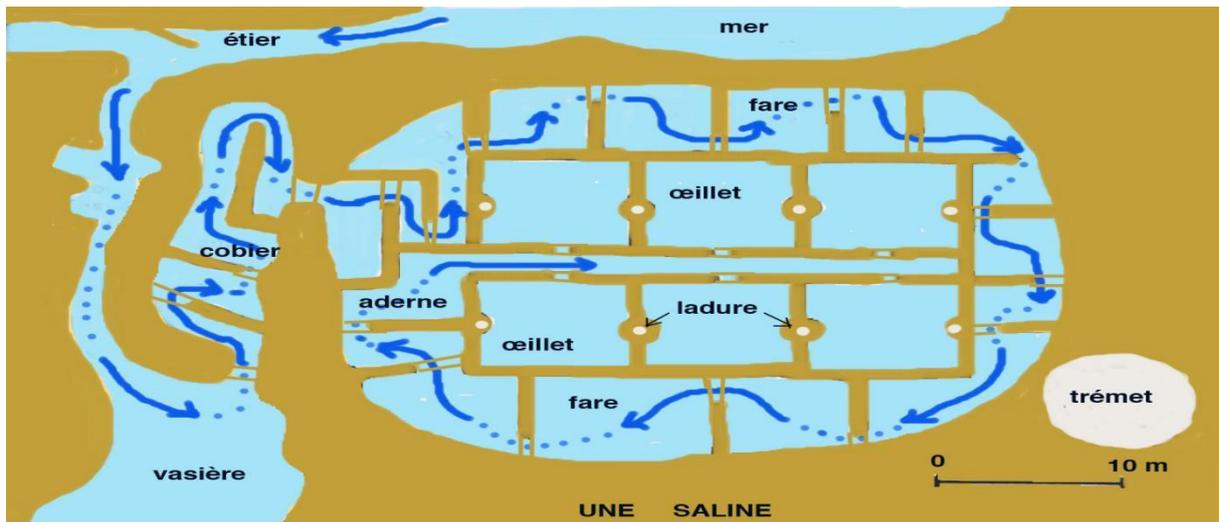


Figure VII.1 : schéma d'un salin

- Le marais se remplit d'eau de mer par un canal nommé l'étier.
- Le réservoir du marais, la vasière ou le vasais est alimenté par l'étier. Elle est profonde de 20 à 60 cm. On y débarrasse l'eau de mer de la vase, des algues et des poissons
- L'eau s'écoule ensuite à travers un cobier où l'évacuation se poursuit. Certains matériaux n'ont pas de cobier.
- De l'eau purifiée peut alors être appliquée, en continuant dans les fards, où par réchauffage solaire.
- L'eau s'écoule ensuite à travers l'aderne où la chaleur continue. Aderne est également utilisé pour nourrir quotidiennement les œillets.
- Enfin, l'eau entre dans l'œillet où le sel est cristallisé. Les œillets sont disposés d'un côté d'un petit canal qui émet. Le fond de l'œillet n'est pas plat mais convexe, au milieu il y a environ un centimètre d'eau, les bords sont environ 3 cm d'eau. Chaque jour, de l'eau est introduite dans l'œillet (environ 100 litres) et s'évapore pendant la journée.

Chaque partie de l'ouvrage salin est séparée des autres par levées de terres, tandis que vous divisez les différentes parties de l'ouvrage, vous pouvez vous déplacer avec la brouette. Ces levées sont percées de canalisations qui permettent à l'eau de s'écouler sans gêner le travail des ouvriers.

Tableau VII.4: Rôle et concentration en sortie de chaque bassin.

	Rôle	Concentration en sortie de bassin (valeurs indicatives)
Vasière	Stockage de l'eau de mer pour 2 semaines de fonctionnement	30 à 35 g/l
Matière	Décantation de la vase Concentration de la saumure	50 à 80 g/l
Farés	Concentration de la saumure Dépôts des carbonates	80 à 180 g/l
Champ du marais	Concentration de la saumure Dépôts des sulfates	180 à 280 g/l
Œillets	Concentration finale de la saumure pendant la cristallisation du NaCl	280 à 380 g/l

❖ **Surface nécessaire des marais salants**↳ **Formule de Rohwer :**

En prenant en considération l'influence du vent, on peut donc exprimer le taux d'évaporation E (en mm/jour) d'un plan d'eau pure en utilisant la formule synthétique suivante :

$$E=0,484*(1+0,6u) \exp (17,27.t (237,3+t)*(1-Hr100))$$

Avec : u (m/s) : vitesse du vent

t (°C) : température de l'air

Hr (%) : humidité relative de l'air

Calcul de l'évaporation E :

Conditions :

u = 2,32 m/s soit 8,35 km/h. t = 17,75 °C. Hr = 72,1 % .

Ainsi pour une surface d'1 m<sup>2</sup>,

$$E=2,38 \text{ mm/jour}$$

Application : Calcul de la surface des marais salants

$$Q_{\text{évap}}=Q_{\text{saumure}}*(1-C_{\text{saumure}}/330)$$

$$S=Q_{\text{évap}} / E$$

Dans le marais salant, lors de l'opération industrielle (OI), on constate un débit de 12 885 m<sup>3</sup>/j avec une teneur en sel de 64,78g/L. Afin d'obtenir la saturation dans les œillets, on maintient la concentration de saturation à 330 g/L, en veillant à ne pas dépasser 380 g/L.

