

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر وتهيئة الساحل

École Nationale Supérieure des Sciences de la Mer de l'Aménagement du Littoral



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME  
D'INGENIEUR ET MASTER EN SCIENCES DE LA MER

OPTION : ENVIRONNEMENT MARIN ET COTIER

THEME :

**Identification des paramètres des eaux brutes et des  
eaux produites, et suivi des rejets de saumures issus  
de la station de dessalement EL MARSA**

Présenté par :

**AYOUNE Aida Hoyam**

**CHEAIBI Noura Aouda**

Soutenu le 08/07/2024 devant le jury suivant :

<b>Mme. AKROUR AISSOU C</b>	<b>Maitre-Conférence A</b>	<b>Présidente</b>
<b>Mme. HOUMA BACHARI F</b>	<b>Professeur ENSSMAL</b>	<b>Promotrice</b>
<b>M. BOUTOBBA A</b>	<b>Représentant AEC SDEM El Marsa</b>	<b>Co-promoteur</b>
<b>M. DAHMANI H</b>	<b>Maitre-Assistant A USTHB</b>	<b>Examineur</b>

**Promotion : 2023/2024**

## **Remerciements**

*Le plus grand merci tout d'abord revient à Dieu qui, lui seul, nous a guidés dans le bon sens durant notre vie et qui nous a donné le courage, la volonté et la force pour élaborer ce travail de recherche.*

*Nous tenons à remercier infiniment notre promotrice, Madame **Houma Bachari Fouzia**, Professeur à l'ENSSMAL. Nous avons eu l'honneur et la chance de bénéficier de ses connaissances et compétences, de ses précieux conseils et de son suivi tout au long de notre parcours académique, malgré ses responsabilités administratives. Son sens élevé du devoir, son écoute constante et sa rigueur scientifique imposent l'estime et le respect. Nous vous remercions infiniment.*

*Nos remerciements les plus sincères et les plus profonds sont adressés à notre co-promoteur Monsieur **BOUTOBBA Abd el Ghafour**, Représentant AEC SDEM El Marsa, pour avoir apporté beaucoup d'informations et mis à notre disposition tous les moyens nécessaires pour comprendre le processus de dessalement de la station. Merci pour le temps que vous nous avez accordé tout au long de notre travail.*

*Nous souhaitons exprimer notre profonde gratitude à Monsieur **CHELOUCHE Moussa**, Directeur Qualité HSE (AEC), pour avoir dirigé notre stage. Nous avons eu le plaisir de travailler sous votre direction. Nous vous remercions pour votre gentillesse et la spontanéité avec lesquelles vous avez dirigé ce travail, ainsi que pour votre disponibilité et vos conseils.*

*Nos remerciements vont également à Madame **AARIFI Asma** et l'équipe de laboratoire de la station de dessalement El Marsa, pour nous avoir aidés.*

*Nous tenons à remercier Madame **AKROUR AISSOU Cherifa** Maitre-Conférence B à L'ENSSMAL d'avoir accepté de présider le jury de cette soutenance.*

*Nous s'adressons nos remerciements les plus vifs à Monsieur **DAHMANI Hocine** Maitre-Assistant A à l'USTHB pour avoir accepté d'examiner notre travail et de nous faire part de ces retours.*

*Nous exprimons nos remerciements à l'ensemble de la famille ENSSMAL (nos professeurs, amis et collègues depuis le début de l'aventure ENSSMAL en 2019 et l'ensemble de nos enseignants qui nous ont formés bien avant) qui nous ont apporté leur soutien moral et intellectuel tout au long de notre démarche.*

*Enfin, nous remercions toutes les personnes qui nous ont aidés de près ou de loin pour la réalisation de ce travail.*

## ***Dédicaces***

*À ma source de joie, maman,*

*Ton amour inconditionnel, ta bienveillance inépuisable et ton dévouement sans faille ont façonné la personne que je suis aujourd'hui. Chaque jour, tu m'inspires par ta force tranquille et ta générosité sans bornes. Tes prières et tes bénédictions m'ont portée tout au long de ce parcours académique, me donnant la force de surmonter les obstacles et d'atteindre mes objectifs. Tu as su être à la fois mon refuge dans les moments difficiles et ma plus fervente supportrice dans mes réussites. Ce travail, fruit de mes efforts, je te le dédie comme un humble témoignage de mon amour infini et de ma gratitude éternelle.*

*À mon père exceptionnel,*

*Les mots me manquent pour exprimer l'ampleur de mon amour, de ma reconnaissance et de mon respect à ton égard. Ce travail que je te dédie est l'aboutissement de tes innombrables sacrifices pour mon éducation et ma formation.*

*À mon cher frère Ahmed et mon adorable sœur Hanane,*

*À mon amie Sabrina et mes amis proches,*

*Votre amitié a enrichi mon parcours universitaire. Les moments partagés, les rires échangés et le soutien mutuel que nous nous sommes apportés ont rendu cette aventure inoubliable. Votre présence dans ma vie est une bénédiction, et je vous remercie du fond du cœur pour votre soutien moral et vos encouragements constants.*

*À ma binôme Hoyam,*

*Tu as été bien plus qu'une simple partenaire de projet. Ta patience, ton soutien moral et tes encouragements ont été essentiels à la réalisation de ce travail. Ensemble, nous avons partagé les succès et appris l'une de l'autre. Cette expérience partagée restera gravée dans ma mémoire comme un exemple de collaboration fructueuse et d'amitié sincère.*

*À tous ceux qui ont cru en moi et m'ont soutenue dans cette aventure académique, je dédie ce travail comme un témoignage de ma gratitude et de mon affection.*

***CHEAIBI Noura Aouda***

## ***Dédicaces***

*À mes parents,*

*Papa, Maman, votre amour et votre soutien indéfectibles ont été ma plus grande source de force. Merci pour vos sacrifices, votre confiance et pour m'avoir toujours encouragée à poursuivre mes rêves. Ce mémoire est le reflet de tout ce que vous avez investi en moi.*

*À mon frère et mes sœurs : Rached, Sirine, Dounia.*

*À mes grands-parents,*

*Vos prières et vos douaaas m'ont accompagnée tout au long de ce voyage. Merci pour votre amour, votre sagesse et votre bienveillance. Ce mémoire est aussi pour vous, avec toute ma gratitude et mon affection.*

*À ma deuxième famille,*

*Vous avez été une source immense de réconfort et de bonheur. Merci pour votre accueil chaleureux, votre soutien constant et vos encouragements sans faille. Vous avez rendu les moments difficiles plus supportables et les moments joyeux encore plus précieux. Votre présence dans ma vie est une bénédiction.*

*À mes amies,*

*Nous avons partagé ensemble tous les moments, bons ou mauvais. Votre amitié, votre soutien et votre présence constante ont été essentiels tout au long de ce parcours. Merci pour les rires, les larmes, et pour être toujours là les uns pour les autres. Je suis reconnaissante de vous avoir dans ma vie et vous souhaite une belle continuation.*

*À ma binôme Noura,*

*Merci pour ton soutien, ta patience et ta compréhension tout au long de ce travail.*

*Merci d'être ma copine de chambre, merci de m'avoir accompagné pendant ces trois années.*

*Un dédicace tout particulier à ma Super promotion de IEMC un par un. Ces 3 ans ont été riches en belles émotions sur beaucoup de plan, j'en garde des souvenirs impérissables.*

*À tous ceux qui ont cru en moi et m'ont soutenue dans cette aventure académique, je dédie ce travail en signe de ma profonde gratitude et de mon affection.*

***AYOUNE Aida Hoyam***

# SOMMAIRE

<i>Liste des figures</i> .....	8
<i>Liste des tableaux</i> .....	10
<i>Liste des abréviations</i> .....	11
<b>INTRODUCTION GENERALE</b> .....	<b>1</b>
<b>PARTIE THEORIQUE</b>	
<b>I. SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE</b> .....	<b>4</b>
<b>I.1. Eaux de mer et eaux saumâtres</b> .....	<b>5</b>
I.1.1. Eaux marines .....	5
I.1.2. Eaux saumâtres .....	6
<b>I.2. Caractéristiques physico-chimiques des eaux de mer</b> .....	<b>6</b>
I.2.1. Température .....	6
I.2.2. Potentiel Hydrogène (pH) .....	6
I.2.3. Conductivité .....	7
I.2.4. Salinité .....	7
I.2.5. L'oxygène dissous .....	8
I.2.6. Titre alcalimétrique simple (TA) .....	8
I.2.7. Titre alcalimétrique complet (TAC) .....	9
I.2.8. Les matières totales dissoutes (TDS) .....	9
I.2.9. Les chlorures .....	9
I.2.10. Dureté totale .....	9
<b>I.3. Les indicateurs de pollution</b> .....	<b>9</b>
I.3.1. Les matières en suspension (MES) .....	9
I.3.2. La turbidité .....	10
I.3.3. La matière organique (MO) .....	10
I.3.4. La demande chimique en oxygène (DCO) .....	10
I.3.5. La demande biologique en oxygène (DBO <sub>5</sub> ) .....	10
<b>I.4. Les polluants</b> .....	<b>11</b>
I.4.1. Les métaux lourds .....	11
I.4.2. Les hydrocarbures .....	11
<b>I.5. Les sels nutritifs</b> .....	<b>11</b>
<b>Différentes formes des sels nutritifs</b> .....	<b>12</b>
I.5.1. Azote .....	12
I.5.2. Ammonium (NH <sup>4+</sup> ) .....	12
I.5.3. Nitrates (NO <sup>3-</sup> ) .....	12
I.5.4. Nitrites (NO <sup>2-</sup> ) .....	12
I.5.5. Le silicium .....	12
I.5.6. Le phosphore .....	13
<b>I.6. Eau potable</b> .....	<b>13</b>
<b>II. LE DESSALEMENT ET SES CONCEPTS</b> .....	<b>14</b>

<b>II.1. Définition du dessalement</b>	<b>15</b>
<b>II.2. Le dessalement dans le monde</b>	<b>15</b>
<b>II.3. Situation hydrique en Algérie et besoin de dessalement</b>	<b>15</b>
<b>II.4. Le dessalement d'eau de mer en Algérie</b>	<b>16</b>
<b>II.5. Avantages et inconvénients du dessalement</b>	<b>16</b>
II.5.1. Avantages du dessalement	16
II.5.2. Inconvénients du dessalement	17
<b>II.6. Principe du dessalement de l'eau de mer</b>	<b>17</b>
<b>II.7. Les différentes technologies de dessalement</b>	<b>18</b>
II.7.1. Les procédés thermiques	18
II.7.2. Les procédés membranaires	20
<b>II.8. Les impacts de dessalement</b>	<b>24</b>
II.8.1. Origine et type des rejets	25
II.8.2. Effets des rejets	26
<b>II.9. Les techniques d'atténuation des impacts associés au dessalement</b>	<b>27</b>

## **PARTIE EXPERIMENTALE**

<b>III. ZONE D'ETUDE</b>	<b>28</b>
<b>Introduction</b>	<b>29</b>
<b>III.1. Présentation de la zone d'étude</b>	<b>29</b>
III.1.1. Situation géographique	29
III.2. Présentation générale de la station de dessalement	30
<b>III.3. Fonctionnement de la station</b>	<b>31</b>
III.3.1. Schéma synoptique de la station de dessalement El Marsa	32
III.3.2. La prise d'eau et le prétraitement	32
III.3.3. Osmose inverse	38
III.3.4. Post-traitement	38
III.3.5. Système de distribution	39
III.3.6. Système de rejet	40
<b>Conclusion</b>	<b>42</b>
<b>IV. MATERIELS ET METHODES</b>	<b>43</b>
<b>Introduction</b>	<b>44</b>
<b>IV.1. Caractérisation de la qualité des eaux (brute et produite) et des rejets</b>	<b>44</b>
IV.1.1. Prélèvement et échantillonnage	44
IV.1.3. Les paramètres à analyser	45
IV.1.4. Les protocoles des analyses effectuées au laboratoire	46
<b>V. RESULTATS ET DISCUSSIONS</b>	<b>54</b>

<b>V.1. Caractérisation de la qualité de l'eau brute, eau produite et des rejets de saumure</b>	<b>55</b>
V.1.1. Qualité de l'eau brute (eau de mer)	55
V.1.2. Qualité de l'eau traitée	62
V.1.3. Qualité de rejets de saumure	73
<b>CONCLUSION GENERALE</b>	<b>80</b>
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE</b>	<b>82</b>
<b>ANNEXES</b>	<b>87</b>
ANNEXE I	88
ANNEXE II	95
ANNEXE III	100
ANNEXE IV	106
ANNEXE V : BMC	120

## *Liste des figures*

<b>Figure II 1:</b> Technologies de dessalement les plus utilisées ( <b>FAWAL, 2016</b> ) .....	18
<b>Figure II 2:</b> Procédé de distillation d'eau de mer ( <a href="http://www.pedagogie.ac-nantes.fr">www.pedagogie.ac-nantes.fr</a> ) .....	19
<b>Figure II 3:</b> Procédé de distillation a multi-effets ( <a href="http://www.suezwaterhandbook.fr">www.suezwaterhandbook.fr</a> ) .....	19
<b>Figure II 4:</b> Procédé de distillation multi flash ( <b>Renaudin and Champion, 2003</b> ) .....	20
<b>Figure II 5:</b> Principe de fonctionnement de l'électrodialyse ( <a href="http://www.lenntech.fr">www.lenntech.fr</a> ) .....	20
<b>Figure II 6:</b> Principe de l'osmose inverse .....	21
<b>Figure II 7:</b> Schéma d'un module plan ( <b>AGGAB, 2014</b> ).....	23
<b>Figure II 8:</b> Schéma des modules tubulaires ( <a href="http://www.suezwaterhandbook.fr">www.suezwaterhandbook.fr</a> ) .....	23
<b>Figure II 9:</b> Schéma d'un module spiral en OI ( <a href="http://www.suezwaterhandbook.fr">www.suezwaterhandbook.fr</a> ) .....	24
<b>Figure II 10:</b> Modules fibre creuses ( <b>Berland and Juery, 2002</b> ) .....	24
<b>Figure III 1:</b> Localisation de la station dessalement d'EL Marsa ( <b>Photo prise par AYOUNE et CHEAIBI</b> ) .....	30
<b>Figure III 2:</b> SDEM El Marsa .....	31
<b>Figure III 3:</b> Schéma général d'une installation de dessalement d'eau de mer par osmose inverse .....	31
<b>Figure III 4:</b> Schéma synoptique de la SDEM El Marsa ( <b>Rapport interne AEC</b> ) .....	32
<b>Figure III 5:</b> Système de dégrillage installé au niveau de la station d'El Marsa ( <b>Photo prise par AYOUNE et CHEAIBI</b> ).....	33
<b>Figure III 6:</b> Système de filtre rotatif installé au niveau de la station d'EL Marsa ( <b>Photo prise par AYOUNE et CHEAIBI</b> ).....	34
<b>Figure III 7:</b> Système des Pompes aspirantes installés au niveau de la station d'El Marsa ( <b>Photo prise par AYOUNE et CHEAIBI</b> ) .....	35
<b>Figure III 8:</b> Lieu d'injection du coagulant et du floculant au niveau de la station d'El Marsa ..	36
<b>Figure III 9:</b> Système de filtration à cartouches installé au niveau de la station d'El Marsa ( <b>Photo prise par AYOUNE et CHEAIBI</b> ) .....	38
<b>Figure III 10:</b> station de pompage de l'eau traitée au niveau de la station d'El Marsa ( <b>Photo prise par AYOUNE et CHEAIBI</b> ) .....	40
<b>Figure III 11:</b> Canal d'évacuation de rejets au niveau de la station d'El Marsa ( <b>Photo prise par AYOUNE et CHEAIBI</b> ) .....	41
<b>Figure V 1:</b> Variation de la Température de l'eau brute de la SDEM El Marsa.....	56
<b>Figure V 2:</b> Variation de la conductivité de l'eau brute de la SDEM El Marsa .....	57
<b>Figure V 3:</b> Variation du potentiel d'hydrogène de l'eau brute de la SDEM El Marsa .....	58
<b>Figure V 4:</b> Variation de la Turbidité de l'eau brute de la SDEM El Marsa .....	59
<b>Figure V 5:</b> Variation de MES de l'eau brute de la SDEM El Marsa.....	60
<b>Figure V 6:</b> Variation des TDS de l'eau brute de la SDEM El Marsa .....	61
<b>Figure V 7:</b> Variation de la température de l'eau produite de la SDEM El Marsa .....	63
<b>Figure V 8:</b> Variation de la conductivité de l'eau produite de la SDEM El Marsa .....	64
<b>Figure V 9:</b> Variation du potentiel d'hydrogène de l'eau produite de la SDEM El Marsa .....	65
<b>Figure V 10:</b> Variation de la turbidité de l'eau produite de la SDEM El Marsa.....	66

<b>Figure V 11:</b> Variation du chlore résiduel de l'eau produite de la SDEM El Marsa .....	67
<b>Figure V 12:</b> Variation des TDS de l'eau produite de la SDEM El Marsa.....	68
<b>Figure V 13:</b> Variation de la dureté calcique de l'eau produite de la SDEM El Marsa.....	69
<b>Figure V 14:</b> Variation de la dureté totale de l'eau produite de la SDEM El Marsa .....	70
<b>Figure V 15:</b> Variation de l'alcalinité de l'eau produite de la SDEM El Marsa.....	71
<b>Figure V 16:</b> Variation de l'indice de Langelier de l'eau produite de la SDEM El Marsa .....	72
<b>Figure V 17:</b> Variation de la Température de rejets de saumure de la SDEM El Marsa .....	74
<b>Figure V 18:</b> Variation de la conductivité de rejets de saumure de la SDEM El Marsa.....	75
<b>Figure V 19:</b> Variation du potentiel d'hydrogène de rejets de saumure de la SDEM El Marsa...	76
<b>Figure V 20:</b> Variation de la Turbidité de rejets de saumure de la SDEM El Marsa.....	77
<b>Figure V 21:</b> Variation de MES de rejets de saumure de la SDEM El Marsa .....	78
<b>Figure V 22:</b> Variation des TDS de rejets de saumure de la SDEM El Marsa .....	79
<b>Figure 1:</b> les échangeurs de pression (ERD) et la pompe booster.....	95
<b>Figure 2:</b> système de nettoyage des membranes unité CIP .....	97
<b>Figure 3:</b> Agitateur .....	104
<b>Figure 4:</b> Dessiccateur.....	104
<b>Figure 5:</b> pH mètre .....	104
<b>Figure 6:</b> Multi-paramètres .....	104
<b>Figure 7:</b> Turbidimètre .....	104
<b>Figure 8:</b> photomètre .....	104
<b>Figure 9:</b> La hotte .....	105
<b>Figure 10:</b> Balance de précision.....	105
<b>Figure 11:</b> La pompe HP .....	105
<b>Figure 12:</b> Tubes de pression d'osmose inverse .....	105

## *Liste des tableaux*

<b>Tableau I 1:</b> Concentration des éléments majeurs présents dans une eau de mer de salinité 35g/L( <b>Copin-Montégut, 1996</b> ) .....	5
<b>Tableau I 2:</b> La salinité des différentes mers ( <b>MAUREL, 2006</b> ).....	8
<b>Tableau IV 1:</b> Sources de données recueillies .....	44
<b>Tableau 1:</b> Liste des stations en exploitation .....	89
<b>Tableau 2:</b> Liste des stations en exploitation réalisé dans le plan d'urgence.....	89
<b>Tableau 3:</b> Liste des méga-stations en cours de réalisation pour l'année 2024 .....	89
<b>Tableau 4:</b> Grille d'impacts néfastes sur l'environnement associé aux procédés de dessalement ( <b>AEC - Document interne, 2022</b> ).....	90
<b>Tableau 5:</b> Effets cumulatifs directs et indirects, temporaire et permanents, positifs et négatifs et mesure de réduction et de compensation.....	92
<b>Tableau 6:</b> paramètres avec valeurs limites( <b>JORA, 2014</b> ).....	106
<b>Tableau 7:</b> Paramètres avec valeurs indicatives( <b>JORA, 2014</b> ) .....	109

## *Liste des abréviations*

**°C** : Degré Celsius

**µm** : micro mètre

**AEC**: Algerian Energy Company

**ANF** : Agence Nationale de Fréquence

**Br<sup>-</sup>** : Bromure

**B<sub>total</sub>**: Bore total

**Ca<sup>2+</sup>**: calcium

**CaCO<sub>3</sub>** : Carbonate de calcium

**CaSO<sub>4</sub>** : Sulfate de calcium

**CIP** : Clean-In-Place

**Cl<sup>-</sup>** : Chlorure

**CO<sub>2</sub>** : Dioxyde de carbone

**CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>** : Carbonate

**E** : Est

**ERD** : Energy Recovery Device (Dispositif de Récupération d'Énergie)

**F**: Fluor

**HAM** : Hydrocarbures Aromatiques Monocycliques

**HAP** : Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques

**HCl** : Acide chlorhydrique

**HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>** : Bicarbonate

**HP** : Haute Pression

**K<sup>+</sup>**: Potassium

**KCl** : Chlorure de potassium

**Kg** : Kilogramme

**kWh/m<sup>3</sup>** : kilowatt-heure par mètre cube

**L** : Litre

**LSI** : Langelier Saturation Index

**m<sup>3</sup>/j** : Mètres cubes par jour

**MES** : Matières en suspension

**Mg<sup>2+</sup>**: Magnésium

**MgCO<sub>3</sub>** : Carbonate de magnésium

**min** : Minute

**ml**: Millilitre

**MO** : Matière Organique

**mS/cm** : MilliSiemens par centimètre (unité de conductivité électrique)

**MSF** : multi-étages flash

**N** : Nord

**Na<sup>+</sup>** sodium

**NaCl** : Chlorure de sodium

**NH<sub>3</sub>** : l'ammoniac

**NH<sup>4+</sup>** : l'ammonium

**NO<sup>3-</sup>** : nitrates

**NTU** : Néphélométrie

**O<sub>2</sub>** : Oxygène

**OI**: Osmos Invers

**OMS** : Organisation Mondiale de la santé

**pH** : Potentiel hydrogène

**PNUE** : Programme des Nations Unies pour l'Environnement

**ppm** : parties par millions

**PRV** : Polystère de fibre de verre

**RN** : Route Nationale

**SCADA**: Supervisory Control and Data Acquisition

**SDEM** : station de dessalement d'eau de mer

**SDI** : L'indice de colmatage des membranes

**SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>** : Ion sulfate

**Sr<sup>2+</sup>**: strontium

**TA** : Titre alcalimétrique

**TAC** : Titre alcalimétrique complet

**TDS** : Total des solides dissous

**UPS** : Unités pratiques de salinité

# **Introduction générale**

## **Introduction**

La politique du dessalement d'eau de mer en Algérie est placée au cœur de la préoccupation des hautes autorités de l'État, les ressources en eau illustrent mieux que tout autre secteur, le bond en avant spectaculaire réalisé par l'Algérie depuis le début des années 2000. En effet, le stress hydrique, qui a affecté le pays pendant les années 90, a amené les pouvoirs publics à engager un programme d'urgence pour la sécurisation des zones côtières en alimentation en eau potable par le recours au dessalement d'eau de mer. **(HOUMA BACHARI et al, 2018)**

Le dessalement se représente une solution efficace face au sérieux problème de pénurie d'eau, mais, cette solution représente une menace potentielle pour l'environnement à cause de la composition des rejets qui modifié les paramètres de la mer, qui influe également négativement sur la faune et la flore.