Donc :

$$Q_{\text{évap}}=Q_{\text{saumure}}*[1- (C_{\text{saumure}} / 330)]$$

$$=12885* [1-(64,78/330)] =10\ 355,63545 \text{ m}^3/\text{j}$$

On obtient la superficie des marais salants en utilisant la relation suivante :

$$S= Q_{\text{évap}}*E^{-1}$$

S : Surface des marais salants (m<sup>2</sup>).

E : Evaporation (mm).

Q<sub>évap</sub> : Débits d'évaporation (m<sup>3</sup>/J).

$$S=10355,63545*(0,00238)^{-1} = 4351107,332\text{m}^2 = 435,11\text{ha}$$

Ainsi, pour le cas de l'osmose inverse, une superficie de 435,11 hectares est obtenue. La construction d'un marais salant n'est pas envisageable dans ce contexte. Cependant, elle pourrait être réalisée si l'osmose inverse est combinée à une démarche de désinfection membranaire.

L'option d'éviter les rejets en mettant en place des marais salants a été examinée, ce qui permettrait de réduire significativement l'impact environnemental de ces déversements. Les rejets de saumure, susceptibles de contenir des produits de corrosion tels que le chrome, le nickel, le molybdène, le cuivre, ainsi que des réactifs usés comme les anti rates, les antimousses, les produits anticorrosion et les coagulants, indiquent que le sel produit serait exclusivement destiné au déneigement.

En supposant un rendement de 100%, nous obtenons une production annuelle de sel de :

$$M_{\text{prod}} = Q_{\text{saumures}} * C_{\text{saumures}} * 365 = 304\,661,9595 \text{ Tonnes / An}$$

### **VII.3. Dimensionnement d'ouvrage de dilution :**

Pour réduire l'empreinte écologique des saumures et leurs émissions en mer, il est nécessaire d'étudier des méthodes de réduction de la concentration en sels ou de valorisation des saumures.

#### **VII.3.1. Site de rejet existant :**

La saumure de notre station est rejetée directement à la sortie de l'usine, à seulement 1 mètre de la côte, avec une longueur de 280 mètres. Aucun collecteur de rejet n'a été prévu pour recueillir cette saumure, ce qui rend sa dispersion loin d'être réalisée. Ce qui nuit à notre environnement marin.

#### **VII.3.2. L'emplacement de la conduite de rejet projetée :**

La conduite de rejet prévue s'étendra sur environ 500 m depuis la station jusqu'à un point de rejet situé dans une zone de fort courant marin afin de favoriser le mélange de la saumure avec l'eau de mer. Pour garantir l'efficacité et la stabilité d'installation, il est crucial de :

- Orienter la conduite de manière inclinée par rapport au sens des vagues plutôt perpendiculaire pour assurer une meilleure stabilité structurelle
- Positionner la conduite de rejet à une distance suffisante de celle d'aspiration, afin de prévenir toute interaction indésirable entre les deux systèmes.

#### **VII.3.3. La nature de l'écoulement :**

En s'appuyant sur la topographie du site, c'est-à-dire la différence d'altitude entre le point de rejet de l'usine et celui de la mer, une conduite gravitaire en charge est recommandée. Cette conduite sera soutenue par des pieuses et conçue pour maintenir une vitesse de circulation de la saumure suffisamment élevée afin de favoriser l'écoulement et d'éviter toute accumulation à l'intérieur. Les étapes à suivre pour la mise en œuvre d'un tel system :

- Détermination du diamètre optimal de la conduite
- Choisir type du tuyau à adéquat (matériaux) en fonction de la composition de l'eau
- Assurer la protection de la conduite contre les forces des vagues (stabilité de la conduite)

**VII.3.4. Choix du matériau :**

La sélection du matériau pour la construction de notre conduite de rejet repose principalement sur les aspects techniques et économiques.

On sélectionne en fonction de :

1. La qualité de l'eau de mer
2. La pression à laquelle elle est soumise
3. Dimensions du diamètre
4. Le prix par unité
5. La disponibilité

Au sein du projet, nous avons choisi de faire appel à une conduite en PEHD en raison des bénéfices qu'elle offre :

- Produit disponible sur le marché (produit local)
- Économique
- Une conduite hydrauliquement lisse avec une faible rugosité.
- Le soudage bout à bout est une méthode d'assemblage des tuyaux qui consiste à fusionner les extrémités de deux éléments tubulaires à l'aide d'une plaque chauffante.
- L'assemblage des tuyaux est adapté au milieu traversé par la canalisation (eau de mer).

**VII.3.5. Dimensionnement de la conduite :**

- Côte de départ à partir de l'usine  $C_u=8m$
- Côte d'arrivée au large  $C_l=-1m$
- Longueur de la conduite  $L= 500m$
- Le débit de rejet sortant de l'usine  $Q_r=0.149 m^3/s$

Étant donné que le diamètre demeure inconnu, nous faisons référence à la capacité de charge disponible.  $\Delta H_d= C_u- C_l=8-(-1) =9m$

En considérant le matériau utilisé et le type d'écoulement, on peut utiliser la formule de DARCY suivante pour calculer la perte de charge  $\Delta H$  :

$$\Delta H = \frac{K \cdot Q^\beta}{D^m} \cdot L$$

m : Exposant tenant compte du type du matériau ;

$\beta$  : Exposant tenant compte du régime d'écoulement ;