L'accès à l'eau potable est un défi mondial croissant, exacerbé par la croissance démographique, l'urbanisation et les changements climatiques. Cette problématique est particulièrement aiguë dans les zones côtières, où se concentre une part importante et grandissante de la population mondiale. L'Algérie, pays aux ressources hydriques limitées, illustre parfaitement cette situation critique. **(MEHTOUGUI, 2015)**

Caractérisée par un climat capricieux et une pluviométrie irrégulière oscillant entre 100 et 600 mm/an, l'Algérie fait face à un stress hydrique sévère **(PNUE, 2003)**. Ce défi menace son développement socio-économique, notamment dans les régions côtières densément peuplées et les zones agricoles nécessitant une irrigation intensive. Pour répondre à cette pénurie, le pays s'est tourné vers le dessalement de l'eau de mer comme solution stratégique.

Depuis le début des années 2000, l'Algérie a lancé un ambitieux programme de construction de stations de dessalement le long de son littoral. Ces installations, utilisant principalement la technologie de l'osmose inverse, visent à répondre aux besoins croissants en eau des populations urbaines et des activités industrielles et agricoles. **(“stations de dessalement de l'eau de mer,” 2021)**

Cependant, selon WWF (Fond Mondial pour la Nature), le dessalement n'est pas sans défis. Il nécessite des investissements considérables et une forte consommation énergétique. De plus, les rejets de saumures posent des risques environnementaux significatifs, notamment pour les écosystèmes marins.

Dans cette optique que s'inscrit notre étude, celle-ci vise à analyser en profondeur la situation du dessalement en Algérie, son contexte actuel et ses perspectives d'avenir. Nous nous concentrerons particulièrement sur les impacts environnementaux des installations existantes, en prenant comme cas d'étude la station de dessalement d'El-Marsa.

Notre recherche s'appuie sur une synthèse bibliographique approfondie, complétée par un stage pratique à la station d'El-Marsa. Cette expérience de terrain nous a permis d'observer concrètement le fonctionnement d'une installation de grande capacité et d'analyser les caractéristiques physico-chimiques des différents types d'eau impliqués dans le processus.

Notre objectif est d'approfondir la compréhension des procédés de dessalement et d'évaluer leur efficacité et leur impact, contribuant ainsi à l'optimisation future de ces installations cruciales pour l'approvisionnement en eau de l'Algérie.

Ce mémoire s'articule autour de cinq chapitres, de manière à fournir une compréhension complète du dessalement de l'eau de mer en Algérie, en se concentrant particulièrement sur la station de dessalement d'El-Marsa.

**Chapitre I : Synthèse bibliographique.** Ce chapitre est consacré à une revue exhaustive de la littérature sur l'eau de mer et ses caractéristiques, permettant de contextualiser notre étude dans le cadre des recherches existantes.

**Chapitre II : Le dessalement et ses concepts.** Ce chapitre détaille les principes et les technologies du dessalement, en mettant l'accent sur les méthodes employées en Algérie.

**Chapitre III : Présentation de la zone d'étude.** Ce chapitre introduit la zone d'étude, offrant une description détaillée de la station de dessalement d'El-Marsa et de son environnement.

**Chapitre IV : Matériels et méthodes.** Ce chapitre présente la méthodologie adoptée pour cette étude ainsi que les matériels utilisés, permettant de comprendre les étapes et les outils employés pour la collecte et l'analyse des données.

**Chapitre V : Résultats et discussions.** Ce chapitre est dédié à la présentation des résultats de notre étude, suivie d'une discussion approfondie de leurs implications.

Le mémoire se conclut par une synthèse de nos découvertes, accompagnée de recommandations pertinentes, et inclut une liste exhaustive des références bibliographiques consultées, soulignant ainsi la rigueur de notre approche académique.

**Chapitre :**

**I. Synthèse bibliographique**

**I.1. Eaux de mer et eaux saumâtres**

**I.1.1. Eaux marines**

L'eau de mer est la solution aqueuse la plus abondante sur Terre, recouvrant environ 71% de la surface terrestre. C'est une source d'eau brute utilisée lorsque l'eau douce n'est pas disponible. Sa principale caractéristique est sa salinité élevée, en moyenne 35 g/L ou 36 000 ppm, due à la présence de sels dissous (**Barnabé, 2016; Renaudin and Champion, 2003**).

L'eau de mer est essentiellement composée d'eau pure mais contient une concentration élevée en sels et d'autres substances en faibles quantités, la rendant impropre à la consommation et à l'agriculture. Elle est considérée comme une solution de 11 constituants majeurs par ordre d'importance décroissante : chlorure, sodium, sulfate, magnésium, calcium, potassium, bicarbonate, bromure, acide borique, carbonate et fluorure. Les principaux sels sont le sodium et le chlorure qui forment le chlorure de sodium, principal composant du "sel marin" (**TANSAKUL, 2009**).

L'eau de mer contient aussi des gaz dissous comme l'azote (64%), l'oxygène (34%) et le dioxyde de carbone (1,8%), ainsi que des oligo-éléments parfois toxiques comme l'arsenic, le mercure et le plomb. Elle renferme également des matières en suspension de 0,05 à 0,15 µm. Ses propriétés varient selon la température, la pression et sa composition chimique globale (**Renaudin and Champion, 2003**).

**Tableau I 1:** Concentration des éléments majeurs présents dans une eau de mer de salinité 35g/L(**Copin-Montégut, 1996**)

<b>Constituant</b>	<b>Concentration (mg/Kg)</b>
<b>Na<sup>+</sup></b>	10 770
<b>Mg<sup>2+</sup></b>	1 290
<b>Ca<sup>2+</sup></b>	412,1
<b>K<sup>+</sup></b>	399
<b>Sr<sup>2+</sup></b>	7,9
<b>B<sub>total</sub></b>	4,5
<b>Cl<sup>-</sup></b>	19 354
<b>SO<sub>4</sub><sup>2-</sup></b>	2 712
<b>HCO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	118
<b>CO<sub>3</sub><sup>2-</sup></b>	146

---

<b>Br<sup>-</sup></b>	67,3
<b>F<sup>-</sup></b>	1,3

---

### **I.1.2. Eaux saumâtres**

À l'inverse des eaux marines, les eaux saumâtres se caractérisent par une salinité plus faible, légère à modérée, avec une concentration en sels de 1 à 10 g/L seulement. Elles résultent du mélange entre des eaux douces et des eaux salées, comme dans les zones estuariennes ou les nappes souterraines côtières. Leur composition ionique est influencée par la nature géologique des sols traversés, avec une prédominance de sels comme le CaCO<sub>3</sub>, le CaSO<sub>4</sub>, le MgCO<sub>3</sub> et le NaCl. Un traitement de déminéralisation est souvent nécessaire avant leur exploitation en raison de cette salinité modérée (**Renaudin and Champion, 2003**).

Les rejets de saumure concentrée provenant des stations de dessalement peuvent avoir un impact néfaste sur les eaux saumâtres. Cette saumure, riche en ions comme le chlorure, le sodium, le calcium et le magnésium, est généralement rejetée dans les zones marines ou côtières. Lorsqu'elle se déverse dans les zones d'eaux saumâtres, elle peut entraîner une augmentation locale de la salinité et modifier la composition ionique de ces eaux. Cela perturbe les écosystèmes aquatiques indigènes, qui sont adaptés à des conditions spécifiques de salinité et de composition en ions (**PNUE, 2023**).

## **I.2. Caractéristiques physico-chimiques des eaux de mer**

### **I.2.1. Température**

La température, un élément clé de l'écosystème marin, joue un rôle crucial dans la solubilité des sels et des gaz, ainsi que dans le pH de l'eau, les cycles biologiques et la distribution des espèces (**Rodier, 1997**). Mesurée en degrés Celsius (°C), elle est indispensable pour interpréter d'autres paramètres tels que la saturation des gaz dissous et le pH (**Aminot and Kérouel, 2004**). De plus, la température influence la conductivité électrique de l'eau et permet de déterminer l'origine de l'eau et les éventuels mélanges (**Rodier, 2005**). Elle conditionne également le développement des communautés terrestres et aquatiques (**Ramade and Papigny, 2000**).

### **I.2.2. Potentiel Hydrogène (pH)**

C'est un paramètre caractérisant l'acidité ou la basicité des milieux aquatiques, dépend de la composition ionique de l'eau, notamment des carbonates provenant de l'échange de CO<sub>2</sub> et de la dissolution du calcaire (**Aminot and Kérouel, 2004**). Il est vital pour la vie aquatique et la santé des écosystèmes, ainsi que pour la qualité des infrastructures d'épuration (**Rodier et al., 2009**). Il peut aussi révéler des pollutions, notamment dans les zones côtières et estuariennes, où les

variations sont liées aux rejets industriels et aux apports d'eaux continentales (**Aminot and Chaussepied, 1983; Aminot and Kérouel, 2004**). En ce qui concerne l'eau de mer, son pH moyen est d'environ 8,2, mais peut varier entre 7 et 8,3, en raison d'activités biologiques telles que la photosynthèse et l'oxydation de la matière organique (**Barnabé, 2016**).

### **I.2.3. Conductivité**

La conductivité mesure la capacité d'une eau à conduire le courant entre deux électrodes métalliques, fournissant des informations sur la présence de sels dissous et le degré de minéralisation de l'eau. Les variations de ces concentrations peuvent avoir un impact sur l'environnement naturel (**CEAEQ, 2015**). En milieu marin, la conductivité de l'eau de mer est notablement élevée en raison de sa forte concentration en sels dissous, ce qui permet d'estimer la charge totale en électrolytes présente (**Aminot and Kérouel, 2004; Ramade and Papigny, 2000**). Sa variabilité est influencée par la salinité et la température des eaux (**Lefebvre, 1993**).

### **I.2.4. Salinité**

La salinité de l'eau de mer, mesurée en UPS (unités pratiques de salinité), est cruciale pour l'étude des écosystèmes marins, avec une moyenne de 35 UPS ou 35 g/kg (**Barnabé, 2016**). Cette mesure reflète la quantité totale de solides dissous dans un kilogramme d'eau de mer, en prenant en compte tous les composés ou seulement les sels dominants (**Rodier et al., 1996**). Elle influence la densité de l'eau, affectant ainsi la circulation océanique et permettant de différencier les masses d'eau et leurs mélanges, notamment dans les estuaires (**Aminot and Chaussepied, 1983**). La salinité est également essentielle pour interpréter les autres paramètres océanographiques (**Aminot and Kérouel, 2004**), étant un indicateur clé de la concentration en sels dissous comme les chlorures, sulfates et carbonates, exprimée en g/L, mg/L ou ppm.

Le dessalement de l'eau de mer, procédé visant à la rendre propre à la consommation, implique une étape de distillation ou d'osmose inverse qui concentre les sels dans une saumure résiduelle. Cette saumure présente une salinité très élevée, pouvant atteindre 60 à 70 g/kg, soit près du double de la salinité moyenne de l'eau de mer. Le rejet de cette saumure concentrée dans le milieu marin peut entraîner une augmentation locale de la salinité et une modification des concentrations en ions spécifiques comme les chlorures, sodium, calcium et magnésium (**PNUE, 2001**).

**Tableau I 2:** La salinité des différentes mers (MAUREL, 2006)

<b>Mer</b>	<b>Teneurs en sels (g/L)</b>
<b>Mer Méditerranée</b>	36 à 39
<b>Mer Rouge</b>	40
<b>Mer Baltique</b>	7
<b>Mer Morte</b>	270
<b>Mer Noire</b>	20
<b>Mer Caspienne</b>	13
<b>Golfe arabo-persique</b>	40 à 70

### **I.2.5. L'oxygène dissous**

L'oxygène dissous dans l'eau de mer désigne la quantité d'oxygène gazeux ( $O_2$ ) dissoute dans les océans et les mers salées. Cet élément joue un rôle crucial dans les écosystèmes aquatiques en influençant les réactions biologiques. Sa concentration, exprimée en mg/L, est un indicateur clé de la qualité du milieu et gouverne de nombreux processus biologiques (Aminot and Chaussepied, 1983; Aminot and Kérouel, 2004). Dans l'eau de mer, sa présence est vitale pour la survie des organismes marins et influence divers processus biologiques, dépendant de facteurs physiques tels que la température, la pression et la salinité, ainsi que des activités biologiques telles que la photosynthèse et la respiration des organismes marins (Rodier, 2005). Par conséquent, la concentration d'oxygène dissous dans l'eau de mer revêt une importance capitale en tant qu'indicateur de la santé de l'écosystème marin (GERARD, 2002).

### **I.2.6. Titre alcalimétrique simple (TA)**

L'alcalinité, exprimée en concentration équivalente de carbonate de calcium ( $CaCO_3$ ), est une propriété clé qui influence significativement le traitement de l'eau, notamment en ce qui concerne la coagulation, la désinfection et l'équilibrage chimique. Dans l'eau de mer, elle est principalement due à la présence de carbonates, d'hydrogénocarbonates et de borates, et représente la quantité d'ions hydrogène nécessaire pour neutraliser les bases faibles. En général, l'alcalinité d'une eau provient de bases et de sels d'acides faibles, comme les hydrogénocarbonates, les carbonates et les hydroxydes, présents dans les eaux naturelles (CEAEQ, 2014; LOUTIS and HACHEB, 2023).

### **I.2.7. Titre alcalimétrique complet (TAC)**

Le TAC est une mesure de la concentration d'hydrogénocarbonate, d'hydroxyde libre et de carbonate dans l'eau. Ce paramètre est déterminé en neutralisant un volume d'eau avec de l'acide chlorhydrique (HCl) dilué, en utilisant le méthyle orange comme indicateur (**Rodier, 2010**).

### **I.2.8. Les matières totales dissoutes (TDS)**

Les matières totales dissoutes (TDS) dans l'eau de mer se réfèrent à la concentration totale de tous les solides dissous présents dans l'eau de mer, exprimée en milligrammes par litre (mg/L) ou en parties par million (ppm) (**Josmose.fr, 2019**). Ces solides peuvent inclure des sels minéraux, des ions métalliques, des matières organiques dissoutes et d'autres substances. La mesure des TDS dans l'eau de mer est importante pour évaluer sa salinité et sa qualité, ainsi que pour comprendre son impact sur les écosystèmes marins (**Rodier et al., 2009**).

### **I.2.9. Les chlorures**

Les chlorures présents dans l'eau, issus des eaux usées, des déchets industriels et de l'ajout de sels dans les aliments, représentent une source significative d'exposition humaine. Leur surabondance peut entraîner une corrosion accrue des métaux dans les systèmes de distribution d'eau, ce qui peut contaminer l'eau potable avec des métaux (**OMS, 2017**).

Naturellement présents en grande quantité dans l'eau de mer, leur niveau dans l'eau dépend de l'origine de celle-ci et de la géologie des sols traversés. Les chlorures contribuent également à la conductivité électrique des cours d'eau (**KESBI, 2017**).

### **I.2.10. Dureté totale**

La dureté totale de l'eau représente la somme des concentrations en cations métalliques, à l'exception des métaux alcalins (Na, K<sup>+</sup>) et H<sup>+</sup>. Principalement attribuée aux ions calcium (Ca) et magnésium (Mg), elle est souvent associée à une réduction de la toxicité des autres métaux présents dans l'eau. La mesure de la dureté se fait en milligrammes de carbonate de calcium (CaCO<sub>3</sub>) par litre (**IBGE, 2005**).

## **I.3. Les indicateurs de pollution**

### **I.3.1. Les matières en suspension (MES)**

Les matières en suspension (MES) regroupent les substances minérales ou organiques non dissoutes dans l'eau, telles que les argiles, les sables et les micro-organismes (**État de l'environnement wallon, 2007; IBGE, 2005**). Leur concentration varie en fonction des saisons et des débits d'eau, impactant la transparence de l'eau et par conséquent la photosynthèse. Mesurées en mg/L, elles sont un indicateur de la qualité de l'eau. Les particules de MES, dont le diamètre

est supérieur à 0,45  $\mu\text{m}$ , sont une source majeure de turbidité et peuvent transporter divers polluants et agents biologiques (LACAZE, 1996). Elles jouent un rôle crucial dans l'adsorption des éléments toxiques et servent de voie d'entrée pour ces derniers, affectant ainsi la qualité globale de l'eau (Ramade and Papigny, 2000).

### **I.3.2. La turbidité**

La turbidité de l'eau, mesurée en unités de turbidité néphélométrique (NTU), est un indicateur important de sa qualité, affectant à la fois la vie aquatique et la production d'eau potable. Selon la norme ISO 7027 (IFERMER, 2017), elle est définie comme "la réduction de la transparence d'un liquide due à la présence de substances non dissoutes". La turbidité peut résulter de la présence de matières en suspension, minérales ou organiques, entraînant une diminution de la pénétration de la lumière et un impact sur la croissance des plantes aquatiques. Son suivi est crucial pour évaluer l'épuration des eaux brutes (Rodier, 2005; Rodier et al., 2009).

### **I.3.3. La matière organique (MO)**

La matière organique (MO) comprend des substances carbonées d'origine végétale et animale, telles que les protéines, les glucides, les lipides et les acides nucléiques (Gaujous, 1995). La présence de ces molécules dans l'eau de mer est cruciale sur le plan écologique, car elles jouent un rôle trophique et peuvent influencer sur la croissance, le développement et la mortalité des organismes marins. La quantification de la matière organique se fait selon différents critères, notamment la mesure de la quantité de carbone (Le Gal, 1988).

### **I.3.4. La demande chimique en oxygène (DCO)**

La demande chimique en oxygène (DCO), mesurée en  $\text{mg d'O}_2/\text{L}$ , indique la quantité d'oxygène nécessaire à la dégradation chimique de la matière organique ou inorganique dans l'eau. Elle représente ainsi la teneur totale en matières organiques biodégradables, permettant d'estimer le niveau de pollution organique (ADEM, 2011; Grosclaude, 1999).

### **I.3.5. La demande biologique en oxygène (DBO<sub>5</sub>)**

La demande biologique en oxygène (DBO<sub>5</sub>), exprimée en  $\text{mg d'oxygène par litre}$ , est une mesure de la quantité de matières organiques biodégradables dans l'eau (Bontoux, 1993). Elle représente la consommation d'oxygène due aux processus réducteurs, principalement d'origine biologique, qui se produit naturellement dans l'échantillon analysé. Habituellement, la DBO est mesurée après une période de 5 jours à une température d'incubation de 20°C, et elle est particulièrement utile pour évaluer la qualité des eaux brutes (Gomella and Guerrée, 1978).

La DBO<sub>5</sub> et la DCO sont des paramètres clés pour caractériser la charge organique des rejets urbains et des eaux usées. Les effluents domestiques et industriels contiennent généralement des quantités importantes de matières organiques biodégradables qui consomment l'oxygène dissous dans les cours d'eau récepteurs. Une DCO élevée indique une forte présence de composés organiques et inorganiques oxydables, tandis qu'une DBO<sub>5</sub> élevée reflète une concentration élevée en matières organiques facilement biodégradables par les micro-organismes. Le rapport DBO<sub>5</sub>/DCO permet d'évaluer la biodégradabilité des effluents et d'optimiser les traitements appropriés (IBGE, 2005).

### **I.4. Les polluants**

#### **I.4.1. Les métaux lourds**

Dans les environnements aquatiques, les métaux sont des éléments chimiques capables de former des liaisons métalliques et de perdre des électrons pour se transformer en cations (Hubbs-Tait et al., 2007). Ces éléments, tels que le mercure, le plomb, le cadmium, le cuivre, le nickel, l'arsenic, le zinc, le cobalt et le manganèse, sont généralement présents à l'état de traces. Leur origine dans le milieu marin est double : ils sont naturellement présents dans la biosphère et résultent également de processus tels que l'érosion mécanique et chimique des roches et le lessivage des sols (Lacoue-Labarthe, 2007).

#### **I.4.2. Les hydrocarbures**

Les hydrocarbures, composés organiques formés de carbone et d'hydrogène, se répartissent en différentes catégories selon leur structure et leur saturation en carbone (Picot and Montandon, 2013). Ces substances, présentes notamment dans les huiles minérales, peuvent affecter la qualité des eaux de surface en entravant leur oxygénation à des concentrations élevées.

Parmi elles, les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) sont des combinaisons organiques peu solubles dans l'eau mais susceptibles de s'accumuler dans les tissus biologiques. Certains HAP sont classés comme potentiellement cancérigènes par l'OMS.

Les hydrocarbures aromatiques monocycliques (HAM), tels que le benzène, le toluène, l'éthylbenzène et le xylène, peuvent entraîner divers problèmes de santé, notamment des altérations immunitaires, des effets neurotoxiques et des irritations respiratoires (IBGE, 2005).

### **I.5. Les sels nutritifs**

Les sels nutritifs, essentiels à la synthèse de la matière organique, comprennent l'azote, le phosphore et le silicium inorganiques dissous, souvent à des concentrations critiques pour la croissance des organismes marins (LACAZE, 1996). Bien que nécessaires à la croissance des

plantes marines, notamment du phytoplancton, ces substances peuvent devenir polluantes lorsque leurs concentrations augmentent de manière excessive dans l'eau (Eddalia, 1990; Levitus et al., 1993). Ils sont des paramètres hydrologiques fondamentaux pour étudier les écosystèmes marins (Aminot and Kérouel, 2007a) et constituent des outils essentiels pour l'analyse chimique et la compréhension des dynamiques des masses d'eau océaniques (Boulaïdid, 1987).

### **Différentes formes des sels nutritifs**

#### **I.5.1. Azote**

L'azote présent dans l'eau se divise en deux catégories : l'azote organique, composé de protéines, d'acides aminés et d'urée, et l'azote minéral, sous forme de nitrates, nitrites et ammonium, qui sont utilisables par le phytoplancton (Rodier, 2005). Cet élément revêt une importance capitale dans les écosystèmes marins, étant un nutriment essentiel pour la croissance des organismes vivants, notamment le phytoplancton, qui dépend principalement des formes d'azote disponibles pour sa croissance (Copin-Montégut, 1996).

#### **I.5.2. Ammonium (NH<sup>4+</sup>)**

L'azote ammoniacal se trouve dans l'eau sous deux états : l'ammoniac (NH<sub>3</sub>) et l'ammonium (NH<sup>4+</sup>), dont la proportion relative dépend du pH, de la température et de la salinité de l'environnement marin (Aminot and Chaussepied, 1983). Il provient essentiellement des déjections animales et de la dégradation par les bactéries des composés organiques contenant de l'azote.

#### **I.5.3. Nitrates (NO<sup>3-</sup>)**

Les nitrates (NO<sup>3-</sup>) représentent la forme prédominante et stable de l'azote dans les océans, avec des concentrations variant de 0 µmol/L en surface à environ 45 µmol/L dans les eaux profondes (Aminot and Chaussepied, 1983).