**Tableau VII.5:** Les valeurs de K, m et  $\beta$ . [23]

Tuyau	K	M	B
Acier	0,00179 à 0,001735	5,1 à 5,3	1,9 à 2
Fonte	0,00179 à 0,001735	5,1 à 5,3	1,9 à 2
Amiante ciment	0,00118	4,89	1.85
Plastique	0,001052	4,774	1.77

$$D = \sqrt[m]{\frac{KQ^\beta L}{\Delta H}}$$

$$D = \sqrt[4.774]{\frac{0.001052 * 0.149^{1.77} * 500}{9}} = 0.272mm$$

Le diamètre calculé,  $D=0,272$  m, se situe entre les diamètres intérieurs normalisés de 315 mm et 400 mm. Cependant, étant donné que le tronçon de conduite est court (500 m), nous évitons de proposer deux conduites en série avec ces diamètres normalisés. À la place, nous optons pour un seul diamètre qui permettra d'atteindre la vitesse d'écoulement requise de 1,5 m/s dans la conduite, conformément à l'équation de continuité :

$$Q=V \times S \text{ tel que } V=4Q/\pi D^2$$

Le tableau ci-dessous présente les vitesses calculées pour différents diamètres 277,6 mm et 352.6 mm.

**Tableau VII.6:** les vitesses calculées pour différents diamètres

Diamètre (mm)	Vitesse (m /s)
315 mm	2,46
400 mm	1,53

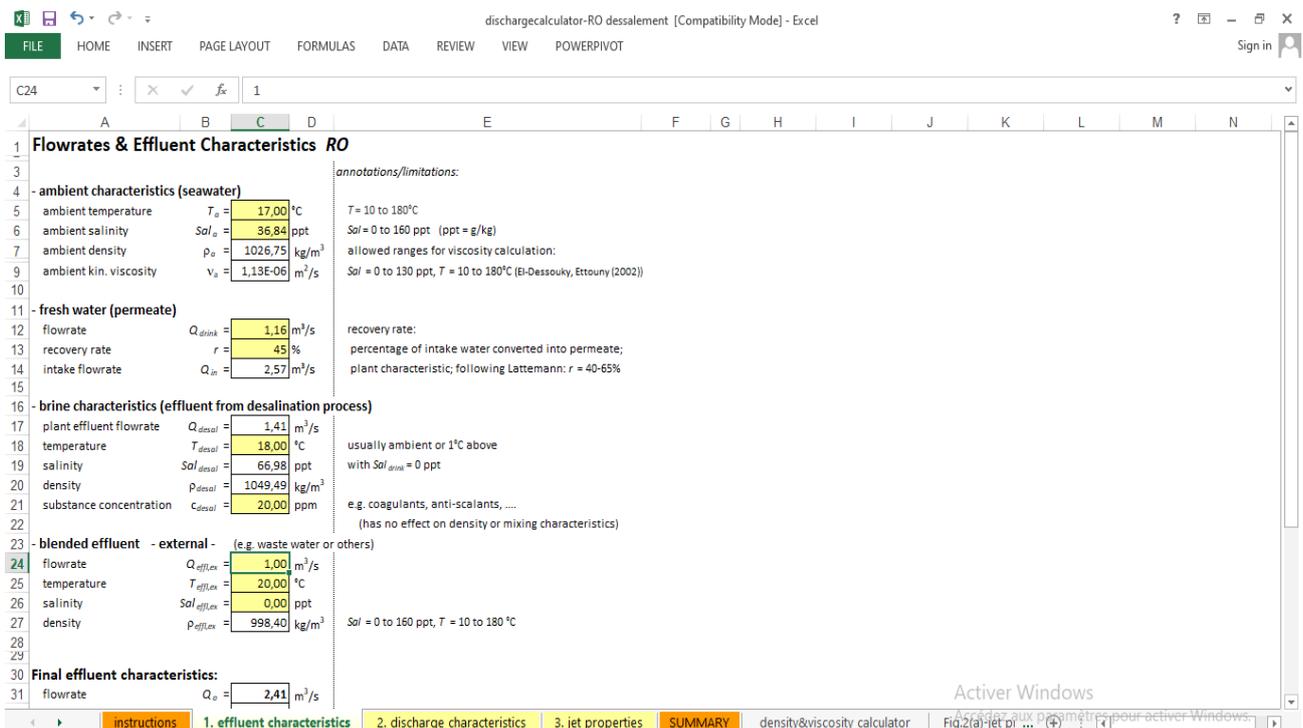
Donc on va choisir une conduite PEHD de diamètre 400 mm PN10.

### VII.3.6. Conception de diffuseur :

➤ **Les caractéristiques de l'effluent final :**

Pour analyser et déterminer les caractéristiques spécifiques de notre rejet (final effluents), nous avons utilisé le logiciel Excel. Ces photos décrivent les étapes et les méthodes appliquées lors de ce processus.

- Collecte des données : la température et la salinité et la densité, le débit pour chaque type d'eau (l'eau de mer et l'eau produite, la saumure)
- Organisation des données chaque l'eau avec ces caractéristiques
- Analyse des résultats.