#### **I.5.4. Nitrites (NO<sup>2-</sup>)**

Les nitrites (NO<sup>2-</sup>) sont présents dans le cycle de l'azote et sont de nature transitoire, ce qui explique les faibles concentrations d'azote nitreux observées en milieu marin, variant de zéro à quelques micromoles par litre. Leur concentration varie saisonnièrement, étant plus élevée en hiver et plus faible en été en raison du développement du phytoplancton (Aminot and Chaussepied, 1983).

#### **I.5.5. Le silicium**

Le silicium est un élément nutritif vital pour certaines espèces de phytoplancton comme les diatomées, constitue leurs squelettes (Aminot and Chaussepied, 1983). Dans l'eau de mer, il provient de la dissolution de sels minéraux, principalement des aluminosilicates, ainsi que de la

dégradation du silicium organique particulier (**Rodier et al., 2009**). Les concentrations d'acide silicique dans les couches profondes de l'océan sont généralement plus élevées que celles d'autres nutriments comme le phosphore ou l'azote, augmentant progressivement de la surface vers le fond (**Jacquet, 2005**). Cependant, les facteurs influençant le budget marin des silicates restent incertains en raison de divers processus de régénération et de diverses vitesses de formation (**Jacques and Tréguer, 1986**).

### **I.5.6. Le phosphore**

Le phosphore peut être présent dans l'eau sous différentes formes, qu'elles soient minérales ou organiques, en solution ou en suspension (**Rodier, 2005**). L'orthophosphate, la forme minérale principale du phosphore, est essentielle à la vie aquatique, notamment pour le phytoplancton qui peut l'assimiler directement (**Aminot and Chaussepied, 1983**). Dans l'eau de mer, cette forme prédominante résulte de la dissociation de l'acide orthophosphorique, se manifestant sous forme d'ions phosphates (**Copin-Montégut, 1996**).

### **I.6. Eau potable**

Une eau potable est une eau propre à la consommation humaine, ne présentant aucun risque pour la santé. Les normes de potabilité, établies par des organismes nationaux et internationaux tels que l'Organisation mondiale de la santé (**OMS, 2006**), garantissent qu'elle soit exempte de germes pathogènes et réponde à des critères stricts de limpidité, de couleur, d'odeur et de fraîcheur (**Bernard, 2015**). Ces normes fixent également les concentrations maximales admissibles pour diverses substances potentiellement nocives dans l'eau.

En Algérie, il existe des réglementations locales pour la qualité de l'eau de boisson en citant le Journal Officiel de la République Algérienne (**JORA, 2014**) qui représente les différents paramètres physico-chimiques et bactériologiques de la qualité de l'eau de consommation humaine avec des valeurs limites.

**Chapitre :**  
**II. Le dessalement et ses**  
**concepts**

### **II.1. Définition du dessalement**

Le dessalement de l'eau est un processus qui consiste à éliminer le sel de l'eau afin de produire une eau présentant une concentration en sel appropriée pour la consommation humaine, l'agriculture ou les activités industrielles, typiquement inférieure à 500 mg/L, comme son nom l'indique (LOUTIS and HACHEB, 2023).

### **II.2. Le dessalement dans le monde**

Le dessalement de l'eau connaît une croissance importante dans le monde entier. La capacité installée augmente en moyenne de plus de 10 % chaque année. Cette évolution peut être en partie attribuée à la réduction significative des coûts de dessalement et à la proximité des villes côtières (BENHAMOU and KADER, 2007). Ces deux facteurs font du dessalement une véritable ressource alternative. Actuellement, plus de 15 000 unités de dessalement réparties dans 120 pays produisent environ 40 millions de mètres cubes par jour, dont les trois quarts proviennent de l'eau de mer et un quart de l'eau saumâtre. Sur ces 40 millions, 75 % sont destinés à la consommation humaine et 25 % à un usage industriel ou agricole. Au rythme actuel de doublement de la production tous les 10 ans, les experts estiment que la production passera de 60 millions de mètres cubes par jour en 2015 à 95 millions de mètres cubes par jour en 2022. 60 % des besoins en eau douce des pays du golfe Persique sont satisfaits par le dessalement de l'eau de mer. En fait, plus de la moitié de la capacité mondiale de dessalement se trouve dans les pays du Moyen-Orient (KEDDARI, 2020).

### **II.3. Situation hydrique en Algérie et besoin de dessalement**

La situation hydrique préoccupante de l'Algérie, marquée par un climat aride et des épisodes de sécheresse récurrents dans les années 2000, a conduit les autorités à lancer dès 2002 un vaste programme d'urgence centré sur le dessalement de l'eau de mer. L'objectif était de construire 13 grandes stations d'une capacité totale d'environ 2,2 millions de m<sup>3</sup>/jour, afin de répondre aux besoins en eau potable de la population.

Entre 2002 et 2004, le secteur des ressources en eau a mené des études approfondies pour définir une stratégie de développement du dessalement à court, moyen et long terme. Celles-ci ont impliqué l'évaluation des besoins et des ressources hydriques dans 20 wilayas, dont 14 côtières et 6 limitrophes (AKLI and BEDRANI, 2011).

Les ressources hydriques limitées de l'Algérie, caractérisées par une pluviométrie irrégulière de 100 à 600 mm/an, ont conduit à une surexploitation des réserves jusqu'à leur épuisement, la plaçant en dessous du seuil théorique de rareté défini par la Banque mondiale. Face à cette pénurie, le

dessalement est devenu incontournable pour sécuriser l'approvisionnement. Des études technico-économiques poussées ont été menées, en collaboration avec des cabinets internationaux spécialisés, afin de choisir les sites, les technologies et estimer les coûts (**TOUIDJINI and BENARAB, 2013**).

### **II.4. Le dessalement d'eau de mer en Algérie**

L'expérience algérienne dans le domaine du dessalement des eaux est étroitement liée au développement des industries pétrolière et sidérurgique. Le dessalement pour la fourniture d'eau potable à la population était pratiquement inexistant, à l'exception de l'unité de déminéralisation d'Ouled Djellal (Biskra), utilisée en dernier recours.

Dans le secteur industriel, le dessalement et la déminéralisation étaient principalement utilisés pour produire de l'eau destinée aux chaudières, au refroidissement et au traitement. Les premières unités industrielles ont été installées en 1964 à Arzew, utilisant un procédé à tubes submergés basse pression. En 1969, une unité de 4560 m<sup>3</sup>/j par multi-étages flash (MSF) a été mise en service à Arzew.

Par la suite, de nombreuses installations ont été mises en place en parallèle avec les nouveaux complexes industriels, utilisant une variété de technologies telles que l'électrodialyse (principalement concentrée dans le sud), les échanges d'ions (à Annaba), la distillation et l'osmose inverse. Bien que moins nombreuses, les unités d'osmose inverse occupaient une place importante en termes de capacité, comme l'unité de Mostaganem (57 600 m<sup>3</sup>/j) qui était la plus grande au monde lors de son inauguration.

D'autres installations visaient à fournir de l'eau de haute pureté aux complexes électriques, de liquéfaction et aux bases pétrolières du sud. Dans l'ensemble, la plupart des unités avaient une capacité relativement faible (**Kehal, 2001**).

### **II.5. Avantages et inconvénients du dessalement**

#### **II.5.1. Avantages du dessalement**

Aujourd'hui, le dessalement de l'eau est devenu la méthode privilégiée dans de nombreux pays pour répondre à la demande croissante en eau potable. À l'échelle mondiale, la capacité totale de dessalement est estimée à environ 100 millions de m<sup>3</sup> par jour. En Algérie, cette capacité est évaluée à environ 3,5 millions de m<sup>3</sup> par jour (**MOUDJEBER, 2015**).

La technologie du dessalement présente de nombreux avantages que l'on peut résumer comme suit (**Pure Aqua, Inc, 2019**) :

- Le dessalement est une solution cruciale pour fournir de l'eau potable dans les régions confrontées à une rareté d'eau douce.
- En tant que source d'eau non conventionnelle, le dessalement peut compléter efficacement les ressources en eau douce existantes.
- Les installations de dessalement fonctionnent de manière ininterrompue, assurant un approvisionnement en eau même en période de sécheresse.
- Le dessalement permet la production d'eau potable de qualité en éliminant quasiment tous les contaminants présents dans l'eau de source.
- La fiabilité du dessalement en tant que source d'eau stable et régulière, indépendamment des conditions météorologiques, en fait une option essentielle pour assurer la sécurité hydrique.
- Dans les régions côtières, le dessalement peut être une solution attrayante pour répondre aux besoins en eau lorsque l'énergie est abordable.
- Le dessalement de l'eau de mer devient de plus en plus attractif dans les zones métropolitaines et côtières densément peuplées confrontées à un stress hydrique croissant.

### **II.5.2. Inconvénients du dessalement**

Bien que le dessalement de l'eau de mer apporte une solution aux besoins en eau, quelle que soit la méthode utilisée, il n'est pas sans inconvénients (**Aminot and Kérouel, 2007**) :

- Coût énergétique élevé ;
- Rejet dans la mer ou injection dans le sol d'une saumure très concentrée dont la salinité est deux fois supérieure à la salinité naturelle ;
- Rejet d'eau chaude dans la mer en cas de distillation ;
- Utilisation de produits chimiques pour nettoyer les membranes (comme le chlore) ;
- Traces de cuivre s'échappant des installations ;

### **II.6.Principe du dessalement de l'eau de mer**

Quelle que soit la méthode spécifique utilisée pour séparer le sel et l'eau, chaque installation de dessalement est composée de quatre stations principales : une prise d'eau de mer équipée d'une pompe et d'une filtration grossière, une étape de prétraitement impliquant une filtration plus fine, l'introduction de composés biocides et de produits antitartre, le processus de dessalement proprement dit et enfin une station de traitement pouvant inclure la reminéralisation de l'eau produite (**MOUDJEBER, 2015**).

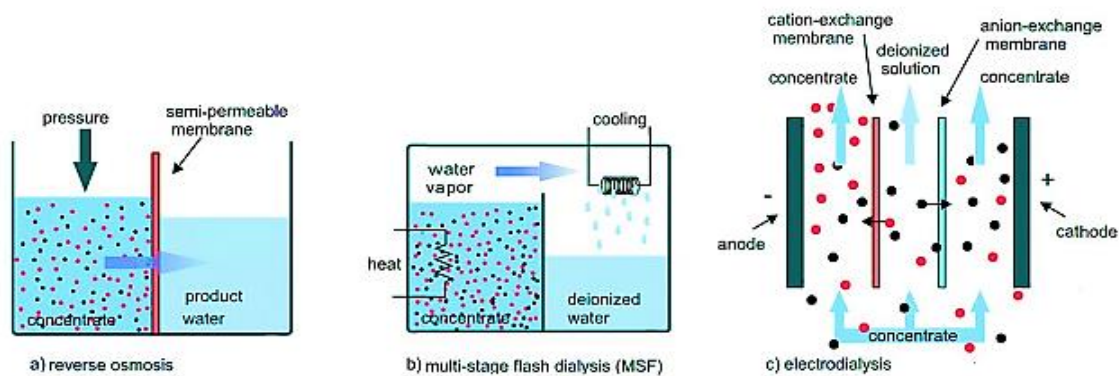
## II.7. Les différentes technologies de dessalement

Il existe deux classifications principales pour les technologies actuelles de dessalement de l'eau, déterminées par le principe qu'elles emploient (Tata-Ducru, 2009). Ces catégories incluent :

- Les procédés basés sur des membranes qui n'impliquent pas de changement de phase, tels que l'osmose inverse et l'électrodialyse.
- Processus thermiques qui impliquent un changement de phase, notamment la congélation et la distillation.

La distillation et l'osmose inverse sont largement reconnues comme les technologies les plus efficaces pour le dessalement de l'eau de mer. Ces deux procédés ont été largement utilisés et ont remporté un succès commercial significatif sur le marché mondial du dessalement. D'un autre côté, d'autres techniques ont été confrontées à des défis liés à une consommation d'énergie élevée et à des besoins d'investissement importants, ce qui a entraîné une croissance limitée dans ce domaine (Tata-Ducru, 2009).

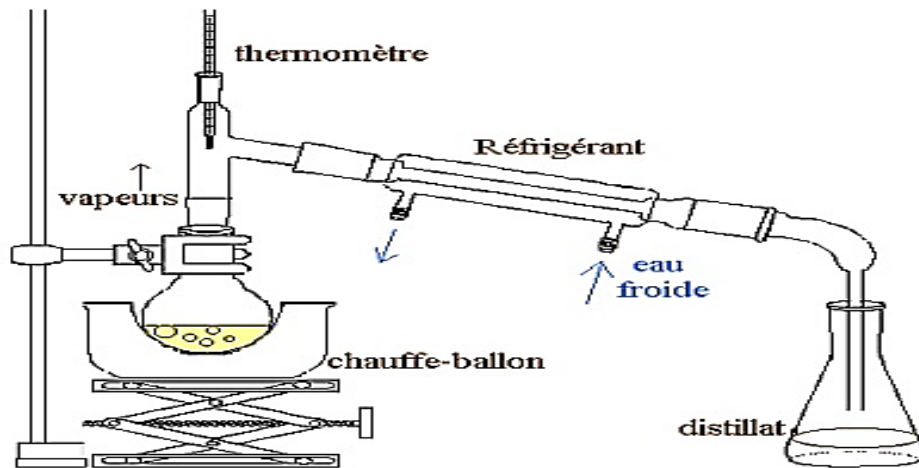
D'autres méthodes de dessalement existent, mais elles sont généralement complexes et non commercialisées, telles que les procédés chimiques.



**Figure II 1:** Technologies de dessalement les plus utilisées (FAWAL, 2016)

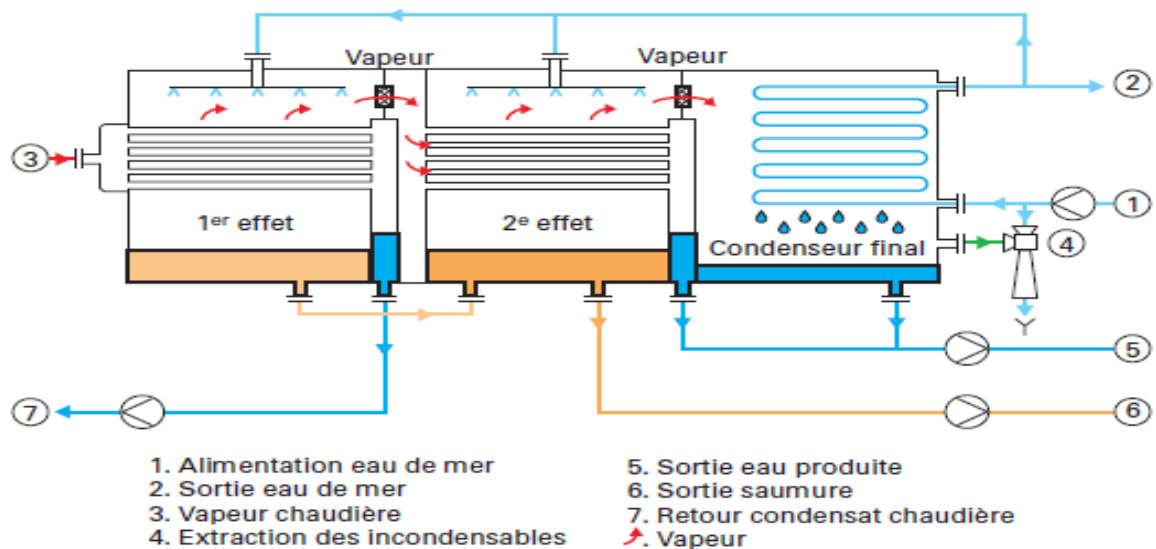
### II.7.1. Les procédés thermiques

**II.7.1.1. La distillation à simple effet :** elle représente la méthode originelle employée pour le traitement de l'eau salée. Cette technique est reconnue comme étant la plus efficace pour éliminer les contaminants de l'eau, car elle recrée le cycle naturel de l'eau. Ce processus implique le chauffage de l'eau salée pour produire de la vapeur d'eau, qui est ensuite capturée et condensée afin de la rendre propre à la consommation (Gonthier, 2020).



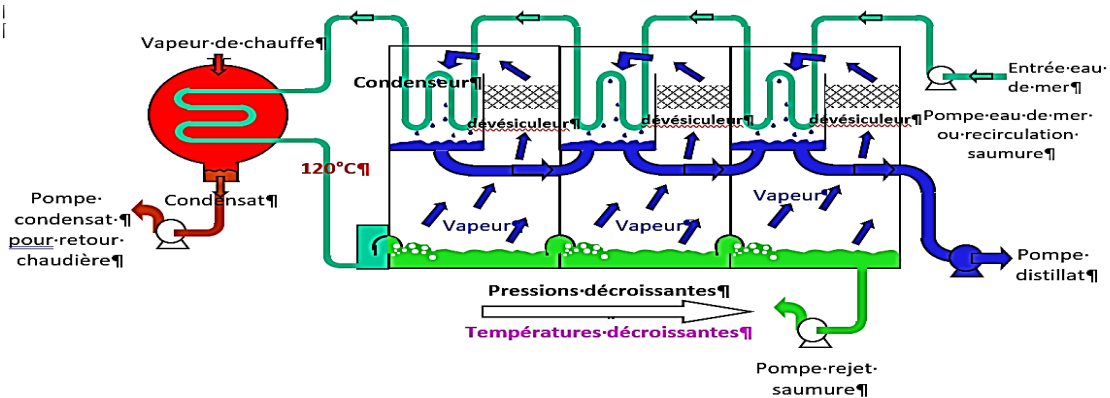
**Figure II 2:** Procédé de distillation d’eau de mer ([www.pedagogie.ac-nantes.fr](http://www.pedagogie.ac-nantes.fr))

**II.7.1.2. La distillation à effets multiples :** c’est une méthode mise en œuvre à grande échelle, qui repose sur l'utilisation séquentielle de plusieurs principes de la distillation simple. Ce procédé implique l'utilisation de cellules individuelles, chacune dédiée à l'évaporation de l'eau salée à partir d'un fluide de chauffage et à la récupération de la vapeur d'eau ainsi produite. Grâce à cette approche, il est possible de produire de l'eau dessalée à des fins industrielles (**Rovel, 2017**).



**Figure II 3:** Procédé de distillation a multi-effets ([www.suezwaterhandbook.fr](http://www.suezwaterhandbook.fr))

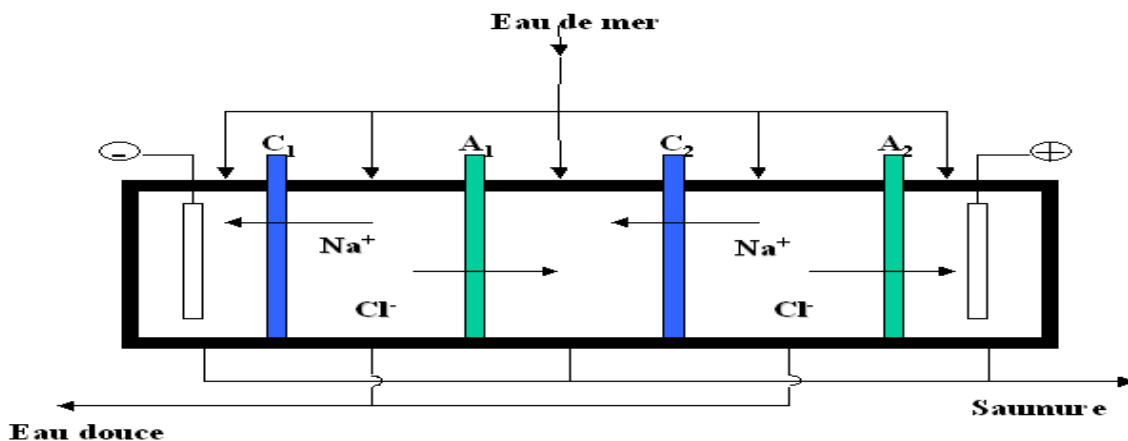
**II.7.1.3. Le processus de distillation multi-flash :** cette méthode réplique le processus d'évaporation et de condensation en exploitant un système de serpents doubles et des pompes. Un serpentin chauffé contenant de l'eau salée génère de la vapeur d'eau, tandis qu'un autre serpentin, refroidi par de l'eau salée, condense cette vapeur. Des pompes sont employées pour éliminer les gaz non condensables, extraire l'eau dessalée et gérer les rejets de saumure (**Rovel, 2017**).



**Figure II 4:** Procédé de distillation multi flash (**Renaudin and Champion, 2003**)

**II.7.2. Les procédés membranaires**

**II.7.2.1. L'électrodialyse :** c'est une technique qui exploite un champ électrique pour séparer l'eau du sel. Cette méthode peut être associée à l'osmose inverse pour générer de l'eau présentant une faible teneur en sels résiduels, répondant ainsi aux exigences des procédés industriels. Au cours de ce processus, les éléments ioniques et non ioniques de l'eau sont divisés par une membrane, aboutissant à la production d'un produit final de grande qualité (**Ben Sik Ali et al, 2010**).



**Figure II 5:** Principe de fonctionnement de l'électrodialyse ([www.lenntech.fr](http://www.lenntech.fr))

**II.7.2.2. Osmose inverse :** c'est une technique sépare l'eau des sels dissous et autre contaminants. L'osmose directe est un processus naturel où l'eau se déplace à travers une membrane semi-perméable, du milieu le moins concentré vers le milieu le plus concentré (**Berland and Juery, 2002**).

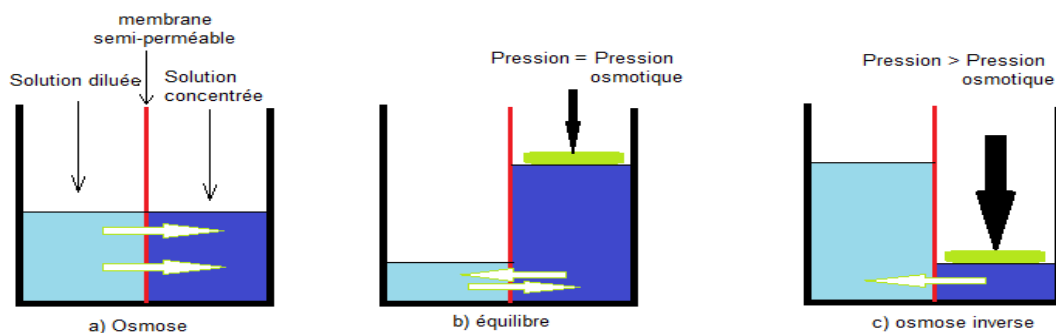
L'osmose directe continue jusqu'à ce qu'un équilibre soit atteint ; la pression créée est appelée pression osmotique du système (**SLCE, 2006**).

Selon la salinité de l'eau, les pressions osmotiques sont généralement comprises entre les valeurs suivantes, (**SLCE, 2006**) :

Eau de mer : 25 à 36 bars

Eau saumâtre : 2,5 à 15 bars

Lorsqu'une pression supérieure à la pression osmotique est appliquée sur la solution concentrée, le phénomène est inversé (osmose inverse) : l'eau migre du compartiment le plus concentré vers le compartiment le moins concentré. Les solutés (sels, molécules, etc.) sont retenus par la membrane (**MAUREL, 2006**).