**Figure VII.2 :** Capture d'écran de calcul des caractéristiques de rejet (Excel)

D'après les résultats on remarque que le rejet (final effluents) a une salinité de 39,24 kg/m<sup>3</sup> est supérieure à l'eau de mer de 6.6‰ et une température 18.83° donc c'est des valeurs acceptables

30	<b>Final effluent characteristics:</b>		
31	flowrate	$Q_o =$	2,41 m <sup>3</sup> /s
32	effluent temperature	$T_o =$	18,83 °C mean average
33	effluent salinity	$Sal_o =$	39,24 ppt mean average
34	effluent density	$\rho_o =$	1028,06 kg/m <sup>3</sup>
35	buoyant acceleration	$g_o' =$	-0,01253 m/s <sup>2</sup>
36	-> negatively buoyant, ok!		$g_o' = g \cdot ( \rho_s - \rho_o ) / \rho_o$
38	kin. viscosity	$\nu_o =$	1,08E-06 m <sup>2</sup> /s
39	allowed ranges for viscosity calculation: Sal = 0 to 130 ppt, T = 10 to 180°C (El-Dessouky, Ettouney (2002))		
40	substance concentration	$c_o =$	11,72 ppm

Figure VII.3 : final effluent caractéristiques

➤ Les caractéristiques de décharge :

A travers l'utilisation d'Excel nous entreprenons une analyse minutieuse des caractéristiques de décharge afin d'optimiser leur gestion, les captures d'écran illustrent clairement notre processus de calcul (figure VII.4) et (figure VII.5) et (figure VII.6) (figure VII.7)

1<sup>er</sup> cas : angle de décharge 60° et 40 portes de diamètre 250 mm.

The screenshot shows an Excel spreadsheet with the following data points:

- Ambient characteristics:**  $\rho_a = 1026,75$  kg/m<sup>3</sup>,  $g_o' = -0,01253$  m/s<sup>2</sup>,  $\theta_b = 45^\circ$
- Effluent characteristics:**  $Q_o = 2,41$  m<sup>3</sup>/s,  $\rho_o = 1028,06$  kg/m<sup>3</sup>,  $\nu_o = 1,08E-06$  m<sup>2</sup>/s
- Discharge characteristics:**  $\theta_o = 60^\circ$ ,  $U_o = 5,00$  m/s,  $n = 40$ ,  $D = 0,12$  m
- Calculated values:**  $Fr_o = 126,88$ ,  $Re_o = 5,72E+05$
- Formulas:**  $Fr_o = U_o / (g_o' \cdot D)^{1/2} = Q_o / (D^2 \cdot \pi / 4) / (g_o' \cdot D)^{1/2}$ ,  $Re_o = U_o \cdot D / \nu_o$

Figure VII.4 : Capture d'écran de calcul des caractéristiques de décharge de 1<sup>er</sup> cas

32	Choose an appropriate port diameter (DN according to ISO standard):		
34	port diameter	$D =$	0,25 m
37	<b>Final discharge characteristics:</b>		
38	port diameter	$D =$	0,25 m
39	number of openings	$n =$	40
40	discharge angle	$\theta_o =$	60°
41	flowrate (individual)	$Q_{o,ind} =$	0,06 m <sup>3</sup> /s
42	port discharge velocity	$U_o =$	1,23 m/s
43	dens. Froude Number	$Fr_o =$	21,97
44	Reynolds Number	$Re_o =$	2,83E+05
45	momentum flux	$M_o =$	0,07 m <sup>4</sup> /s <sup>2</sup>
46	buoyancy flux	$J_o =$	-0,001 m <sup>4</sup> /s <sup>3</sup>
47	discharge length scale	$L_Q =$	0,22 m
48	momentum length scale	$L_M =$	5,17 m
49	$M_o = U_o \cdot Q_o$ $J_o = g_o' \cdot Q_o$ (<0: negatively buoyant) $L_Q = (D^2 \cdot \pi / 4)^{1/2} = Q_o / M_o^{1/2}$ $L_M = M_o^{3/4} / J_o^{1/2}$		

Figure VII.5 : les caractéristiques de décharge de 1<sup>er</sup> cas

Les valeurs proposées dans ce cas il donnée une vitesse 1.23 m/s < 4m/s donc n'est pas acceptable mais avec un nombre de Froude très bon.

2<sup>eme</sup> cas : angle de décharge 30° et 40 portes de diamètre 125 mm.

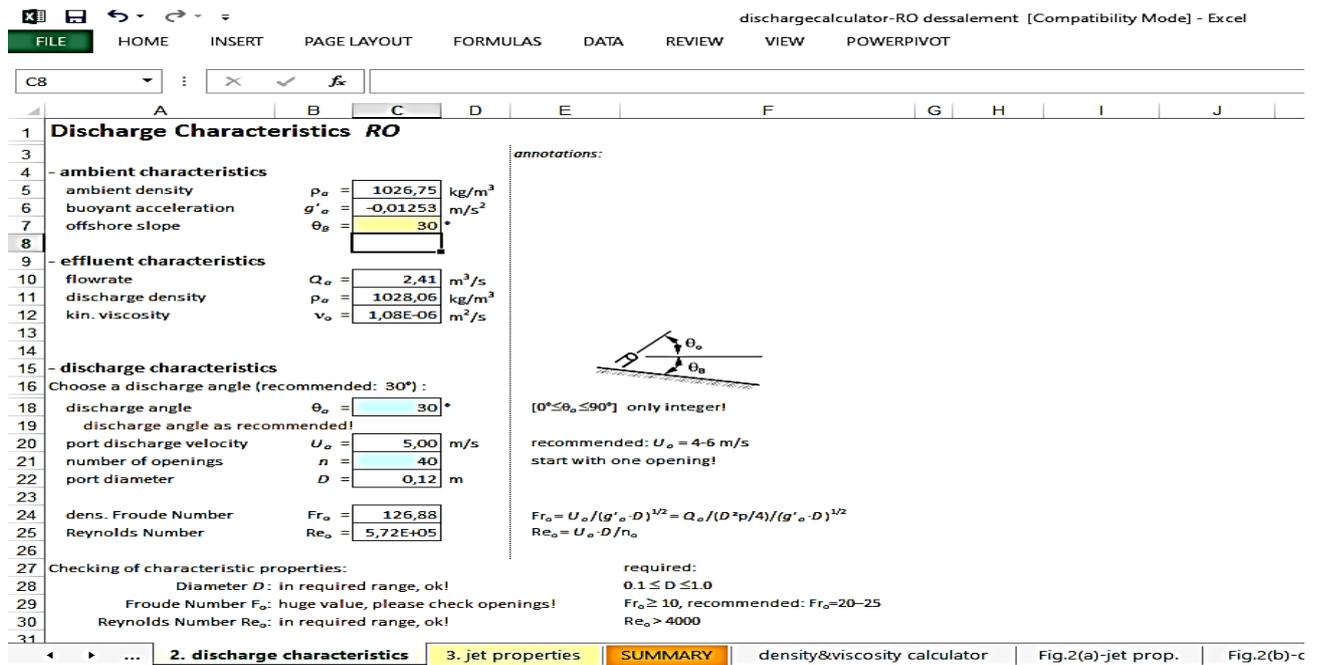


Figure VII.6 : Capture d'écran de calcul des caractéristiques de décharge de 2<sup>eme</sup> cas

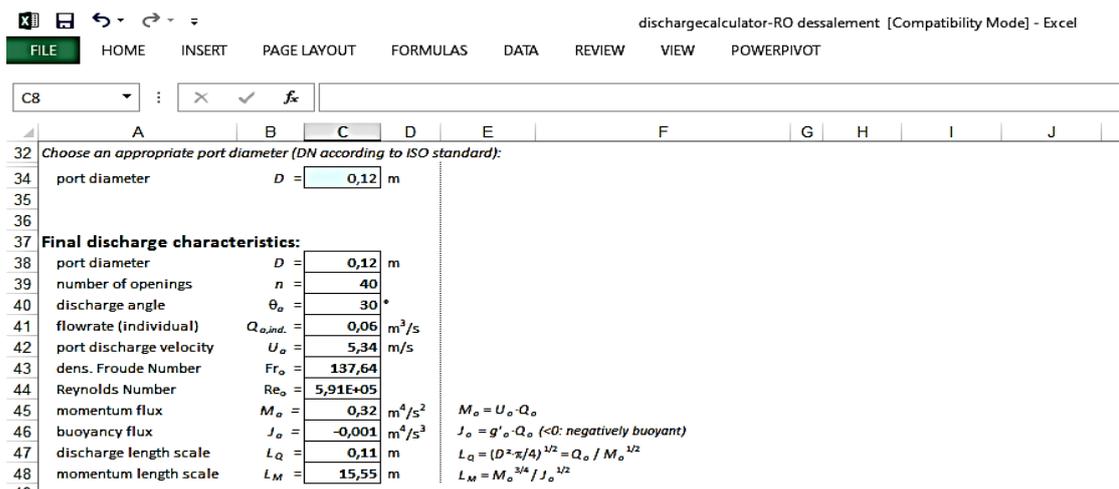


Figure VII.7 : les caractéristiques de décharge de 2<sup>eme</sup> cas

D'après les valeurs proposées, on a une vitesse très supportable 5.34 m/s et un nombre de Froude de 137.64 mais on peut dire qu'il est acceptable donc c'est le cas le plus favorable et le plus économique.

Donc notre diffuseur choisi contient 40 portes de diamètre 125 mm PN10 avec un débit 0.06 m<sup>3</sup>/s.

➤ Les propriétés de jet :

Pour avoir la zone de mélange dans l'eau de mer et la distance par rapporte au côtier et assure un éloignement de point de rejet de 600 m minimum par reporte la tour de prise.