**Figure II 6:** Principe de l'osmose inverse

[https://controverses.minesparis.psl.eu/public/promo12/promo12\\_G15/www.controverses-minesparistech-15.fr/openAnnexes8c39.html?nom=A-Techniques](https://controverses.minesparis.psl.eu/public/promo12/promo12_G15/www.controverses-minesparistech-15.fr/openAnnexes8c39.html?nom=A-Techniques)

**II.7.2.2.1. Procédés de l'osmose**

L'osmose inverse est un procédé de traitement de l'eau qui utilise des membranes semi-perméables pour séparer l'eau des sels dissous et autres contaminants (**SLCE, 2006**).

Une unité complète de traitement pour la production d'eau potable, (**SLCE, 2006**) comprend :

Prétraitement de l'eau de mer :

- Filtration grossière pour éliminer les particules en suspension et les débris
- Traitement chimique (chloration, coagulation, etc.) pour éliminer les contaminants dissous

Module d'osmose inverse (osmoseur) :

- Préfiltration par filtres à sable et cartouches pour retenir les particules restantes
- Pompage haute pression pour forcer l'eau à travers les membranes
- Membranes semi-perméables enroulées en spirale permettant le passage de l'eau douce tout en retenant les sels et impuretés (production d'eau dessalée et de saumure concentrée)
- Système de contrôle automatisé pour réguler le processus
- Module de nettoyage chimique périodique des membranes

Récupération d'énergie :

- Échangeurs de pression pour récupérer jusqu'à 95% de l'énergie du flux de saumure concentrée
- Réduction significative de la consommation énergétique globale

Post-traitement :

- Ajustement du pH et de la composition chimique de l'eau dessalée
- Reminéralisation pour rendre l'eau potable
- Désinfection finale (chloration, rayons UV, etc.)
- Stockage de l'eau potable produite

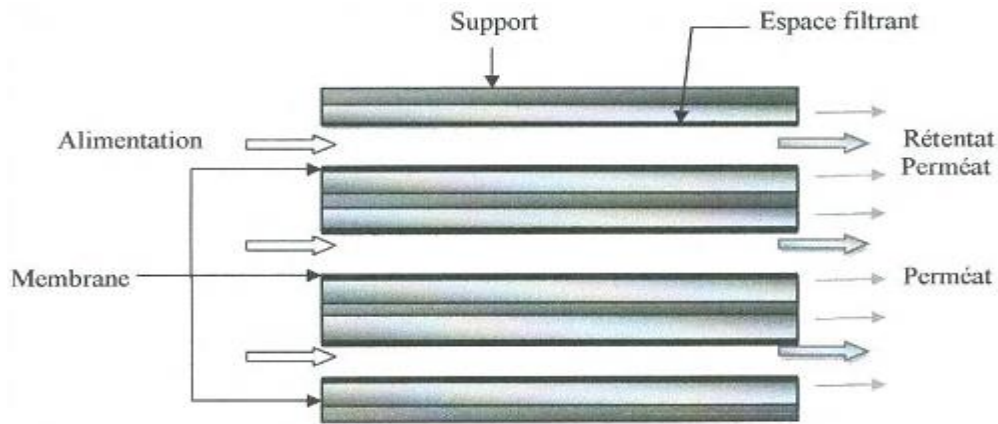
#### **II.7.2.2.2. Membranes d'osmose inverse**

Les membranes d'osmose inverse sont des structures poreuses artificielles élaborées à partir de matériaux organiques comme la cellulose acétate ou les polyamides, ainsi que des matériaux minéraux. Elles sont généralement disposées dans des modules sous forme de membranes spirales et sont constituées d'une fine couche active appelée "peau", dont l'épaisseur varie de 0,1 à 1,5  $\mu\text{m}$ . Ces membranes semi-perméables laissent passer l'eau tout en retenant 99% des éléments minéraux dissous, 100% des molécules organiques et des matières colloïdales. Cependant, leur utilisation nécessite des conditions strictes, incluant un pH compris entre 2 et 11 et une température maximale de 50°C (**Berland and Juery, 2002**).

#### **II.7.2.2.3. Différents modules des membranes**

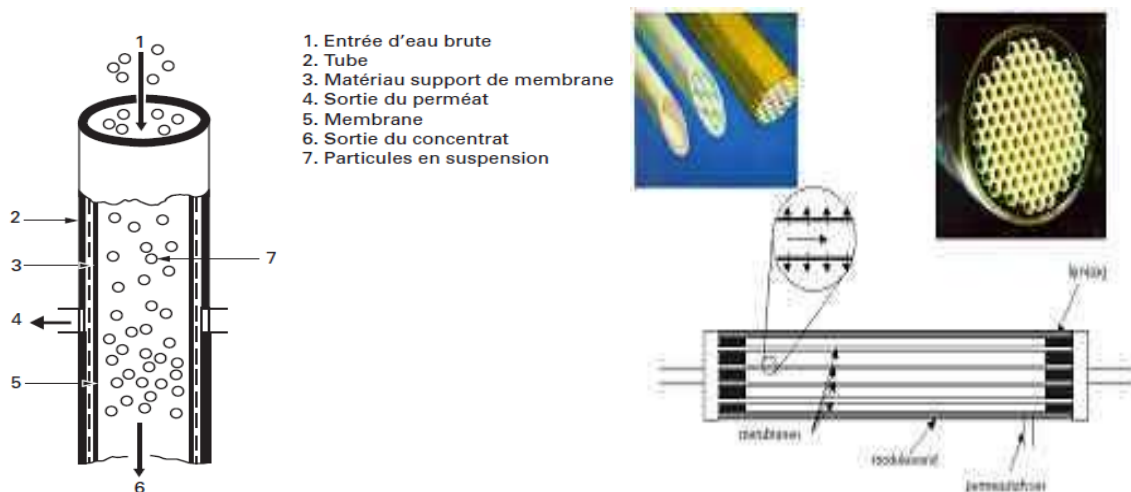
Quatre types de modules distincts sont utilisés dans les techniques d'osmose inverse :

- Les modules plans sont les plus anciens et les plus simples, constitués de membranes empilées en couches séparées par des cadres intermédiaires pour permettre la circulation des fluides (**Berland and Juery, 2002**).



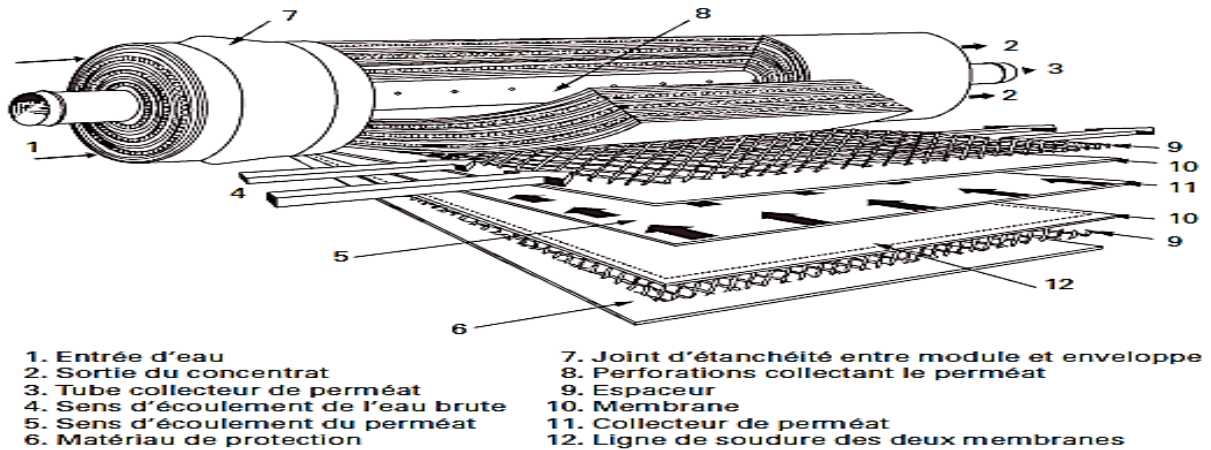
**Figure II 7:** Schéma d'un module plan (AGGAB, 2014)

- Les modules tubulaires comprennent un ensemble de tubes pouvant être disposés en série ou en parallèle. Le perméat est collecté à l'extérieur des tubes, tandis que l'eau à traiter circule à l'intérieur. Les canaux d'écoulement tangentiels sont fournis par les tubes (**Berland and Juery, 2002**).



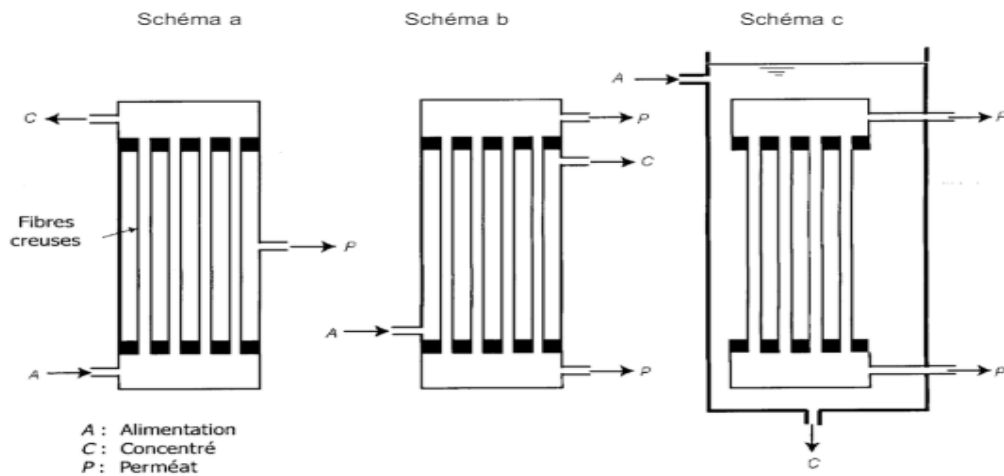
**Figure II 8:** Schéma des modules tubulaires ([www.suezwaterhandbook.fr](http://www.suezwaterhandbook.fr))

- Les modules en spirale utilisent des membranes planes enroulées autour d'un axe creux collecteur de perméat. Une enveloppe cylindrique est utilisée pour insérer l'ensemble, avec des sections pour permettre l'entrée de l'alimentation et la sortie du concentrât (**MAUREL, 2006**).



**Figure II 9:** Schéma d'un module spiral en OI ([www.suezwaterhandbook.fr](http://www.suezwaterhandbook.fr))

- Les modules de fibres creuses sont des modules tubulaires composés de tubes de petit diamètre, allant de quelques millimètres à quelques dizaines de microns. Contrairement aux modules tubulaires classiques avec membrane et support inerte distincts, les fibres creuses remplissent à la fois la fonction de membrane et de support (**BOUNIFA and LAKHDARI, 2015**).



**Figure II 10:** Modules fibre creuses (**Berland and Juery, 2002**)

### **II.8. Les impacts de dessalement**

Les usines de dessalement peuvent avoir divers impacts environnementaux pendant les phases de construction et d'exploitation. Durant la construction, on note des effets liés à la transformation des terres côtières, ainsi que des nuisances visuelles et sonores. En phase d'exploitation, les principaux impacts proviennent des rejets et émissions dans le milieu marin.

De manière générale, ces installations côtières peuvent engendrer : une dégradation de la qualité de l'air, de l'eau et des habitats faunistiques et floristiques aquatiques ; une contamination des

nappes phréatiques, une perte de biodiversité végétale et une salinisation excessive des terres cultivées ; une fragilisation globale des écosystèmes.

L'implantation des infrastructures comme les canalisations peut détruire des milieux vulnérables tels que les dunes, les herbiers marins et d'autres habitats sensibles. Les activités de dragage, d'évacuation des déblais ainsi que les nuisances sonores peuvent également perturber l'accès public et les activités récréatives dans ces zones côtières (PNUE, 2001).

### **II.8.1. Origine et type des rejets**

#### **II.8.1.1. Émissions atmosphériques**

Les usines de dessalement ne produisent généralement que des émissions atmosphériques minimales, principalement constituées d'azote et d'oxygène provenant des usines de distillation qui utilisent des procédés de désaération pour prévenir la corrosion, ainsi que des rejets d'éjecteurs ou de dégazeurs.

Cependant, les émissions atmosphériques peuvent augmenter en raison de la production d'énergie nécessaire au fonctionnement des usines de dessalement. Des émissions considérablement plus élevées peuvent également être produites si un projet de dessalement est combiné à la construction d'une centrale thermique ou d'une installation de production combinée (PNUE, 2001).

#### **II.8.1.2. Les rejets chimiques**

En général, toutes les usines de dessalement utilisent des produits chimiques pour le prétraitement de l'eau d'alimentation ainsi que le post-traitement de l'eau produite. Ces produits sont principalement utilisés comme flocculants, coagulants, antitartres et corrosifs, et ils modifient la composition de la saumure concentrée. De plus, la présence de métaux spécifiques provenant de la corrosion du circuit peut avoir un impact sur la composition de la saumure concentrée (AEC - Document interne, 2022).

#### **II.8.1.3. Les saumures**

Le principal déchet généré par le dessalement de l'eau de mer est la saumure, une eau extrêmement salée et riche en minéraux dissous. Elle constitue environ 90% des rejets d'une usine de dessalement, les 10% restants étant d'autres sous-produits comme les eaux usées de prétraitement et de nettoyage des équipements (Voutchkov et al., 2019). Cette section se concentrera uniquement sur la gestion des rejets de saumure, les autres sous-produits étant généralement traités conformément à la réglementation sur les eaux usées avant d'être évacués.

Cette saumure contient 1,5 à 2 fois plus de sels que l'eau de mer initiale. Son niveau de concentration augmente avec le taux de récupération en eau douce (Ladewig and Asquith, 2012).

Ainsi, pour produire les 95 millions de m<sup>3</sup> d'eau dessalée par jour dans le monde, on estime le rejet

quotidien de saumure à 141,5 millions de m<sup>3</sup>, soit un total annuel avoisinant les 51,7 milliards de m<sup>3</sup> près du double du volume d'eau douce produit annuellement (**Ladewig and Asquith, 2012**).

## **II.8.2. Effets des rejets**

### **II.8.2.1. Effets des rejets de produits chimiques**

Les écosystèmes marins peuvent être affectés par certains des composés chimiques rejetés par les usines de dessalement.

Par exemple, il a été démontré que les produits antitartres rejetés par les usines de dessalement étaient des éléments nutritifs qui augmentaient la productivité primaire. Ainsi, ces produits peuvent provoquer la propagation d'algues dans des endroits où elles sont rares, tels que la mer Méditerranée. Les usines qui ont rejeté les produits anti salissures pourraient également tuer certains organismes.

Les faibles quantités de métaux lourds dans les rejets de saumure des usines de dessalement par osmose inverse limitent leur impact sur l'environnement et la vie marine. Cependant, les usines de distillation peuvent produire des quantités plus élevées de métaux lourds dans leur saumure rejetée, ce qui peut affecter les organismes vivant dans la zone de rejet, en particulier les microorganismes planctoniques qui consomment des matières en suspension (**PNUE, 2003**).

### **II.8.2.2. Effets de la saumure**

Le principal problème lié au rejet de saumure provient de sa très forte salinité et des débits élevés. Lorsque rejetée dans la mer, la saumure forme un courant sous-marin à haute salinité au fond en raison de sa densité élevée. Ce panache salin peut gravement affecter les organismes marins benthiques.

L'augmentation de salinité affecte les êtres marins par un processus d'osmose. Le milieu autour du rejet devient hypertonique par rapport aux fluides internes des organismes. L'eau contenue dans leurs cellules va alors sortir par diffusion à travers les membranes semi-perméables, dans le sens du gradient de concentration en sels.

Ainsi, lorsque des organismes marins sont exposés à une augmentation soudaine de salinité dans leur environnement, ils subissent un choc osmotique préjudiciable, sauf s'ils ont une bonne tolérance à ces variations de salinité (**BOUNIFA and LAKHDARI, 2015**).

**II.9. Les techniques d'atténuation des impacts associés au dessalement (AEC - Document interne, 2022) :**

- Dilution de la saumure avant rejet.
- Récupération des sels.
- Choix judicieux de l'emplacement pour l'émissaire afin de favoriser un maximum de brassage et de dispersion.
- Utilisation d'autres désinfectants.
- Mise en place de mesures de protection contre les polluants lors du prélèvement de l'usine.
- Réduction minimale de l'utilisation de produits chimiques.
- Utilisation d'additifs écologiques.
- Purification des gaz avant émission dans l'atmosphère.
- Choix de matériel à faible nuisance sonore.

**Chapitre :**  
**III. Zone d'étude**

## **Introduction**

En réponse à la sécheresse sévère qui a frappé l'Algérie en 2020, aggravant ainsi le stress hydrique dans le pays, les autorités ont lancé un plan d'urgence ambitieux pour la construction de trois stations de dessalement d'eau de mer à Alger.

- La station Bateaux cassée ; d'une capacité de production de 10.000 m<sup>3</sup>/j ;
- La station de Corso ; d'une capacité de 80.000 m<sup>3</sup>/j ;
- Et la station d'El Marsa, dotée d'une capacité de 60.000 m<sup>3</sup>/j ;

Dans ce troisième chapitre, nous nous focaliserons sur la station d'El Marsa, qui sera l'objet de notre étude de cas. Nous décrirons en détail cette installation de dessalement d'eau de mer.

### **III.1. Présentation de la zone d'étude**

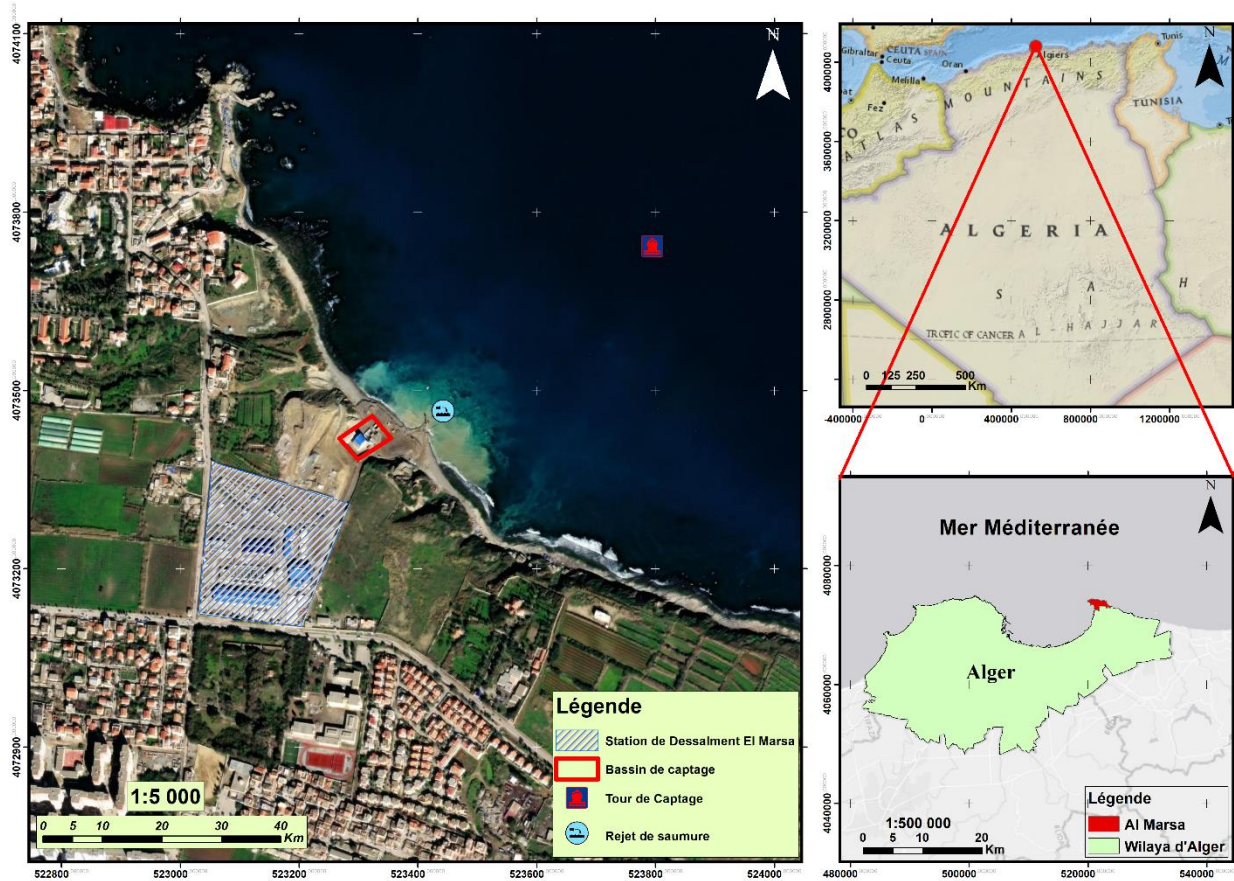
#### **III.1.1.Situation géographique**

La localisation de la station de dessalement a été soigneusement choisie pour contribuer en matière de besoins en eau potable de la région d'Alger Est. Idéalement placée, elle bénéficie d'une superficie aussi adéquate pour la construction d'une station de dessalement de telle capacité.

La station de dessalement d'eau de mer (SDEM) examinée dans cette étude est implantée dans la commune d'El Marsa, relevant de la wilaya d'Alger et située à environ 25 kilomètres à l'est de la capitale. Nichée sur le littoral nord de l'Algérie, ses coordonnées géographiques sont approximativement 36°48'15.02" N de latitude et 3°15'34.72" E de longitude, occupant une superficie de 05 hectares (**AEC - Document interne, 2022**).

Cette installation se trouve à proximité de la ville de Bordj El Bahri et est accessible via la route nationale RN1, qui longe la côte et relie Alger à plusieurs autres localités côtières de la région. Ses limites sont définies comme suit :

- Au nord, par la mer méditerranée ;
- Au sud, par la route W149 ;
- À l'est, par une installation dédiée à la télécommunication 649 (ANF) ;
- À l'ouest, par la route communale de la ville d'El Marsa (rue 20 aout 1955).



**Figure III 1: Localisation de la station dessalement d'EL Marsa (Photo prise par AYOUNE et CHEAIBI)**

### **III.2. Présentation générale de la station de dessalement**

La construction de la station de dessalement a été entamée en 14 octobre 2021, et sa mise en service progressive a débuté dès octobre 2022, atteignant pleinement sa capacité en novembre 2022, soit une production de 60 000 m<sup>3</sup>/j (CHAMI, 2023).

Fonctionnant selon le procédé d'osmose inverse, comme la plupart des stations de dessalement en Algérie, cette technologie offre une flexibilité remarquable en matière d'efficacité énergétique où la consommation spécifique [2.8 ; 3.8] kWh/m<sup>3</sup> et en fonction de la consommation des produits chimique notamment en phase de prétraitement réajustant ainsi la production selon la demande, dont le rendement globale dépend de plusieurs paramètres à prendre en considération à savoir : la température et la salinité de l'eau (Rapport efficacité énergétique – document interne).