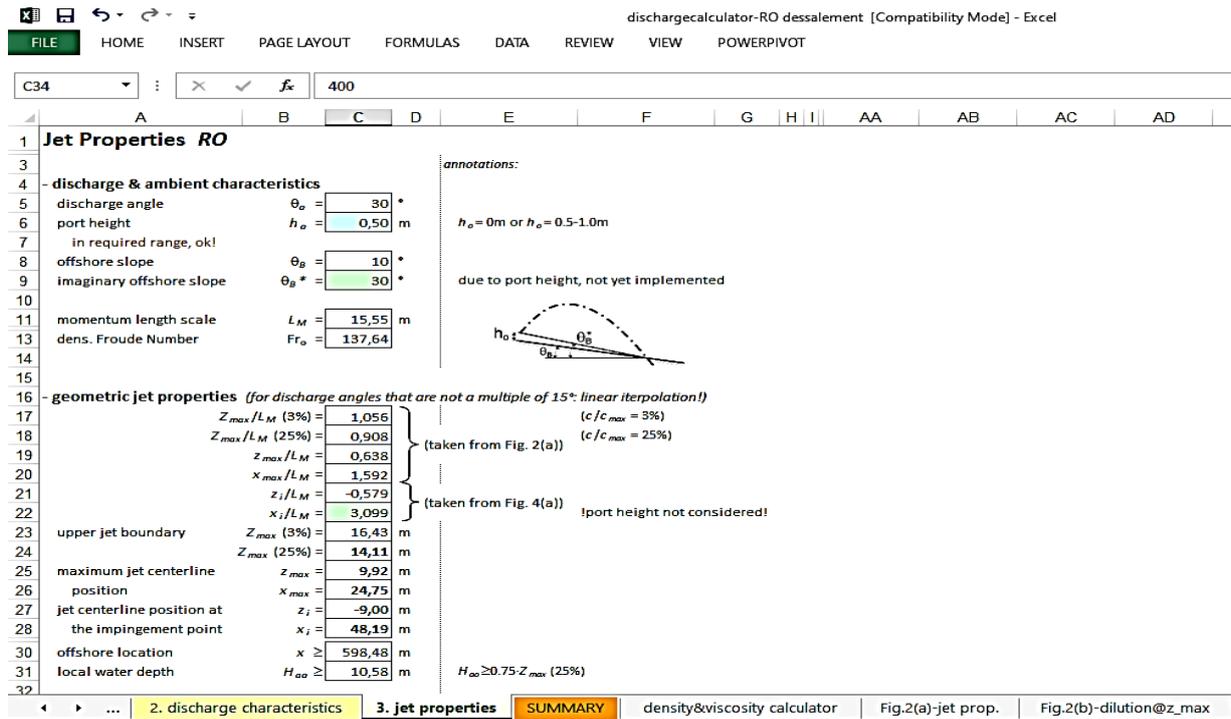


Figure VII.8 : Capture d'écran de calcul des propriétés de jet.

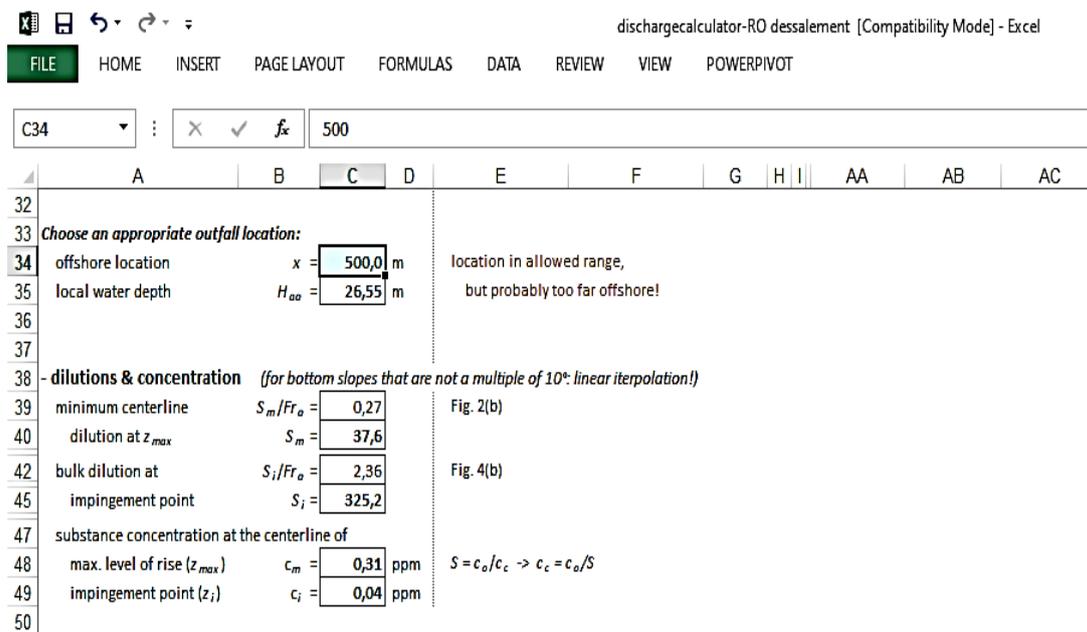


Figure VII.9 : les propriétés de jet.

➤ Les résultats finals :

Grâce à les calculs précédents on a tous les détails de notre diffuseur et la zone de mélange de la saumure avec l'eau de mer les figures montre toutes les caractéristiques de diffuseur et de jet.

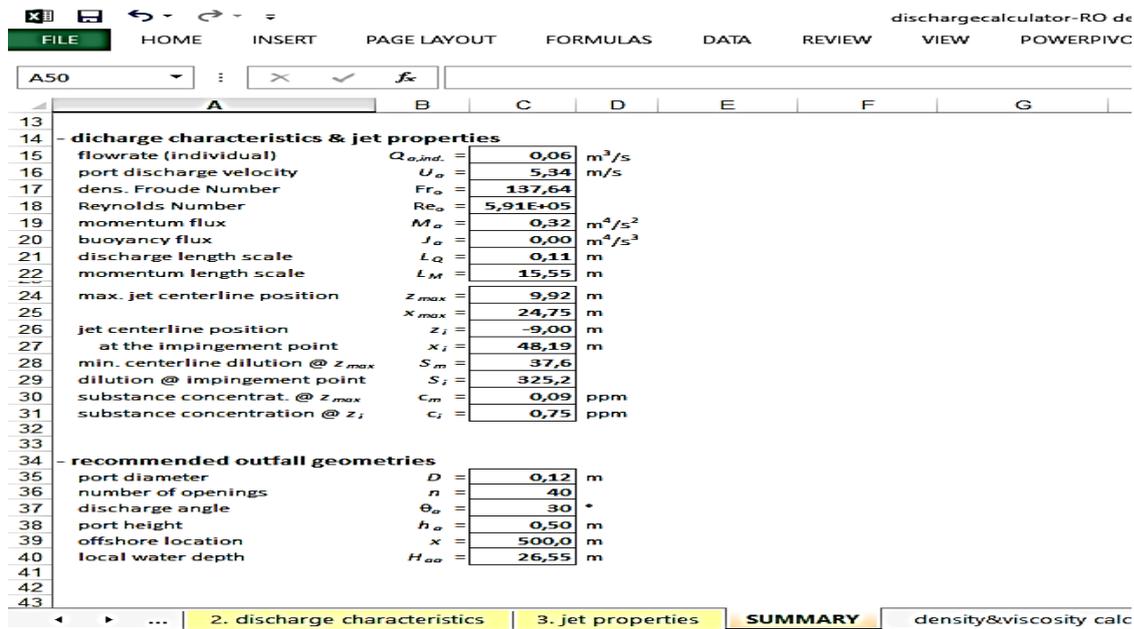


Figure VII.10: résumer de toutes les caractéristiques.

Tableau VII.7 : caractéristiques de diffuseur

Distance jusqu'à la cote de tronçon diffuseur	400m
Débit de rejet	0.06 m <sup>3</sup> /s
Diffuseurs	40
Longueur tronçon diffuseur	100m
Distance entre diffuseur	2.5m
Hauteur diffuseur	0.5m
Diamètre diffuseur	125 mm
Vitesse rejet	1.23 m/s
Angle de rejet	60°

**Conclusion :**

En conclusion de nos calculs sur les diffuseurs, il apparaît impératif d'ajuster l'angle de déversement par rapport à la verticale pour optimiser la trajectoire du rejet hyperdense et favoriser ainsi une dilution accrue avant son contact avec le fond marin. De plus, l'installation stratégique de systèmes de diffuseurs sur les ports de déversement s'avère essentielle pour améliorer la performance de l'opération de déversement et réduire son impact environnemental.

Dans le cas des stations qui n'ont pas de diffuseur, d'après la diffusion de la saumure dans l'eau de mer au fil du temps, nous avons noté que la dispersion du sel concentré est plus efficace en présence de vagues et de courants marins. Cependant, cette situation est associée à un impact moindre sur l'environnement.

### Conclusion générale :

En conclusion, le dessalement de l'eau représente un pilier essentiel dans la quête mondiale d'accès à une eau potable de qualité. Malgré ses avantages indéniables, le développement de technologies alternatives reste à un stade préliminaire, ce qui maintient la pertinence des méthodes conventionnelles. Toutefois, pour garantir la durabilité environnementale de ces procédés, il est impératif d'investir dans des solutions d'atténuation des impacts écologiques.

Dans cette étude, nous avons examiné l'impact du dessalement sur l'environnement à travers une série d'analyses physico-chimiques et biologiques. Les caractéristiques de l'eau de mer subissent des modifications pendant le processus de dessalement, en fonction des méthodes de prétraitement et des procédés utilisés. Les méthodes de prétraitement visant à prévenir l'accumulation de tartre et de salissures sont similaires pour les procédés de distillation et d'osmose inverse, mais diffèrent dans leur capacité à éliminer les particules en suspension (propre aux installations utilisant l'osmose inverse uniquement) ou à contrôler la corrosion et la formation de mousse dans les installations de distillation. Le choix du procédé exerce une influence significative sur la salinité des effluents, généralement plus élevée dans la saumure produite par osmose inverse, tandis que les effluents de distillation sont caractérisés par des températures élevées. En plus des produits chimiques de prétraitement, des solutions de lavage peuvent parfois être présentes dans les effluents, se mélangeant à la saumure. Chaque type d'effluent possède des propriétés pouvant entraîner des impacts sur l'écosystème marin, et le rejet combiné de ces effluents peut avoir des effets cumulatifs ou synergiques.

Nous avons confirmé que la concentration de la saumure rejetée est de deux à trois fois supérieure à celle de l'eau de mer, et qu'elle contient des éléments minéraux différents de ceux présents dans l'eau brute, en raison de l'ajout d'additifs lors du prétraitement. Ces différences ont permis de démontrer par la suite la rareté ou l'absence de certains micros algues dans les zones proches du rejet.

Notre étude a mis en évidence cet aspect négatif de la station de bateau casée, qui est un système "monobloc". Dans ce travail, Trois méthodes de gestion et de valorisation de la saumure ont été étudiées pour la station de dessalement par osmose inverse du Bateau Casée.

La méthode la plus économique et la plus réalisable consiste en une dilution optimale, observée dans des conditions moyennes de vent et de courant, utilisant un diffuseur de 100m de long avec 40 ports d'un diamètre de 0.125m. Cette configuration permet d'atteindre une concentration d'environ 38 g/l.

Étant donné que toutes les techniques de gestion et de valorisation des rejets des usines de dessalement de l'eau de mer demeurent coûteuses et incertaines en raison de leur dépendance des paramètres naturels variables tels que les vents, les vagues, les courants et la température, nous recommandons sérieusement d'envisager l'installation d'une infrastructure supplémentaire de dilution des saumures de dessalement avec de l'eau de mer avant leur rejet dans l'environnement marin. Cette approche éviterait l'utilisation d'un émissaire sous-marin, qui est à la fois coûteux et difficile à gérer, tout en assurant une dilution fiable et contrôlée.