Figure III 2: SDEM El Marsa

(<https://fildalgerie.dz/station-de-dessalement-del-marsa-le-p-dg-de-sonatrach-supervise-les-premiers-tests-defficacite/>)

### III.3. Fonctionnement de la station

Pour rappel, la station de dessalement d'El Marsa fonctionne selon le procédé d'osmose inverse, qui comprend trois (03) phases essentielles : la prise d'eau et le prétraitement, l'osmose inverse et en fin la phase de post-traitement (AEC - Document interne, 2021) .

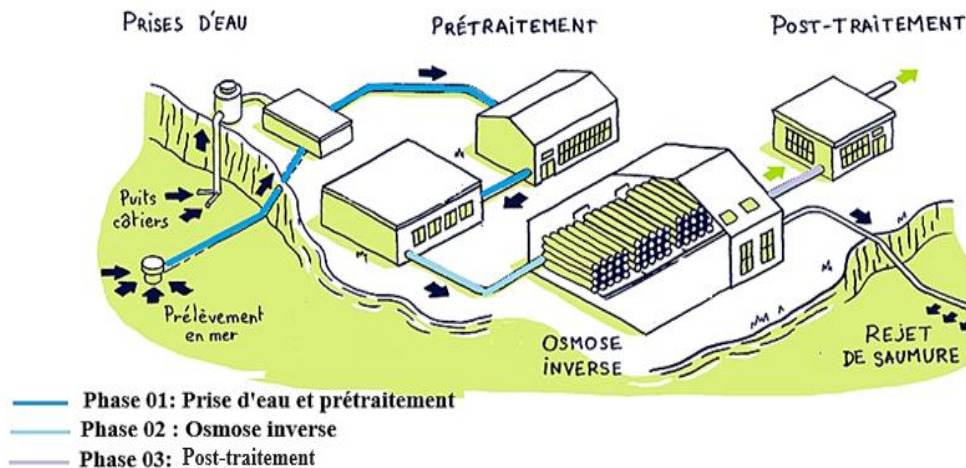


Figure III 3: Schéma général d'une installation de dessalement d'eau de mer par osmose inverse

([www.suez.com/fr](http://www.suez.com/fr))

### III.3.1. Schéma synoptique de la station de dessalement El Marsa

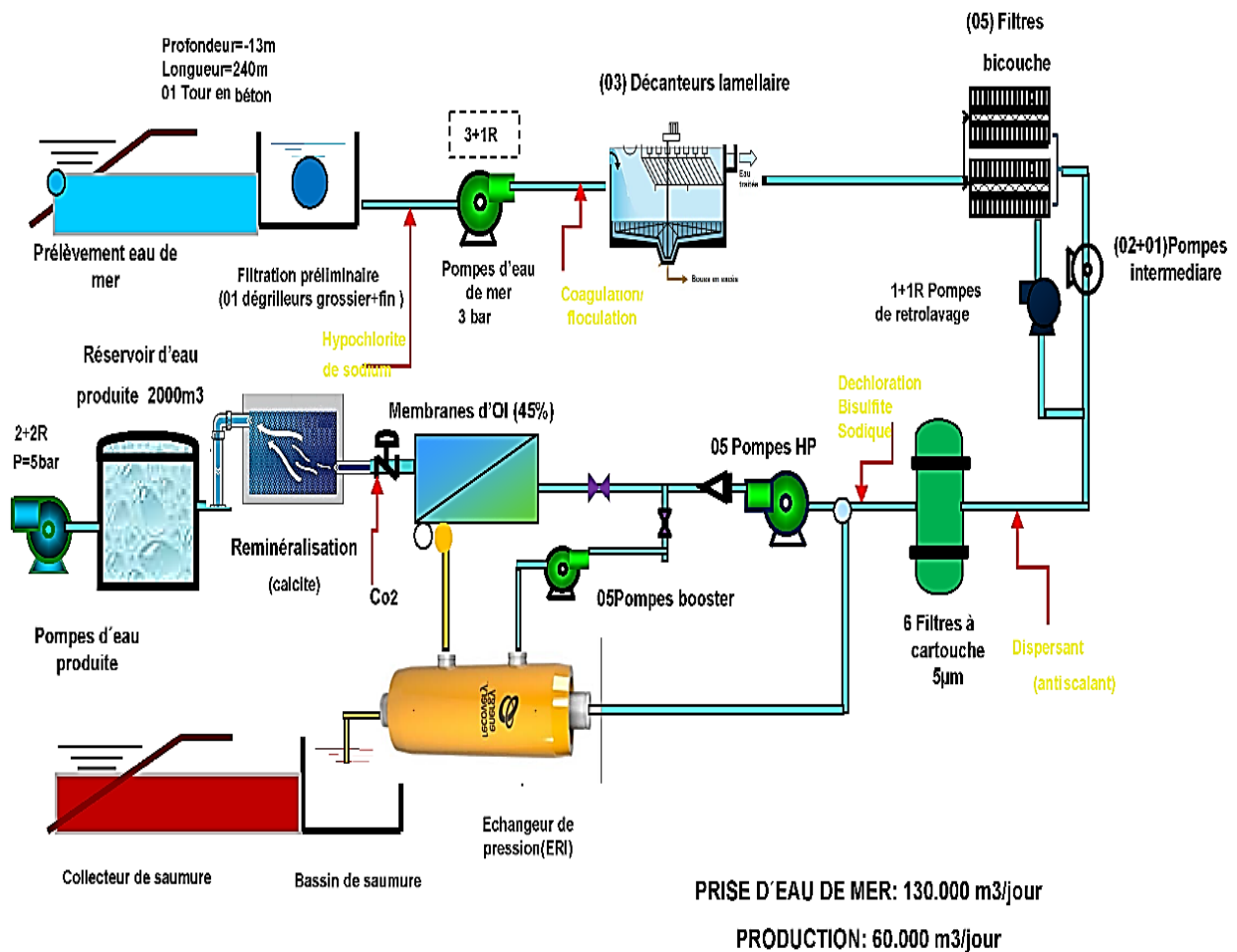


Figure III 4: Schéma synoptique de la SDEM El Marsa (Rapport interne AEC)

### III.3.2. La prise d'eau et le prétraitement

#### III.3.2.1. La prise d'eau

Cette phase vise à obtenir des volumes une eau la plus claire possible pour réduire l'utilisation de produits chimiques lors du prétraitement. L'eau de mer captée est dirigée vers un réservoir de réception où les particules grossières sont éliminées par des grilles avant d'être filtrée. Le système de captage comprend une tour, une conduite d'amenée et un bassin (AEC - Document interne, 2021).

##### III.3.2.1.1. Tour de captage

Cette installation est conçue conformément aux études préliminaires de la conception d'usine (le transfert sédimentaire, la houle et la bathymétrie ainsi que l'étude de la qualité de l'eau de mer) garantissant une qualité adéquate par rapport à la philosophie de traitement et une vitesse d'écoulement [1 ; 2] m/s afin d'éviter l'aspiration d'objets volumineux (sédiments, espèces, objets flottants et de l'air). (AEC - Document interne, 2021)

Ladite installation se situe à une profondeur de -15 m, avec un point d'aspiration à -12,5 m (X : 523509.647 ; Y : 4073592.092), dotée des grilles.

Elle est distante de 240 m du bâtiment de captage. L'installation comprend des points d'injection pour l'hypochlorite de sodium et l'acide sulfurique, ainsi qu'un capteur de détection des hydrocarbures (AEC - Document interne, 2022).

#### **III.3.2.1.2. Conduite d'amenée**

La conduite d'amenée, d'une longueur de 240 m et d'un diamètre de 1200 mm, est réalisée en tuyaux en PRV. Elle relie la tour de captage au bâtiment de captage, assurant une vitesse d'écoulement entre 1 à 2 m/s (AEC - Document interne, 2021).

#### **III.3.2.1.3. Bassin de captage**

Le bassin de captage est devisé en deux (02) compartiments (la partie de captage et la partie de système de pompage) séparées d'un système macro-filtrations (dégrilleurs grossier et dégrilleurs fins) dans le but de garantir une qualité adéquate par rapport aux datasheets des équipements, et ce, afin de les protéger contre tous types défaillance à savoir : l'érosion l'éclatement, Pertes de pression, cavitation... etc. (AEC - Document interne, 2021; KAAB and HAMA, 2023).

Ce dernier est doté par Sonde multimètre de pH, conductivité, température, et turbidité pour le suivi de la qualité d'eau brute (eau de mer), et aussi par des capteurs de niveau pour sécuriser les pompes contre les cavitations en cas de déférence de niveau  $\Delta H$  (AEC - Document interne, 2021).

#### **III.3.2.1.4. Dégrillage grossier**

Les dégrilleurs grossiers sont installés pour protéger les équipements en aval des gros débris et pour éliminer les matières volumineuses transportées par l'eau brute. Chaque dégrilleur est de type dégrilleur à barreaux droits inclinés, avec un espacement de 40 mm entre eux (AEC - Document interne, 2021).



**Figure III 5:** Système de dégrillage installé au niveau de la station d'El Marsa (AYOUNE and CHEAIBI, 2024)

**III.3.2.1.5. Dégrillage fin**

Le filtre rotatif, aussi appelé tamis rotatif ou dégrilleur fin, assure une filtration plus fine que le dégrillage grossier. Au niveau de la station le dégrillage fin est constitué de deux dégrilleurs de type bandes mobiles dont la tôle perforée a des ouvertures de 03 mm (AEC - Document interne, 2021).



**Figure III 6:** Système de filtre rotatif installé au niveau de la station d'EL Marsa (Photo prise par AYOUNE et CHEAIBI)

**III.3.2.1.6. Station de pompage**

La station de pompage s'occupe du transfert de l'eau du bassin de captage vers le système de prétraitement à travers un réseau de canalisations. Le système de pompage est équipé de quatre (04) pompes centrifuges disposées en parallèle, où trois (03) pompes fonctionnent et une pompe est maintenue en réserve (AEC - Document interne, 2021).

Ce dernier est doté par Sonde multimètre de pH, conductivité, température, et turbidité pour le suivi de la qualité d'eau brute (eau de mer), et aussi par des capteurs de niveau pour sécuriser les pompes contre les cavitations en cas de déférence de niveau  $\Delta H$  (AEC - Document interne, 2021).



**Figure III 7:** Système des Pompes aspirantes installés au niveau de la station d'El Marsa (**Photo prise par AYOUNE et CHEAIBI**)

### **III.3.2.2. Prétraitement**

Le prétraitement de l'eau de mer avant l'osmose inverse est absolument nécessaire en raison de la sensibilité des membranes au colmatage. Il comprend quatre (04) étapes : injection de Coagulant ( $\text{FeCl}_3$ ) et de floculant (Polymère), la décantation lamellaire, la filtration à sable multicouches (anthracite, sable et gravier) et la microfiltration (AEC - **Document interne, 2021**).

#### **III.3.2.2.1. Coagulation-Floculation**

La coagulation et la floculation sont des procédés clés visant à améliorer la qualité de l'eau de mer en réduisant les matières en suspension.

La coagulation implique l'ajout d'un coagulant tel que le chlorure ferrique ( $\text{FeCl}_3$ ) après le pompage initial de l'eau de mer. Son but est de perturber la charge électrique des particules colloïdales, favorisant ainsi leur regroupement pour faciliter leur élimination ultérieure.

Quant à la floculation, elle nécessite l'introduction d'un floculant (polymère) après le pompage, ce qui favorise les contacts entre les particules afin de les agglomérer en floccs plus gros, prêts à être éliminés (**KAAB and HAMA, 2023**).

À la station d'El Marsa, la conduite d'arrivée de station de pompage est divisée en deux conduites de même dimension dotée par quatre (04) mélangeurs statiques pour l'injection répartis comme suit :

Pour la première conduite : deux mélangeurs statiques en série sont conçus respectivement pour injecter et homogénéiser le  $\text{FeCl}_3$  avec l'eau de mer et d'injecter et homogénéiser par la suite le Polymère avec l'eau coagulée ;

La deuxième conduite est conçue de la même façon pour assurer le même processus ;

Le dosage des produits est ajusté à l'aide de pompes d'injection en fonction de la qualité de l'eau de mer (**AEC - Document interne, 2021**).

Durant la phase engineering de projet des estimations d'injection desdits produits chimiques ont été faites suivant une analyse multicritère des données de la conception et la philosophie du contrôle processus.

Par la suite durant la phase de la mise en marche de la station, et ce, pour déterminer et fixer la dose optimale d'injection coagulant / floculant et la vitesse d'agitation optimales pour obtenir le surnageant le moins turbide et les floccs les plus denses et les mieux décantés, un jar test est effectué au niveau du laboratoire de la station. (**SDEM El Marsa, 2022**)



**Figure III 8:** Lieu d'injection du coagulant et du floculant au niveau de la station d'El Marsa

(Photo prise par AYOUNE et CHEAIBI)

### **III.3.2.2.2. Décantation lamellaire**

L'objectif du décanteur lamellaire est de séparer et d'éliminer les solides en suspension de l'eau de mer coagulée et floculée provenant des mélangeurs statiques de coagulation et de floculation situés en amont. Pour ce faire, trois décanteurs lamellaires de conception et de taille identiques sont utilisés.

Chacun décanteur est doté d'un paquet de blocs de lamelles inclinées, un racleur pivotants motorisés, six (6) canaux pour l'eau clarifiée au-dessus des blocs de décantation, avec deux plaques de déversement, une vannes murales à l'entrée dudit décanteur , un dispositif de drainage et de traitement de boue (AEC - Document interne, 2021).

#### **III.3.2.2.3. Filtration à sable**

Le système de filtration est conçu avec cinq (05) filtres bicouches montés en parallèle. Ces filtres sont constitués de matériaux inertes : l'anthracite, le sable et le gravier.

Après la décantation, l'eau décantée est acheminée par gravité à travers des conduites vers les filtres bicouches (anthracite, sable et gravier). L'eau passe ver un réservoir de débordement pour être répartie sur toutes les surfaces des filtres. Elle percole ensuite à travers un lit filtrant constitué de deux matériaux granulaires : d'abord une couche de charbon actif en grains (anthracite) pour éliminer par adsorption les micropolluants, mauvais goûts ...etc., puis une couche de sable pour retenir les matières en suspension non décantées, et enfin, elle traverse une couche de gravier (AEC - Document interne, 2021).

#### **III.3.2.2.4. Microfiltration (Filtre à cartouches)**

Dans le système de dessalement par osmose inverse, les six (06) micros filtres à cartouche bobinée sont installés en amont des tubes de pression pour assurer une meilleure protection des membranes. L'eau filtrée traverse un ensemble de micro filtres à cartouche de 5 µm, constitués de tubes en polypropylène, qui effectuent une filtration finale de prétraitement. Cela protège les membranes contre les particules de 5 µm ou plus. Les cartouches filtrantes doivent être remplacées lorsqu'elles sont colmatées.

Les paramètres de contrôle comprennent l'utilisation de sondes multimètre pour mesurer le pH et la température, la conductivité, la turbidité, le redox, et l'indice de colmatage (SDI).(AEC - Document interne, 2021)

Dans le courant d'arrivée de l'eau de puits micro-filtrée pour l'osmose inverse, des produits chimiques sont injectés (AEC - Document interne, 2021) :

- Le SMBS (métabisulfite de sodium) est utilisé pour éliminer le chlore résiduel et d'autres oxydants. Il a un léger effet de désinfection et aide à réguler le pH en neutralisant.
- Le biocide est ajouté pour prévenir l'encrassement biologique des membranes d'osmose inverse.
- L'antitartre est également injecté pour prévenir l'entartrage de carbone dans les membranes d'osmose inverse.



**Figure III 9:** Système de filtration à cartouches installé au niveau de la station d'El Marsa  
(Photo prise par AYOUNE et CHEAIBI)

### **III.3.3. Osmose inverse**

Le système d'osmose inverse est le cœur de la station de dessalement. Il se compose de cinq lignes identiques (05 racks), chacune contenant 154 tubes de pression installés en parallèle sur des châssis. Chaque tube de pression abrite sept (07) modules de membranes en série spiralée en polyamide. Ce système fonctionne avec un taux de conversion de 45 %, produisant ainsi 500 m<sup>3</sup>/h d'eau perméat (eau dessalée) et 55% de concentrat (eau de saumure). Chaque rack est équipé d'une pompe haute pression (HP), de 12 unités d'échangeurs de pression appelés ERD de type PX Q 300, et d'une pompe booster (AEC - Document interne, 2021).

Le suivi de la conductivité et de la température se fait en amont du système, après le filtre à cartouches. En aval du système, un processus de mapping est effectué pour surveiller des tubes de pression et s'assurer de leur bon fonctionnement (AEC - Document interne, 2021).

### **III.3.4. Post-traitement**

#### **III.3.4.1. Reminéralisation**

La reminéralisation a pour objectif de rendre le perméat (l'eau dessalée par osmose inverse) conforme aux normes nationales de l'eau destinée à la consommation humaine. Son but est d'enrichir l'eau en minéraux essentiels et d'ajuster ses propriétés. Le processus de reminéralisation est partiel et comprend les étapes suivantes : 60% du perméat entrant dans (06) chambres de calcite dans le processus de reminéralisation avec un dosage de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>),

Ensuite, le reste du perméat non traité (40%) (by-passée la reminéralisation) est mélangé avec la partie reminéralisée.

$\text{CaCO}_3 = \text{CO}_2 \times 2.27$  d'où 2.27 : est un constant déterminer par note de calculs processus.

Pour stabiliser complètement l'eau mélangée, un ajustement final du pH est réalisé par dosage d'hydroxyde de sodium (NaOH).

A la fin de cette étape des sondes multimètre sont utilisées pour surveiller le pH, la température et la turbidité (AEC - Document interne, 2021).

#### **III.3.4.2. Désinfection finale**

Pour prévenir toute contamination bactérienne dans les réservoirs et les conduites de distribution, une étape de désinfection est mise en place avant la distribution de l'eau traitée. Cette étape consiste à injecter une dose de chlore résiduel dans un mélangeur statique à l'aide d'une pompe doseuse. Cette injection de chlore est nécessaire pour éviter tout risque de développement biologique (AEC - Document interne, 2021).

#### **III.3.5. Système de distribution**

Une fois le post-traitement terminé, l'eau est stockée dans un réservoir recouvert avec deux compartiments avant d'être distribuée via des stations de pompage vers le réseau de conduites mis à disposition (KAAB and HAMA, 2023).

À la station d'El Marsa, deux conduites de distribution sont disponibles :

- Une première avec un diamètre de DN300 (diamètre nominal) capable d'évacuer un débit max de 300 m<sup>3</sup>/h (équivalent à une quantité journalière de 7200 m<sup>3</sup>/j).
- Une seconde avec un diamètre de DN800 capable d'évacuer un débit [2200 : 2500] m<sup>3</sup>/h selon le mode de fonctionnement (équivalent à une quantité journalière de 52800 m<sup>3</sup>/j jusqu'au 60 000 m<sup>3</sup>/j).

En fonction des besoins de la population, les deux conduites peuvent être utilisées conjointement, avec un débit journalier de 7200 m<sup>3</sup>/j pour la DN300 et 52 800 m<sup>3</sup>/j pour la DN800, ou seulement une seule conduite pour la distribution, à savoir la DN800 avec le débit de la station (60 000 m<sup>3</sup>/j) (AEC - Document interne, 2021).



**Figure III 10:** station de pompage de l'eau traitée au niveau de la station d'El Marsa (**Photo prise par AYOUNE et CHEAIBI**)

La station est également équipée d'un laboratoire d'analyse permettant de suivre et contrôler la qualité de l'eau distribuée. Des analyses sont réalisées à chaque étape du traitement, depuis la prise d'eau de mer jusqu'à la distribution finale, afin d'assurer les dosages appropriés de produits chimiques tout au long du processus.

### **III.3.6. Système de rejet**

La gestion des rejets de saumure est assurée par des équipements spécifiquement conçus à cet effet. Les points de rejets sont soigneusement positionnés en mer pour garantir le bon fonctionnement de la station, quelles que soient les conditions météorologiques.

Point de rejet :

- Les Coordonnées GPS au point de saumure : X : 523892.785 ; Y : 4073577.863 ;
- La profondeur du File d'eau : -19,00 m ;
- La distance par rapport au rivage : 503 m ;
- La longueur du Pipe : 573.69 m / doté des diffuseurs (émissaires) tout au long de la conduite de rejet afin de remédier l'impact sur l'écosystème marin.
- Débit : 611,1 m<sup>3</sup>/h.

Le système de déversement des rejets de la station de dessalement comprend un canal équipé de diffuseurs sous-marins. Après avoir été traitée par les récupérateurs de pression, la saumure est recueillie par un collecteur et dirigée vers un réservoir enterré dédié au lavage des filtres.

Le rejet final de la saumure se fait dans un exutoire marin relié à un canal d'évacuation pouvant s'étendre jusqu'à 503 m en mer. Ces rejets comprennent divers liquides provenant de différentes étapes du traitement, notamment le nettoyage des membranes (CIP), le lavage du filtre à sable, le système de lavage des lits de calcite, après traitement dans le bassin de neutralisation (AEC - Document interne, 2021; KAAB and HAMA, 2023).



**Figure III 11:** Canal d'évacuation de rejets au niveau de la station d'El Marsa  
(Photo prise par AYOUNE et CHEAIBI)

**Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons présenté les résultats de nos observations et apprentissages réalisés lors de notre période de stage à la station de dessalement d'eau de mer d'El Marsa. Nous avons détaillé le processus de fonctionnement complet de cette installation, en décrivant chacune des étapes clés : la prise d'eau de mer, le prétraitement, l'osmose inverse, la reminéralisation et enfin la distribution de l'eau dessalée. Nous avons également étudié le système de rejet de cette station.

Il convient de noter que la station traite un débit quotidien d'environ 134 000 m<sup>3</sup>/j d'eau de mer, produisant ainsi un débit de 60 000 m<sup>3</sup>/j, tandis que les 70 000 m<sup>3</sup>/j restants sont rejetés dans la mer.

**Chapitre :**  
**IV. Matériels et méthodes**

## **Introduction**

Pendant trois (03) mois, nous avons effectué un suivi rigoureux de la station de dessalement d'eau de mer d'El Marsa. Des prélèvements ont été réalisés en trois (03) points clés : l'entrée d'eau de mer, la sortie d'eau produite et la sortie des rejets de saumure. Ces échantillons ont ensuite été soumis à des analyses physico-chimiques au laboratoire de contrôle qualité de la station.

L'objectif principal de cette étude était d'évaluer la qualité de l'eau à différentes étapes du processus de dessalement, en effectuant un suivi régulier sur trois (03) mois. Cette approche méthodique nous a permis d'obtenir des données précises et représentatives, essentielles pour évaluer les performances de la station et l'impact environnemental des rejets de saumure.

**Tableau IV 1: Sources de données recueillies**

<b>Données</b>	<b>Source</b>
Les protocoles d'échantillonnage et d'analyses	AEC

### **IV.1. Caractérisation de la qualité des eaux (brute et produite) et des rejets**

#### **IV.1.1. Prélèvement et échantillonnage**

La station de dessalement est équipée de plusieurs points de prélèvements stratégiquement positionnés en amont et en aval de chaque étape du processus de traitement. Notre étude vise à effectuer des prélèvements d'échantillons en trois (03) sites clés :

➤ **Prélèvements d'eau de mer**

- La prise d'eau pour l'échantillonnage d'eau de mer effectuée au niveau du bassin de captage, où l'eau de mer est initialement puisée.
- L'installation fixe d'échantillonnage doit être implantée sur une surface non corrosive, le robinet d'échantillonnage doit couler en continu.
- Il est possible d'utiliser des flacons en plastique avec une ouverture assez accessible, mais le flaconnage en verre est plus recommandé.

➤ **Prélèvements d'eau produite :**

- Effectués au niveau du réservoir de distribution d'eau produite par la station de dessalement.

➤ **Prélèvements de la saumure (rejet concentré en sels) :**

- Réalisés au niveau de la conduite de rejet de la saumure.

**IV.1.2.Mode de prélèvement**

Le prélèvement a été réalisé en suivant la procédure suivante :

- Préparer des flacons propres en plastique ou en verre d'une contenance de 500 ml ou 1 litre.
- Ouvrir la vanne d'échantillonnage et laisser couler l'eau pendant au moins 2 min avant de remplir les flacons.
- Rincer chaque flacon à échantillonner au moins deux fois avec l'eau à prélever.
- Remplir lentement les flacons avec un faible débit pour éviter les turbulences et la formation de bulles d'air.
- Fermer hermétiquement les flacons en s'assurant qu'il n'y ait pas d'espace vide au-dessus de l'échantillon.
- Étiqueter clairement les flacons en mentionnant le point de prélèvement, la date et l'heure ainsi que d'autres paramètres lus sur les indicateurs-transmetteurs tels que le pH, la température, la turbidité et la conductivité.
- Faire un deuxième prélèvement qui sera gardé comme échantillon témoin.
- L'échantillon témoin sera gardé pour une durée de trois (03) jours au réfrigérateur.

**N.B :** Les flacons d'échantillonnage de l'eau de mer et de l'eau traité ne doivent pas être mélangés après utilisation dans le laboratoire

**IV.1.3.Les paramètres à analyser**

<b>Eau brute</b>	<b>Eau traitée</b>	<b>Saumure</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>- Température</li><li>- Conductivité</li><li>- Potentiel d'Hydrogène (pH)</li><li>- Turbidité</li><li>- Matières En Suspension (MES)</li><li>- Matières totales dissoutes (TDS)</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Température</li><li>- Conductivité</li><li>- Potentiel d'Hydrogène (pH)</li><li>- Turbidité</li><li>- Chlore résiduel</li><li>- Matières totales dissoutes (TDS)</li><li>- Dureté Calcique et Totale</li><li>- Alcalinité</li><li>- Indice de Langelier</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Température</li><li>- Conductivité</li><li>- Potentiel d'Hydrogène (pH)</li><li>- Turbidité</li><li>- Matières En Suspension (MES)</li><li>- Matières totales dissoutes (TDS)</li></ul>

**IV.1.4. Les protocoles des analyses effectuées au laboratoire**

**IV.1.4.1. Mesure du pH et de la Température**

➤ **Matériel :**

- Eau à analyser.
- Bécher à 250 ml.
- Eau distillée.
- KCL.
- pH-mètre à électrode en verre.

➤ **Mode opératoire :**

- Etalonner l'appareil chaque matin avec trois solutions étalons de pH différents. (Solution à pH=4, Solution à pH=7, Solution à pH=10)
- Mélanger l'échantillon lentement pour l'homogénéiser et ne pas créer des bulles d'air et faussé le résultat.
- Verser 100 ml d'échantillon dans un bécher.
- Rincer la sonde avec de l'eau distillée avant chaque utilisation.
- Insérer la sonde dans le bécher en agitant lentement quelque seconde.
- Appuyer sur le bouton ENTREE.
- Attendre une stabilisation du résultat lu sur l'appareil.
- Rincer la sonde avec de l'eau distillée.
- Stocker la sonde dans un flacon de KCL (continuellement).

➤ **Appareillage :**

- PH-mètre à électrode en verre.

**IV.1.4.2. Mesure de la conductivité électrique**

➤ **Matériel**

- Eau à analyser.
- Bécher à 100 ml.
- Eau distillée.
- Appareil de mesure Conductimètre.

➤ **Mode opératoire**

- Allumer l'appareil.
- Mélanger l'échantillon d'eau de mer pour homogénéiser la solution sans créer des bulles d'air.
- Verser la solution dans un bécher de 100 ml.
- Rincer la sonde du conductimètre avec de l'eau distillée pour éliminer les impuretés.
- Laver l'extrémité de la sonde avec l'échantillon pour s'assurer qu'il ne reste aucune impureté.
- Immerger la sonde dans le bécher et remuer lentement quelque second pour éliminer les bulles d'aires.
- Attendre la stabilisation du résultat.
- Enregistrer le résultat
- Rincer la sonde avec de l'eau distillée

➤ **Appareillage**

- Appareil de mesure Conductimètre.

**IV.1.4.3. Mesure de la turbidité**

➤ **Matériels**

- L'eau à analyser.
- Bécher à 250 ml.
- L'eau distillée.
- Appareil de mesure Turbidimètre et une cuvette de mesure.

➤ **Mode opératoire**

- Mélanger l'échantillon lentement pour l'homogénéiser et ne pas créer des bulles d'air et faussé le résultat.
- Rincer un flacon avec de l'eau distillé puis avec l'échantillon en couvrant le flacon avec le bouchon noir et en l'inversant doucement plusieurs fois. Jeter l'échantillon utilisé et répéter la procédure 2 fois de plus.
- Verser le contenu de l'échantillon dans un bécher et à l'aide d'une pipette prélever 30 ml et les mettre dans un flacon et le fermer.
- Essuyez le flacon avec un chiffon doux non pelucheux, Assurez-vous que la surface extérieure du flacon est sèche, propre et exempte de taches.
- Mettre le flacon dans sa place (toujours tenir le dessus du flacon lors de la manipulation pour éviter les empreintes digitales et les taches).
- Fermer le capuchon de l'appareil.
- Appuyer sur le bouton ENTREE.
- Prendre la valeur affichée directement.

➤ **Appareillage**

- Turbidimètre et une cuvette de mesure.

**IV.1.4.4. Mesure de l'alcalinité**

➤ **Matériel**

- Eau à analyser.
- Cuve à 10 ml.
- Eau distillée.
- Réactif : ALKAPHOT M (comprimé).
- Appareil de mesure Photomètre.

➤ **Mode opératoire**

- Remplissez l'échantillon jusqu'à la ligne de 10 ml.
- Utilisez cette fonction pour faire le blanc de l'instrument. Placer notre échantillon blanc (l'eau à analyser) dans le porte-tube et appuyez sur Blanc.
- Préparez l'échantillon en ajoutant un comprimé d'ALKAPHOT M. Ecrasez et remuez soigneusement jusqu'à une dissolution complète.
- Placez le tube dans le porte-tube et appuyez sur Mesure pour obtenir le résultat d'alcalinité.

➤ **Appareillage**

- Photomètre.

**IV.1.4.5. Mesure de la dureté calcique**

➤ **Matériel**

- Eau à analyser.
- Cuve à 10 ml.
- Eau distillée.
- Réactif : CALCICOL 1 et CALCICOL 2.

➤ **Mode opératoire**

- Remplissez l'échantillon jusqu'à la ligne de 10 ml
- Placez l'échantillon blanc dans le porte tube et appuyez sur Blanc.
- Préparez l'échantillon en ajoutant un comprimé N1 de CALCICOL. Ecrasez et remuer.
- Puis ajouter un comprimé N2 de CALCICOL. Ecrasez et remuez
- Placer dans le porte-tube et appuyez sur Mesure
- Laissez la minuterie compter à rebours pendant 2 min. La concentration de calcium s'affiche ensuite.

➤ **Appareillage**

- Photomètre

**IV.1.4.6. Mesure de la dureté totale**

➤ **Matériel**

- Eau à analyser.
- Cuve à 10 ml.
- Eau distillée.
- Réactif : HARDICOL 1 et HARDICOL 2.

➤ **Mode opératoire**

- Remplissez l'échantillon jusqu'à la ligne de 10 ml
- Placez l'échantillon blanc dans le porte tube et appuyez sur Blanc.
- Préparez l'échantillon en ajoutant un comprimé N1 de HARDICOL. Ecrasez et remuez.
- Puis ajouter un comprimé N2 de HARDICOL. Ecrasez et remuez
- Placer dans le porte-tube et appuyez sur Mesure
- Laissez la minuterie compter à rebours pendant 2 min. La concentration de calcium s'affiche ensuite.

➤ **Appareillage**

- Photomètre.

**IV.1.4.7. Mesure du chlore résiduel**

➤ **Matériel**

- Eau à analyser.
- Cuve à 10 ml.
- Eau distillée.
- Réactif : DPD n°1 et DML.

➤ **Mode opératoire**

- Remplissez l'échantillon jusqu'à la ligne de 10 ml
- Placez l'échantillon blanc dans le porte tube et appuyez sur Blanc.

- Préparez l'échantillon en ajoutant un comprimé N1 de DPD. Ecrasez et remuez.
- Puis ajouter un comprimé N2 de DML. Ecrasez et remuez
- Placer dans le porte-tube et appuyez sur Mesure pour obtenir le résultat
- Observation :

A. S'il y a l'apparition d'une couleur rose dans le flacon : cela implique que l'échantillon contient du chlore libre ;

B. S'il n'y a pas de changement de la couleur de flacon : donc notre échantillon ne contient pas de chlore libre.

C. Comparer la couleur de blanc avec celle de flacon.

➤ **Appareillage**

- Photomètre.

**IV.1.4.8. Mesure de MES**

Matières En Suspension (MES) représentent la quantité de particules solides insolubles présentes dans un liquide, comme l'eau de mer. Ces particules peuvent être des sédiments, des matières organiques, des microorganismes, etc. Une eau chargée en MES apparaît trouble et opaque.

La turbidité est une mesure optique de la quantité de lumière diffusée par les particules en suspension dans un liquide. Plus il y a de particules, plus la turbidité sera élevée. Elle est généralement exprimée en (NTU).

Il existe une corrélation empirique entre ces deux derniers paramètres. Ainsi, on peut estimer approximativement la concentration de MES à partir de la valeur de la turbidité en utilisant un facteur de conversion.

$$\text{MES (mg/L)} = \text{Turbidité (NTU)} \times 1,4$$

Le facteur de conversion 1,4 est une valeur empirique moyenne qui peut varier légèrement selon la nature et la taille des particules en suspension.

Cette méthode offre un moyen rapide et pratique d'estimer la concentration de MES dans un liquide sans avoir à effectuer une analyse complexe de filtration gravitaire et de pesée.

#### **IV.1.4.9. Mesure de la TDS**

Les solides dissous, tels que les sels minéraux et les métaux lourds, présents dans un liquide comme l'eau de mer, conduisent l'électricité. Plus la concentration de ces solides est élevée, plus la conductivité électrique du liquide sera importante.

Les conductimètres mesurent la conductivité électrique du liquide en faisant passer un courant électrique à travers celui-ci. Cependant, pour exprimer la concentration de solides dissous de manière plus compréhensible, on utilise la valeur TDS (Total des solides dissous) exprimée généralement en parties par million (ppm) ou milligrammes par litre (mg/L).

La méthode TDS convertit la valeur de conductivité mesurée en une valeur TDS approximative en utilisant un facteur de conversion empirique de 0,69. Ainsi, la formule générale est :

$$\text{TDS (ppm ou mg/L)} = \text{Conductivité} \times 0,69$$

Ce facteur de 0,69 est une approximation moyenne, car la relation exacte entre la conductivité et les TDS dépendent de la nature des solides dissous présents dans le liquide. Néanmoins, cette méthode offre une estimation rapide et pratique du TDS à partir d'une simple mesure de conductivité.

#### **IV.1.4.10. Calcul d'Indice de Langelier**

Le Langelier Saturation Index (LSI) est un indicateur qualitatif permettant d'évaluer le potentiel d'une eau à entraîner des précipitations de carbonate de calcium. Cet indice repose sur la comparaison entre deux valeurs de pH du perméat (eau filtrée) :

- 1) Le pH du perméat dans son état originel, sans conditionnement préalable.
- 2) Le pH théorique du perméat s'il était simplement saturé en carbonate de calcium, sans dépasser cette saturation.

La différence entre ces deux valeurs de pH détermine le LSI :

- Si le LSI <0, le perméat est sous-saturé en carbonate de calcium. Cela signifie que le carbonate de calcium présent aura tendance à se dissoudre dans l'eau.
- Un LSI proche de zéro indique une situation d'équilibre, où il n'y a ni dissolution ni précipitation notable du carbonate de calcium
- Si le LSI >0, le perméat est sursaturé. Dans ce cas, le carbonate de calcium excédentaire va avoir tendance à précipiter, à se déposer sous forme de solides.

$$\text{LSI} = \text{pH} - \text{pH}_s$$

Avec :

pH : pH mesuré de la solution.

pH<sub>s</sub> : pH de saturation par rapport à la calcite.

$$\text{pH}_s = \text{pK}_2 - \text{pK}_s - \log [\text{Ca}^{2+}] - \log [\text{TA}]$$

TA : Alcalinité de la solution

**Chapitre :**  
**V. Résultats et discussions**

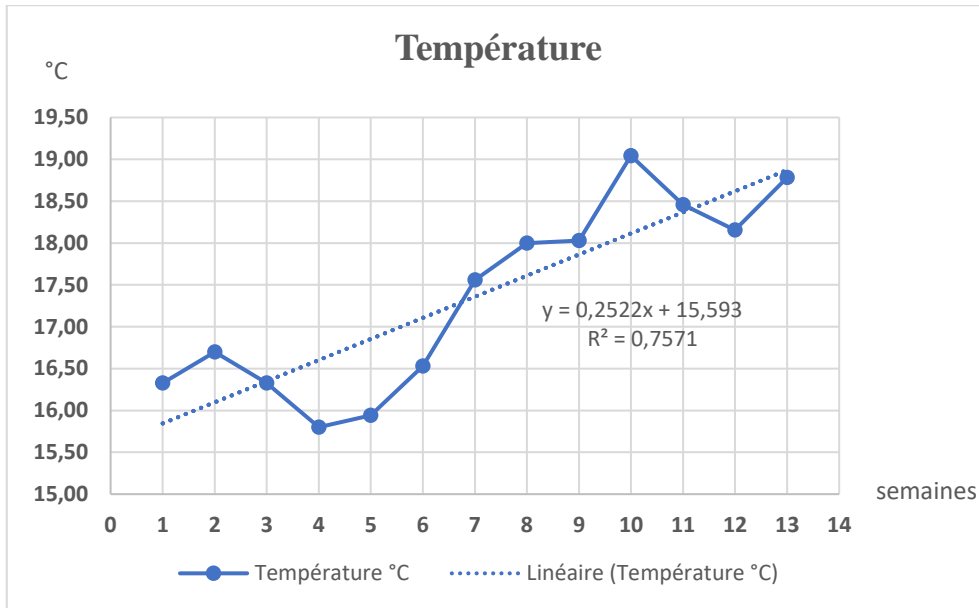
**V.1. Caractérisation de la qualité de l'eau brute, eau produite et des rejets de saumure**

**V.1.1. Qualité de l'eau brute (eau de mer)**

<b>Eau Brute</b>						
<b>Paramètre</b>	<b>Température</b>	<b>Conductivité</b>	<b>pH</b>	<b>Turbidité</b>	<b>MES</b>	<b>TDS</b>
<b>Unité</b>	<b>°C</b>	<b>mS/cm</b>	<b>-</b>	<b>NTU</b>	<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>
<b>Valeurs Limites</b>	<b>[14 ; 30]</b>	<b>-</b>	<b>[7,5 ; 8,3]</b>	<b>-</b>	<b>&lt;50</b>	<b>[35000 ; 40000]</b>
<b>semaine1</b>	16,33	51,13	8,21	0,52	2,04	35282,66
<b>semaine2</b>	16,70	51,85	8,22	1,01	1,36	35776,50
<b>semaine3</b>	16,33	51,62	8,20	1,50	2,12	35615,96
<b>semaine4</b>	15,80	51,49	8,16	2,08	2,91	35527,11
<b>semaine5</b>	15,94	51,59	8,14	3,22	3,54	35596,11
<b>semaine6</b>	16,53	51,20	8,16	1,03	1,44	35326,03
<b>semaine7</b>	17,56	51,61	8,14	0,86	1,20	35609,91
<b>semaine8</b>	18,00	50,98	8,15	1,25	1,62	35173,24
<b>semaine9</b>	18,03	51,22	8,10	0,82	1,20	35268,86
<b>semaine10</b>	19,04	51,82	8,11	0,78	1,04	35700,60
<b>semaine11</b>	18,46	53,00	8,11	0,79	1,05	35386,16
<b>semaine12</b>	18,16	51,15	8,12	1,53	2,14	35201,83
<b>semaine13</b>	18,78	51,39	8,11	0,95	1,32	35460,22
<b>Max</b>	19,04	53,00	8,22	3,22	3,54	35776,50
<b>Min</b>	15,80	50,98	8,10	0,52	1,04	35173,24
<b>MOYENNE</b>	17,36	51,54	8,15	1,26	1,77	35455,78
<b>ECART TYPE</b>	1,13	0,52	0,04	0,72	0,76	197,47

**V.1.1.1. Température**

La figure V 1 présente la variation de la température de l'eau brute en fonction du temps.



**Figure V 1:** Variation de la Température de l'eau brute de la SDEM El Marsa

La température est un paramètre fondamental qui influence de nombreux processus physiques, chimiques et biologiques dans l'eau de mer.

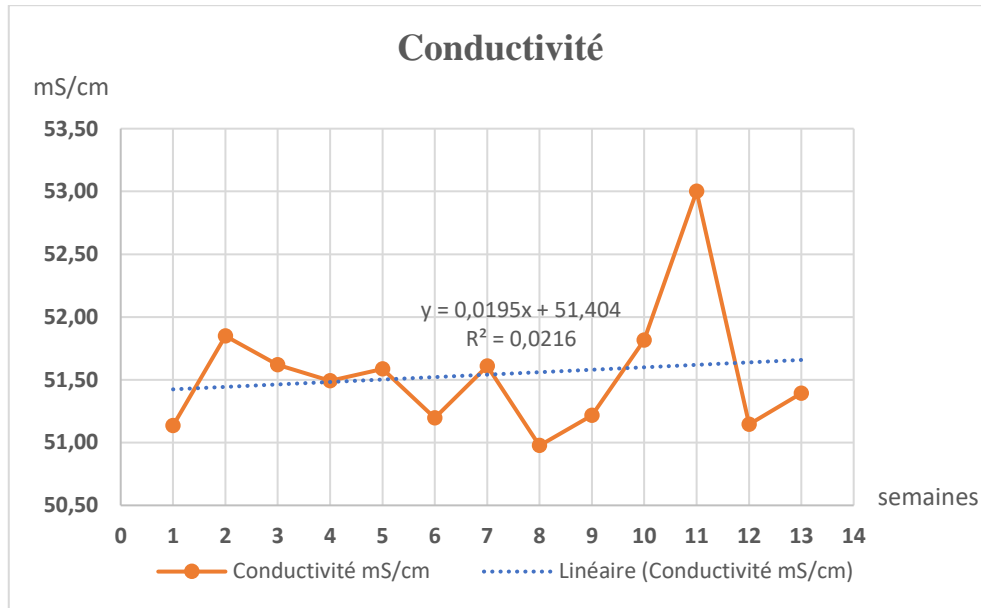
Pour cette période couvrant les mois de fin d'hiver/début de printemps, les valeurs de température observées sont comprises entre 15,8°C et 19,04°C, avec une moyenne de 17,36°C. Cette gamme de températures correspond typiquement aux conditions hivernales et printanières de l'eau de mer méditerranéenne.

On note une tendance à la hausse des températures au fil des semaines, cohérente avec la transition progressive de l'hiver vers le printemps. Ces variations saisonnières influencent directement des propriétés clés de l'eau de mer comme la densité, la viscosité et la solubilité des gaz dissous.

Bien que ces écarts de température restent modérés pour la période couverte, des fluctuations plus extrêmes, chaudes ou froides, pourraient survenir en été ou en hiver et affecter potentiellement l'efficacité du procédé de dessalement par osmose inverse. Un suivi attentif des températures est donc essentiel pour optimiser les performances du système de dessalement membranaire tout au long de l'année.

**V.1.1.2. Conductivité**

La figure V 2 présente la variation de la conductivité de l'eau de mer en fonction du temps.



**Figure V 2:** Variation de la conductivité de l'eau brute de la SDEM El Marsa

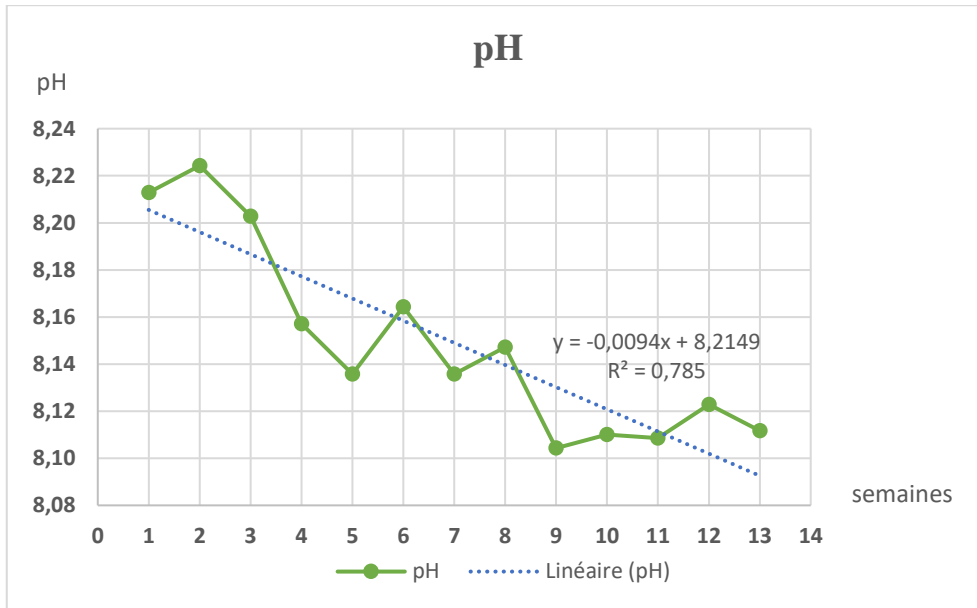
La conductivité est un indicateur essentiel qui reflète directement la teneur en sels minéraux dissous (TDS) et la salinité globale de l'eau de mer.

Les résultats de conductivité ont révélé des valeurs situées dans un intervalle allant de 50,98 mS/cm à 53,00 mS/cm. La moyenne de ces valeurs s'établit à 51,54 mS/cm, avec un écart-type de 0,52. Ces résultats se trouvent au-delà de la norme de 50 mS/cm, qui correspond à la conductivité caractéristique de la mer Méditerranée.