---

## Les références :

- [1] Site MRE, mre.gov.dz (ministère des ressources en eau) données publiées. « La répartition des ressources en eau »
- [2] Bouchedja Abdellah ; «la politique nationale de l'eau en Algérie» ; Euro-RIOB 2012 10ème Conférence Internationale, Istanbul – Turquie – 17 au 19 Octobre 2012.
- [3] B.Remini, C. Leduc, et W.Hallouche ; «Evolution des grands barrages en régions arides : quelques exemples algériens» ; Article de recherche, Sécheresse 2009 ; 20 (1) : 96-103.
- [4] MORSLI Mebarka Soumia ; «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.
- [5] UNEP/MAP, « Dessalement de l'eau de mer en méditerranée évaluation et lignes directrices », MAP Technical Reports Series No. 139, Athens, 2003.
- [6] <https://www.energy.gov.dz/> (9/3/2024)
- [7] Samia AKLI, Slimane BEDRANI. Produire de l'eau par le dessalement ou en l'économisant grâce à l'adoption de l'irrigation localisée ?. Les Cahiers du CREAD n°96 /2011. pp. 51-70.
- [8] U. Caldera, D. Bogdanov, and C. Breyer, "Local cost of seawater RO desalination based on solar PV and wind energy: A global estimate," Desalination, vol. 385, pp. 207-216, 2016/05/02/ 2016.
- [9] [https://www.sciencesetavenir.fr/nature-environnement/a-la-sortie-des-usines-de-desalination-plus-de-rejets-toxiques-que-d-eau\\_130802](https://www.sciencesetavenir.fr/nature-environnement/a-la-sortie-des-usines-de-desalination-plus-de-rejets-toxiques-que-d-eau_130802) (7/3/2024)
- [10] <https://www.algerie-eco.com/2023/10/19/dessalement-en-algerie-energy-recovery-remporte-plusieurs-contrats-dune-valeur-de-28-millions/> (12-2-2024)
- [11] J. E. MILLER, "Review of Water Resources and Desalination Technologies, report, March 1, 2003 ; Albuquerque, New Mexico. (<https://digital.library.unt.edu/ark:/67531/metadc737585/>: accessed July 8, 2019), University of North Texas Libraries," no. Digital Library, <https://digital.library.unt.edu> ; crediting UNT Libraries Government Documents Department. , 2003.
- [12] A. Al-Karaghoul and L. L. Kazmerski, "Energy consumption and water production cost of conventional and renewable-energy-powered desalination processes," Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 24, pp. 343-356, 2013/08/01/ 2013.
- [13] A. Maurel, Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres : Et autres procédés non conventionnels d'approvisionnement en eau douce. Tec & Doc Lavoisier, 2006
- [14] C. Mata-Torres, A. Zurita, J. M. Cardemil, and R. A. Escobar, "Exergy cost and thermoeconomic analysis of a Rankine Cycle + Multi-Effect Distillation plant considering time-varying conditions," Energy Conversion and Management, vol. 192, pp. 114-132, 2019/07/15/ 2019.
- [15] P. B. Feraud, "Le dessalement de l'eau de mer - une solution à faible consommation d'énergie: la compression de vapeur." Desalination, vol. 30, no. Elsevier scientific Publishing Company, Amsterdam - Printed UN the Netherlands, p. 14, 1979.
-

- 
- [16] C. Hanshik, H. Jeong, K.-W. Jeong, and S.-H. Choi, "Improved productivity of the MSF (multi-stage flashing) desalination plant by increasing the TBT (top brine temperature)," *Energy*, vol. 107, pp. 683-692, 2016/07/15/ 2016.
- [17] V. RENAUDIN, « Le dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres » CNRS, Nancy 2003.
- [18] NICOS X. TSIOURTIS, « desalination and the environment » ; desalination vol 141, 2005.
- [19] H. M. N. AlMadani, "Water desalination by solar powered electro dialysis process," *Renewable Energy*, vol. 28, no. 12, pp. 1915-1924, 2003/10/01/ 2003.
- [20] « L'électrodésionisation de l'eau (EDI) », <http://www.lenntech.com.espanol.images-EDI>
- [21] Alain Maurel, « Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres », éditions Technique & Documentation, 2001
- [22] Arnoult et Fournier « Dessalement de l'eau de mer »,
- [23] Rovel , J.M., (2012), Dessalement de l'eau de mer, Technique de l'Ingénieur
- [24] MOUDJEB Miloud, « ETUDE DE LA STATION DE DESSALEMENT DE MOSTAGANEM », MEMOIRE DE MAGISTER, Faculté d'Architecture et de Génie Civil, Département Hydraulique, Université d'Oran, 2016.
- [25] F. VALLIRON, « Gestion des eaux: alimentation en eau d'assainissement », presses de l'école nationale des ponts et chaussées, Paris, 1989.
- [26] R. DESJARDINS, « Traitement des eaux ». Edition de l'école polytechnique de Montréal, 2ème édition 1997.
- [27] R.H. HECTOR, « Supervision et diagnostic des procédés de production d'eau potable », Thèse de Doctorat. Institut national de sciences appliquées de Toulouse, 2006.
- [28] J. B. CASTAING, « Procédés de traitement de l'eau de mer en conchyliculture pour la sauvegarde et le maintien de la qualité des mollusques bivalves ». Thèse de doctorat. Génie des procédés. Université de Nante, 2011
- [29] B. CHENAOUI, « Dessalement de l'eau de mer à la station de MAINIS et son impact sur l'environnement ». Séminaire Ouargla. Université de Chlef, 2010.
- [30] O. AUTRAND, « Le dessalement d'eau de mer : Un avenir pour l'eau potable ? », Février 2007.
- [31] NRC (2008) : Desalination : A National Perspective, Committee on Advancing Desalination Technology, Water Science and Technology Board, Division on Earth and Life Studies, National Research Council of the National Academies
- [32] <https://fr.weatherspark.com/> (22 mai 2024)
-