Pour l'eau brute qui servant d'alimentation au processus de dessalement, une conductivité trop élevée, est le signe d'une salinité excessive influençant la biodiversité marine. Cela engendre plusieurs problèmes majeurs : accélère les phénomènes de corrosion et d'entartrage des canalisations, sollicite fortement les membranes d'osmose inverse et de ce fait elle augmente les coûts et la difficulté du dessalement.

**V.1.1.3. Potentiel d'hydrogène**

La figure V 3 présente la variation de PH de l'eau brute en fonction du temps.



**Figure V 3:** Variation du potentiel d'hydrogène de l'eau brute de la SDEM El Marsa

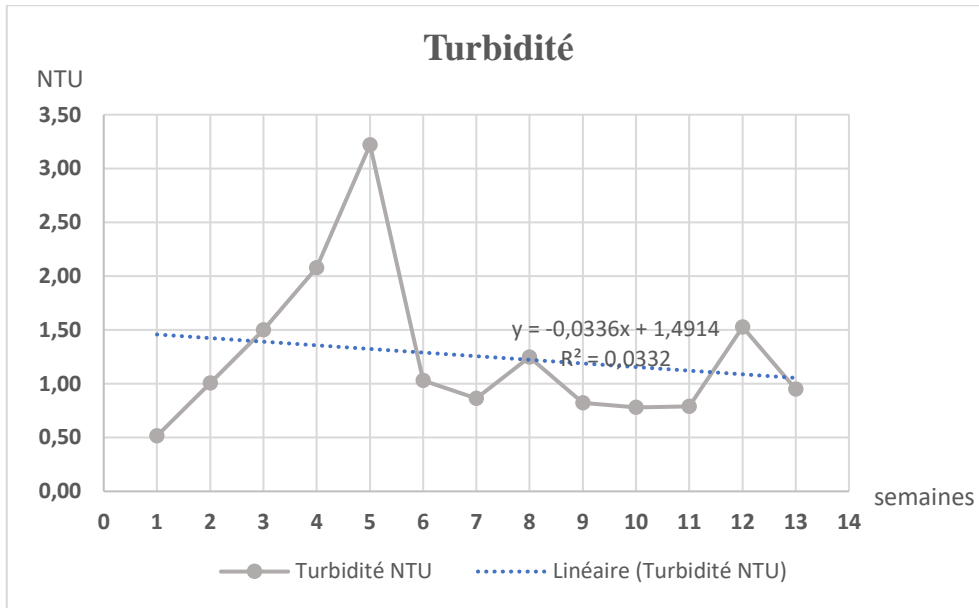
Le pH mesure la concentration en ions H<sup>+</sup> de l'eau. Il traduit la balance entre acide et base sur une échelle de 0 à 14. Ce paramètre caractérise un grand nombre d'équilibre physico-chimiques et dépend de plusieurs facteurs dont l'origine de l'eau.

Nous observons que les valeurs de pH sont comprises entre 8,10 et 8,22, avec une valeur moyenne de 8,15 et un écart-type de 0,04. Cela indique une stabilité de pH, Ces valeurs légèrement basiques sont typiques de l'eau de mer et conviennent au processus de dessalement.

Néanmoins, un pH trop élevé ou trop bas peut endommager les membranes de dessalement et favoriser la corrosion ou l'entartrage des équipements.

**V.1.1.4. Turbidité**

La figure V 4 présente la variation de la turbidité de l'eau brute en fonction du temps.



**Figure V 4:** Variation de la Turbidité de l'eau brute de la SDEM El Marsa

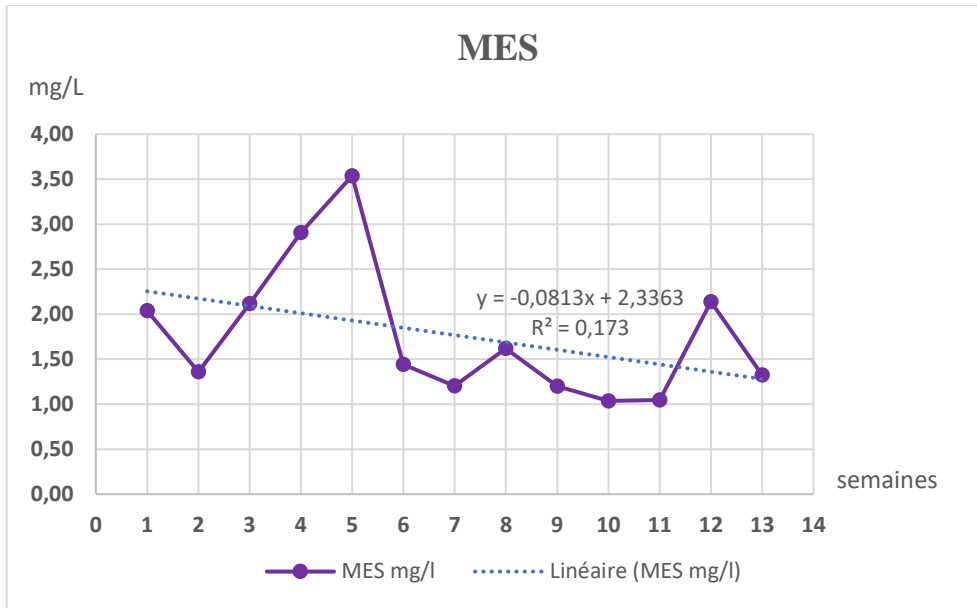
La turbidité est une mesure de l'opacité de l'eau due à la présence de particules en suspension. Elle est exprimée en (NTU).

Les résultats de la turbidité de l'eau montrent une conformité générale aux normes, elle varie entre 0,52 et 3,22 NTU, avec une moyenne de 1,26 NTU et un écart-type de 0.72. Certaines semaines ont connu des pics dépassant cette valeur, notamment les semaines 5 et 4 avec respectivement 3,22 et 2,08 NTU.

Une turbidité élevée dans le milieu marin peut entraîner des impacts négatifs sur les écosystèmes en limitant la pénétration de la lumière, ce qui perturbe la photosynthèse des organismes marins et altère leur habitat. Cette turbidité peut également engendrer plusieurs problèmes pour le processus de dessalement, tels que l'augmentation des besoins en prétraitement (nécessitant des étapes plus intensives et poussées), une consommation accrue d'énergie, le risque de colmatage des membranes, ainsi qu'une diminution de la qualité de l'eau produite.

**V.1.1.5. MES**

La figure V 5 présente la variation de MES de l'eau brute en fonction du temps.



**Figure V 5:** Variation de MES de l'eau brute de la SDEM El Marsa

Les Matières En Suspension (MES) représentent la quantité de particules solides présentes dans l'eau et qui restent en suspension.

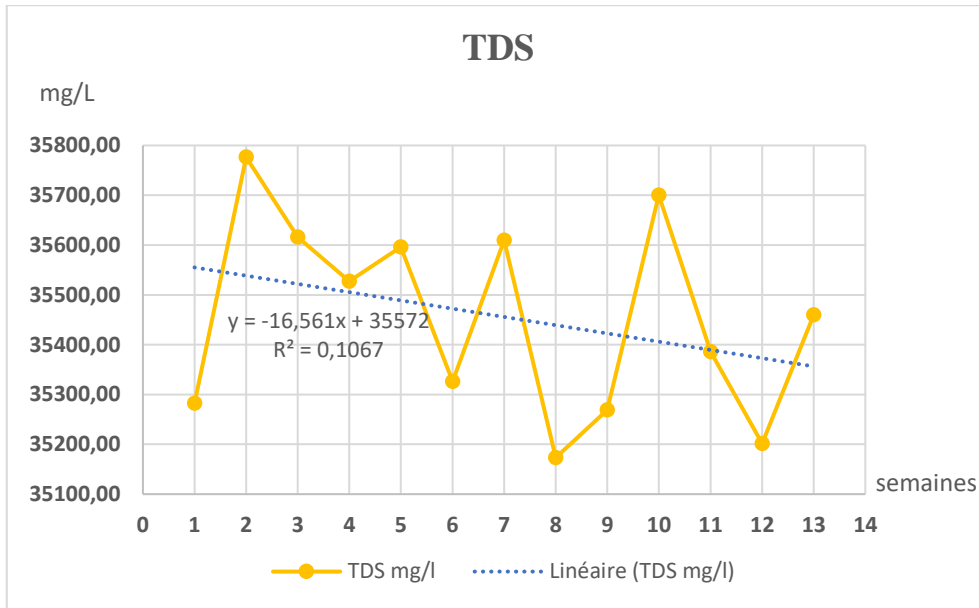
Les résultats montrent des valeurs de MES dans l'eau de mer comprises entre 1,04 et 3,54 mg/L, avec une moyenne de 1,77 mg/L, et un écart-type de 0.76.

Selon la norme pour l'eau de mer, la valeur de MES doit être inférieure à 50 mg/L. Les résultats obtenus sont conformes à cette norme, ce qui est favorable pour le processus de dessalement.

L'influence de MES dans le processus de dessalement réside dans leur potentiel à encrasser et colmater les membranes utilisées pour la filtration et la séparation des sels. Les particules en suspension peuvent entraîner des dépôts sur les membranes, réduisant ainsi leur efficacité et leur durée de vie.

**V.1.1.6. TDS**

La figure V 6 présente la variation de TDS de l'eau brute en fonction du temps.



**Figure V 6:** Variation des TDS de l'eau brute de la SDEM El Marsa

Les concentrations de TDS représentent la quantité totale de solides dissous dans l'eau, y compris les minéraux, les sels et autres composés dissous.

D'après les résultats, nous observons des valeurs de TDS dans l'eau de mer comprises entre 35173,24 et 35776,50 mg/L, avec une moyenne de 35455,78 mg/L et un écart type de 197.47.

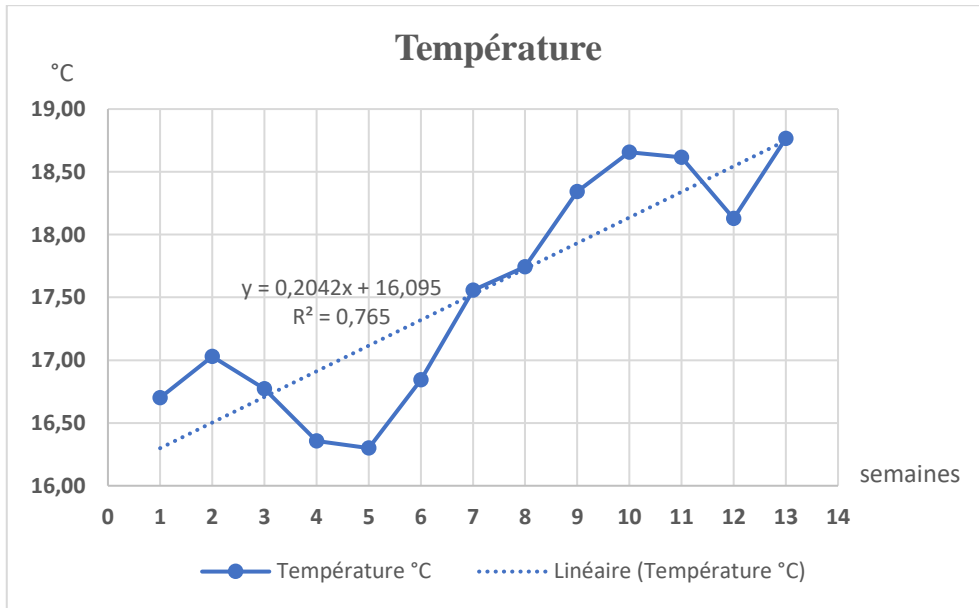
Selon la norme indiquée, la valeur de TDS pour l'eau de mer doit se situer entre [35000 ; 40000] mg/L. Les résultats obtenus sont conformes à cette norme.

**V.1.2. Qualité de l'eau traitée**

<b>Eau Traitée</b>										
<b>Paramètre</b>	<b>Température</b>	<b>Conductivité</b>	<b>pH</b>	<b>Turbidité</b>	<b>Chlore résiduel</b>	<b>TDS</b>	<b>Dureté calcique</b>	<b>Dureté totale</b>	<b>Alcalinité</b>	<b>Indice de langelier</b>
<b>Unité</b>	<b>°C</b>	<b>µS/cm</b>	<b>-</b>	<b>NTU</b>	<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>	<b>ppm de CaCO<sub>3</sub></b>	<b>ppm de CaCO<sub>3</sub></b>	<b>ppm de CaCO<sub>3</sub></b>	<b>-</b>
<b>Valeurs limites</b>	<b>&lt;25°</b>	<b>&lt;2800</b>	<b>[7,5 ; 8,5]</b>	<b>&lt;5</b>	<b>&lt;0,5</b>	<b>[150 ; 550]</b>	<b>-</b>	<b>[50 ; 65]</b>	<b>&gt;65</b>	<b>[0 ; 0,4]</b>
<b>semaine1</b>	16,70	403,23	8,33	0,24	0,43	201,61	50,71	56,71	94,86	0,21
<b>semaine2</b>	17,03	403,10	8,30	0,22	0,43	201,55	56,14	61,29	96,86	0,25
<b>semaine3</b>	16,77	358,15	8,31	0,19	0,39	194,36	53,57	59,29	95,00	0,22
<b>semaine4</b>	16,36	410,94	8,34	0,23	0,52	204,97	48,43	59,14	91,00	0,18
<b>semaine5</b>	16,30	383,91	8,43	0,23	0,34	191,96	48,14	54,86	80,14	0,19
<b>semaine6</b>	16,84	381,81	8,42	0,25	0,53	192,19	52,57	58,43	76,86	0,23
<b>semaine7</b>	17,56	386,30	8,38	0,20	0,48	193,15	49,86	60,14	80,43	0,19
<b>semaine8</b>	17,74	398,90	8,36	0,26	0,42	199,45	46,00	57,71	86,43	0,16
<b>semaine9</b>	18,34	358,71	8,40	0,24	0,42	203,73	46,14	61,86	92,29	0,24
<b>semaine10</b>	18,66	300,12	8,36	0,19	0,39	207,09	50,71	62,00	104,14	0,29
<b>semaine11</b>	18,61	305,86	8,39	0,21	0,38	211,04	52,71	61,43	85,57	0,25
<b>semaine12</b>	18,13	301,75	8,37	0,24	0,40	208,21	47,71	59,57	88,71	0,21
<b>semaine13</b>	18,77	302,69	8,37	0,24	0,43	208,86	47,33	62,33	96,67	0,25
<b>Max</b>	18,77	410,94	8,43	0,26	0,53	211,04	56,14	62,33	104,14	0,29
<b>Min</b>	16,30	300,12	8,30	0,19	0,34	191,96	46,00	54,86	76,86	0,16
<b>MOYENNE</b>	17,52	361,19	8,37	0,23	0,43	201,40	50,00	59,60	89,92	0,22
<b>ECART TYPE</b>	0,91	43,55	0,04	0,02	0,05	6,71	3,09	2,25	7,86	0,03

**V.1.2.1. Température**

La figure V 7 présente la variation de la température de l'eau traitée en fonction du temps.



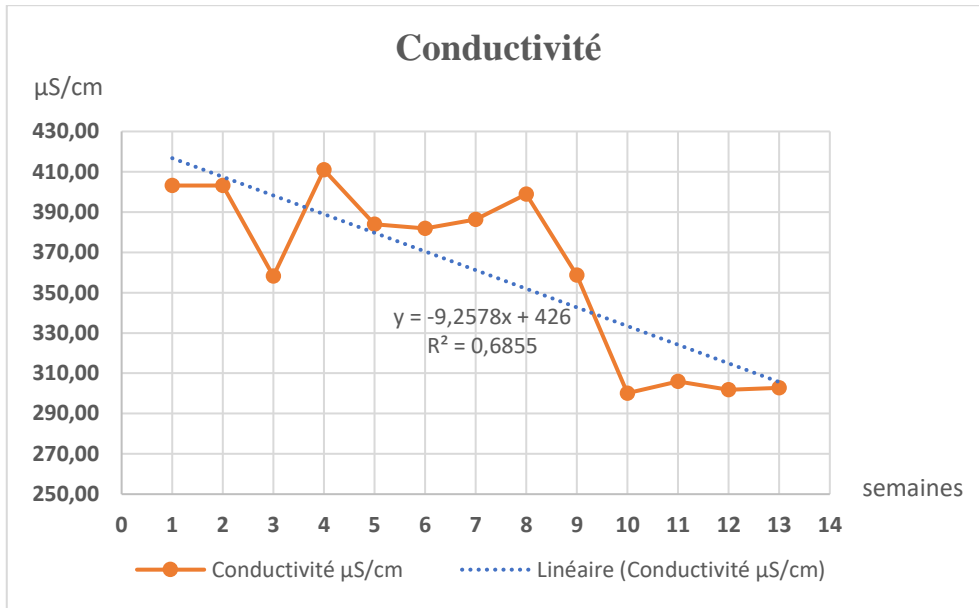
**Figure V 7:** Variation de la température de l'eau produite de la SDEM El Marsa

Les résultats révèlent une légère augmentation de la température de l'eau produite par rapport à celle de l'eau de mer. Alors que la température moyenne de l'eau de mer est de 17,36°C, les températures de l'eau produite varient de 16,30°C à 18,77°C, avec une moyenne légèrement plus élevée de 17,52°C et un écart-type de 0,91. Cette augmentation modérée mais sensible de la température au cours du processus de dessalement peut s'expliquer par deux facteurs principaux. Premièrement, le transfert de chaleur lié au fonctionnement des membranes d'osmose inverse a tendance à réchauffer légèrement l'eau traitée. Deuxièmement, les étapes de prétraitement telles que la filtration ainsi que le post-traitement contribuent également à cette élévation.

Il est essentiel de noter que cette augmentation reste très modérée et ne compromet pas la conformité aux normes algériennes en vigueur pour l'eau potable, fixant une température maximale admissible de 25°C.

**V.1.2.2. Conductivité**

La figure V 8 présente la variation de la Conductivité de l'eau traitée en fonction du temps.



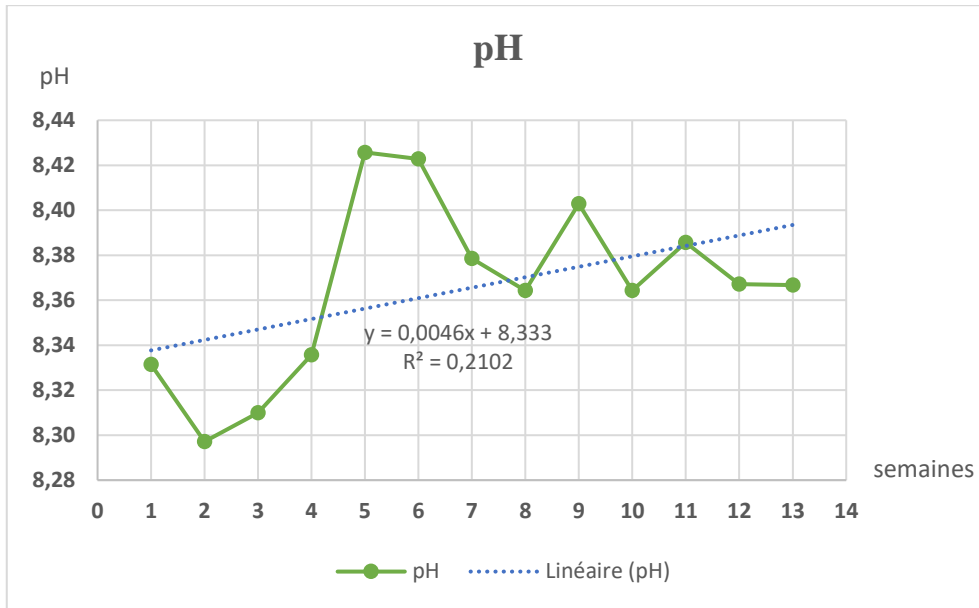
**Figure V 8:** Variation de la conductivité de l'eau produite de la SDEM El Marsa

Les résultats indiquent une baisse considérable de la conductivité de l'eau produite par rapport à l'eau de mer. De 51,54 mS/cm en moyenne pour l'eau de mer, la conductivité chute à 361 µS/cm pour l'eau produite et un écart-type de 43,55. Cette diminution remarquable de la conductivité souligne l'efficacité exceptionnelle du processus de dessalement par osmose inverse pour éliminer les ions dissous responsables de la forte salinité initiale de l'eau de mer méditerranéenne.

Les valeurs de conductivité mesurées pour l'eau produite respectent pleinement les normes de potabilité en vigueur en Algérie, la norme algérienne fixant une conductivité maximale de 2800 µS/cm.

**V.1.2.3. Potentiel d'hydrogène**

La figure V 9 présente la variation du pH de l'eau traitée en fonction du temps.



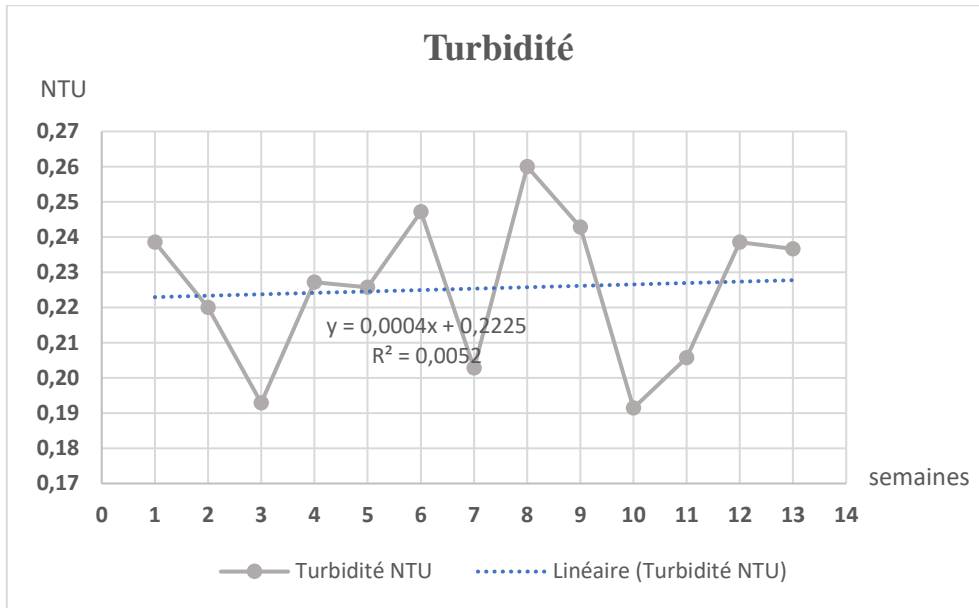
**Figure V 9:** Variation du potentiel d'hydrogène de l'eau produite de la SDEM El Marsa

Les résultats indiquent un pH moyen de l'eau produite est de 8,37 et un écart-type de 0,04, légèrement supérieur à celui de l'eau de mer brute (8,15), mais toujours dans la plage optimale recommandée [7,5 ; 8,5] pour une eau potable. Ce léger ajustement peut être attribué à l'étape de reminéralisation contrôlée.

Un pH trop acide peut favoriser la corrosion des canalisations, tandis qu'un pH trop basique peut entraîner un risque d'entartrage. Il est donc essentiel de maintenir un pH adéquat en effectuant un ajustement précis lors du post-traitement.

**V.1.2.4. Turbidité**

La figure V 10 présente la variation de la turbidité de l'eau traitée en fonction du temps.



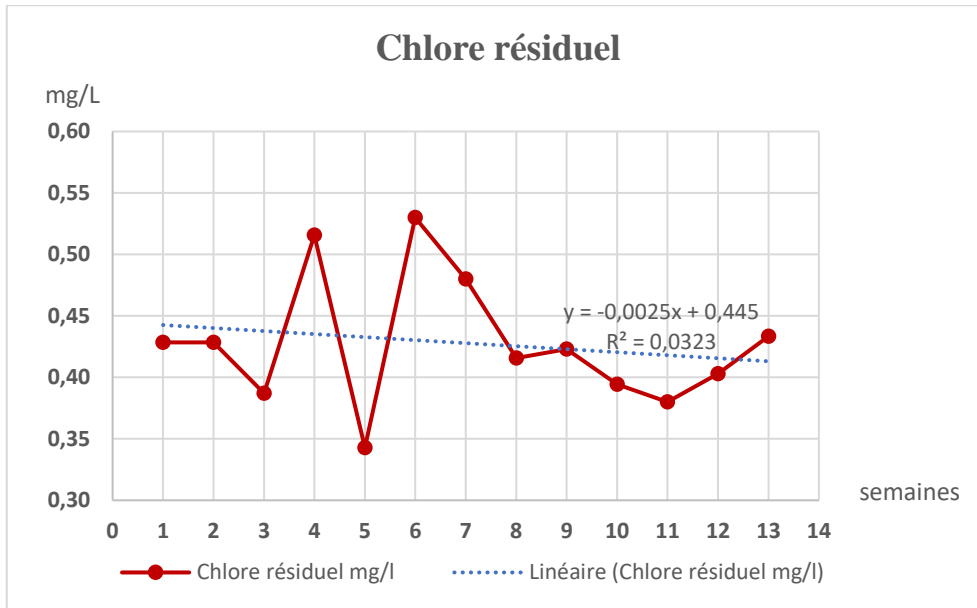
**Figure V 10:** Variation de la turbidité de l'eau produite de la SDEM El Marsa

D'après les résultats, la turbidité de l'eau produite est remarquablement faible, avec une moyenne de seulement 0,23 NTU, un écart-type de 0,02 et un maximum de 0,26 NTU. Cette quasi-absence de particules en suspension confère une limpidité exceptionnelle à l'eau dessalée, garantissant sa haute qualité physique et sa conformité aux normes algériennes de potabilité exigeant une turbidité inférieure à 5 NTU.

Le maintien de ces niveaux négligeables de turbidité atteste du bon fonctionnement de la station.

**V.1.2.5. Chlore résiduel**

La figure V 11 présente la variation du chlore résiduel de l'eau traitée en fonction du temps.



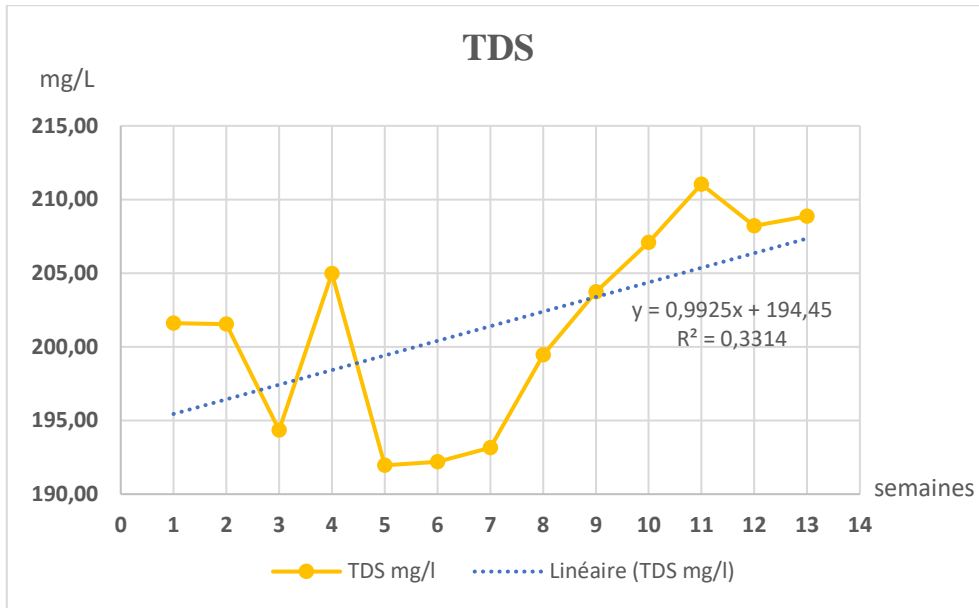
**Figure V 11:** Variation du chlore résiduel de l'eau produite de la SDEM El Marsa

Les teneurs en chlore résiduel de l'eau produite se situent dans une gamme optimale de 0,34 à 0,53 mg/L, avec une moyenne de 0,43 mg/L et un écart-type de 0,05. Cette concentration permet d'assurer une désinfection efficace de l'eau tout en restant inférieure à la limite maximale de 0,5 mg/L exigée par la réglementation algérienne.

Au-delà de son effet désinfectant initial, le maintien d'un résiduel de chlore protège contre les éventuelles recontaminations microbiologiques lors de la distribution dans les réseaux. Un suivi rigoureux de ce paramètre essentiel a donc été effectué pour garantir simultanément une eau saine et conforme.

**V.1.2.6. TDS**

La figure V 12 présente la variation de TDS de l'eau traitée en fonction du temps.



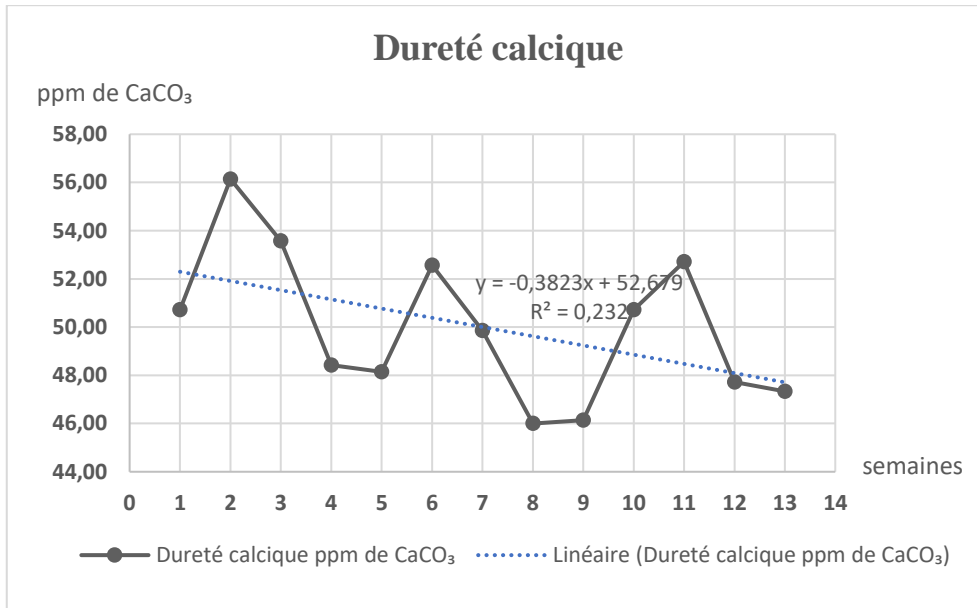
**Figure V 12:** Variation des TDS de l'eau produite de la SDEM El Marsa

Les résultats obtenus pour les Solides Totaux Dissous de l'eau produite se situent dans une gamme très satisfaisante de 191,96 à 211,04 mg/L, avec une moyenne de 201,40 mg/L et un écart-type de 6,71. Cette teneur moyenne est pleinement conforme à la réglementation algérienne qui fixe les limites acceptables pour l'eau potable entre 150 et 550 mg/L.

Cette faible teneur atteste de l'efficacité exceptionnelle du processus d'osmose inverse couplé aux étapes de prétraitement pour éliminer ces solides indésirables et produire une eau douce de très haute qualité conforme aux normes algériennes.

**V.1.2.7. Dureté calcique**

La figure V 13 présente la variation de la dureté calcique de l'eau traitée en fonction du temps.



**Figure V 13:** Variation de la dureté calcique de l'eau produite de la SDEM El Marsa

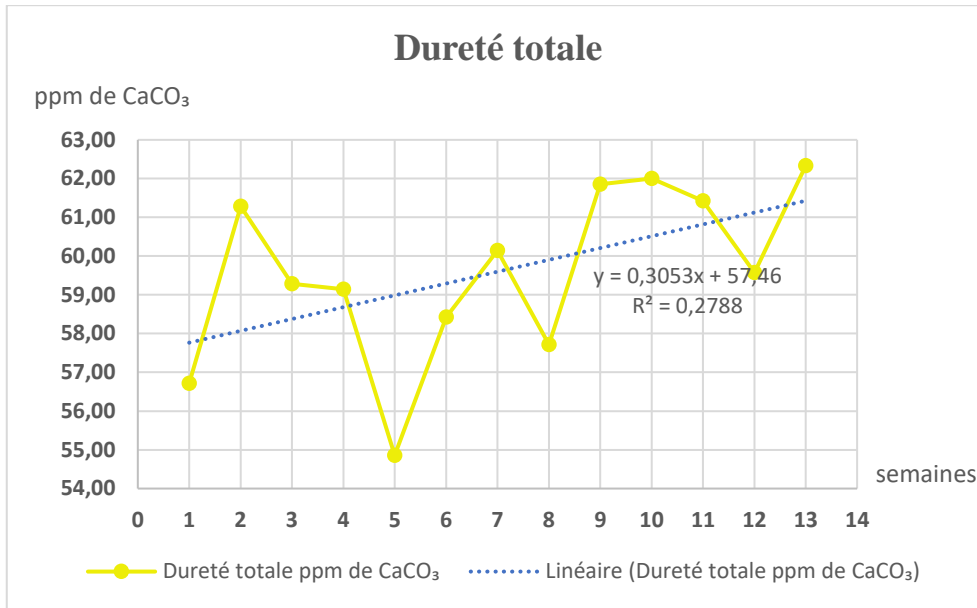
La dureté calcique, reflétant la concentration totale en ions calcium.

Les résultats indiquent une dureté calcique moyenne de 50,00 ppm (parties par million) de CaCO<sub>3</sub> pour l'eau produite et un écart-type de 3,09, avec des valeurs variant de 46,00 à 56,14 ppm. Cette plage de dureté calcique est considérée comme modérée.

Cependant, une dureté calcique excessive pourrait conduire à la formation de dépôts de calcaire dans les canalisations et les appareils ménagers, tandis qu'une dureté trop faible pourrait rendre l'eau plus agressive et corrosive pour les conduites en métal.

**V.1.2.8. Dureté totale**

La figure V 14 présente la variation de la dureté totale de l'eau traitée en fonction du temps.



**Figure V 14:** Variation de la dureté totale de l'eau produite de la SDEM El Marsa

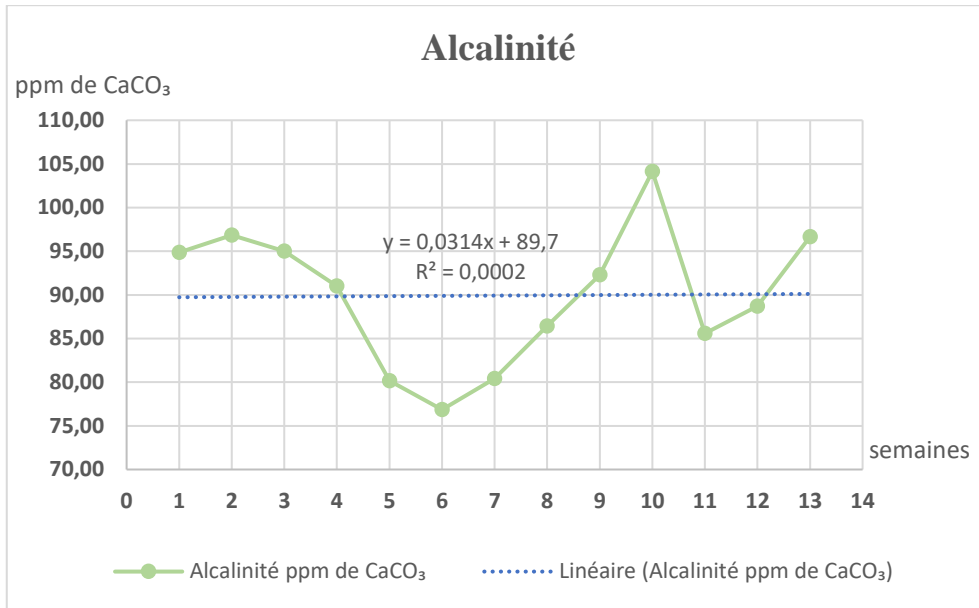
La dureté totale, reflétant la concentration totale en ions calcium et magnésium en solution.

Les valeurs varient de 54,86 à 62,33 ppm, avec une moyenne de 59,60 ppm en équivalent CaCO<sub>3</sub> et un écart-type de 2,25. Cette moyenne place l'eau produite dans la catégorie des eaux modérément dures selon l'échelle de dureté. Notons que ce niveau moyen de dureté de 59,60 ppm se situe dans la plage cible idéale définie par la réglementation algérienne concernant l'eau potable [50 ; 65] ppm de CaCO<sub>3</sub>.

Il est important de noter que maintenir une dureté adéquate est essentiel pour prévenir la corrosion causée par une eau trop douce, ainsi que pour éviter les risques d'entartrage et de dépôts calcaires associés à une dureté excessive.

**V.1.2.9. Alcalinité**

La figure V 15 présente la variation de l'alcalinité de l'eau traitée en fonction du temps.



**Figure V 15:** Variation de l'alcalinité de l'eau produite de la SDEM El Marsa

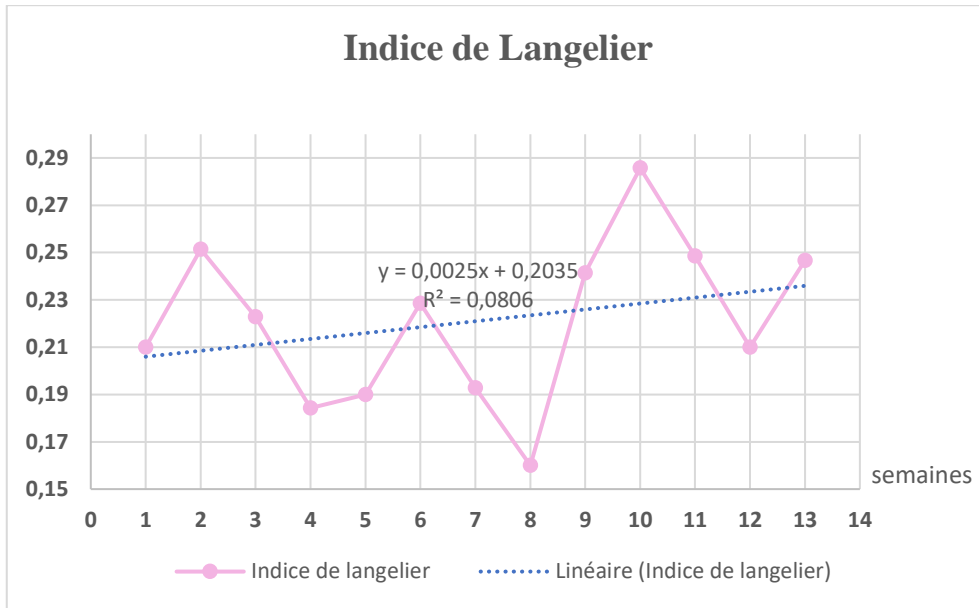
Les résultats révèlent une alcalinité moyenne de 89,92 ppm (parties par million) en équivalent CaCO<sub>3</sub> pour l'eau produite et un écart-type de 7,86, avec des valeurs allant de 76,86 à 104,14 ppm. Selon la norme algérienne, une alcalinité supérieure à 65 ppm est recommandée.

Cette gamme d'alcalinité relativement élevée confère à l'eau produite une excellente capacité tampon contre les variations de pH grâce à la présence d'ions bicarbonates (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) et de carbonates (CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>).

Une alcalinité adéquate maintient un pH stable et prévient les risques de corrosion dans les canalisations. En revanche, une alcalinité excessive pourrait entraîner des dépôts de calcaire et altérer la qualité de l'eau.

**V.1.2.10. Indice de Langelier**

La figure V 16 présente la variation de l'indice de langelier de l'eau traitée en fonction du temps.



**Figure V 16:** Variation de l'indice de Langelier de l'eau produite de la SDEM El Marsa

L'indice de Langelier est un indicateur permettant d'évaluer l'équilibre calco-carbonique de l'eau et de déterminer ses tendances vers l'entartrage ou la corrosion.

Les résultats indiquent un indice de Langelier moyen de 0,22 et un écart-type de 0,03 pour l'eau produite, avec des valeurs se situant entre 0,16 et 0,29. Cette moyenne de 0,22, très proche de la neutralité idéale fixée à 0, indique un équilibre quasiment parfait où les risques de dépôts calcaires ou de corrosion sont minimisés. La plage cible pour un indice de Langelier optimal se situe entre [0 ; 0,4].

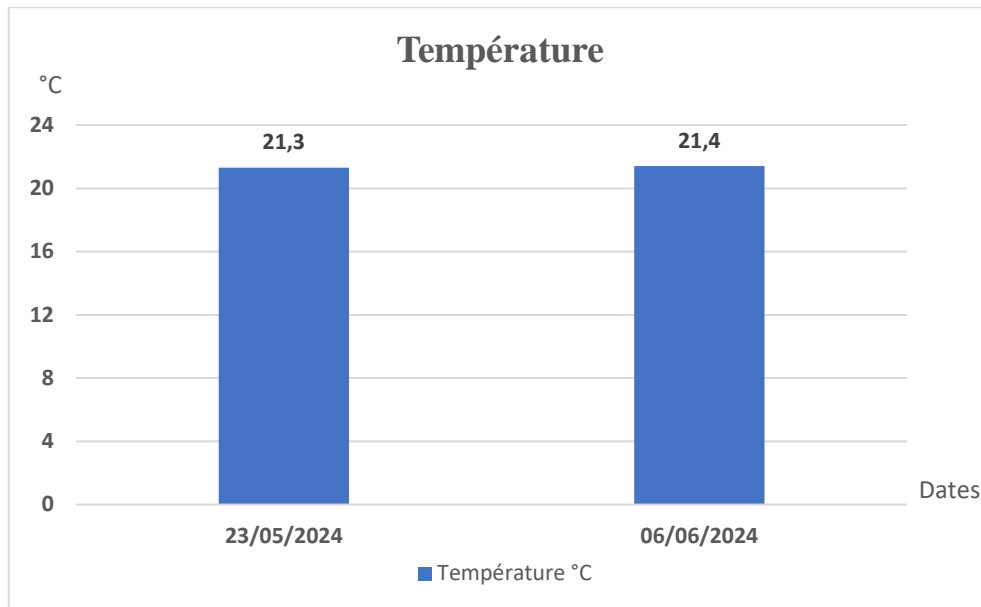
Maintenir un tel équilibre délicat a nécessité un contrôle précis de plusieurs paramètres interdépendants tels que le pH, la dureté calcique, l'alcalinité et la température. Cet ajustement minutieux a pu être effectué grâce à la reminéralisation contrôlée après le procédé de dessalement membranaire par osmose inverse.

**V.1.3. Qualité de rejets de saumure**

<b>Rejets de saumure</b>						
<b>Paramètre</b>	<b>Température</b>	<b>Conductivité</b>	<b>pH</b>	<b>Turbidité</b>	<b>MES</b>	<b>TDS</b>
<b>Unité</b>	°C	mS/cm	-	NTU	mg/L	mg/L
<b>Valeurs Limites</b>	[14 ; 30]	Dépendra de la conductivité de l'eau brute	-	Dépendra de la turbidité de l'eau brute	<50	[35000 ; 40000]
<b>23/05/2024</b>	21,3	81,14	7,84	0,08	0,112	55 986,60
<b>06/06/2024</b>	21,4	80,78	7,71	0,35	0,49	55738,2

**V.1.3.1. Température**

La figure V 17 présente la variation de la température de rejets de saumure en fonction du temps.



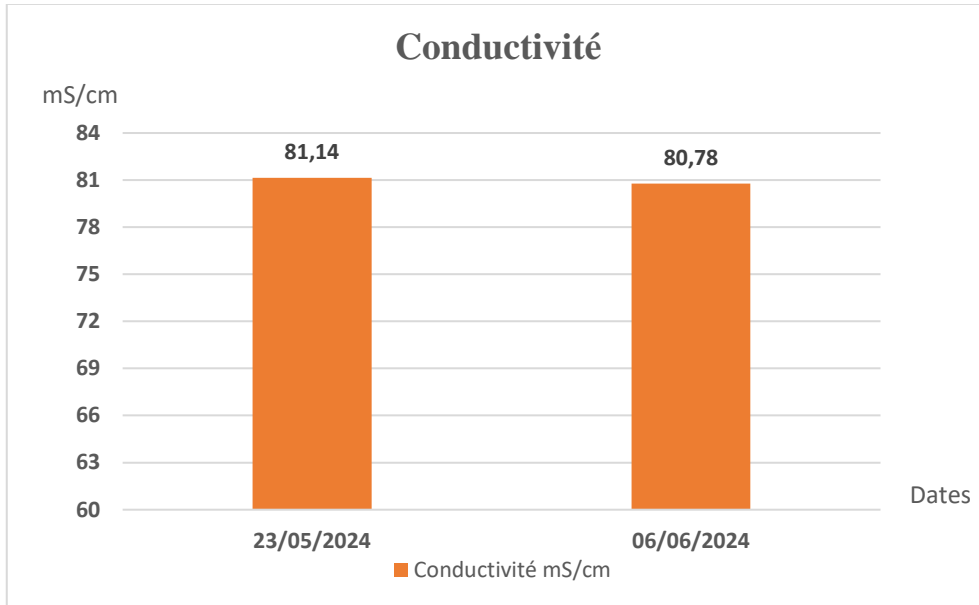
**Figure V 17:** Variation de la Température de rejets de saumure de la SDEM El Marsa

Les températures des rejets de saumure, enregistrées à 21,3°C et 21,4°C, sont légèrement supérieures de la moyenne de 17,36°C de l'eau brute. Bien que ces valeurs dépassent le maximum observé pour l'eau brute (19,04°C), elles restent conformes à la plage acceptable [14 ; 30] °C. Cette augmentation modérée de la température est le résultat du processus d'osmose inverse qui génère de la chaleur en raison des hautes pressions.

Cette élévation thermique, si elle est correctement gérée, ne devrait pas entraîner de perturbations majeures dans les écosystèmes marins récepteurs.

**V.1.3.2. Conductivité**

La figure V 18 présente la variation de la conductivité de rejets de saumure en fonction du temps.



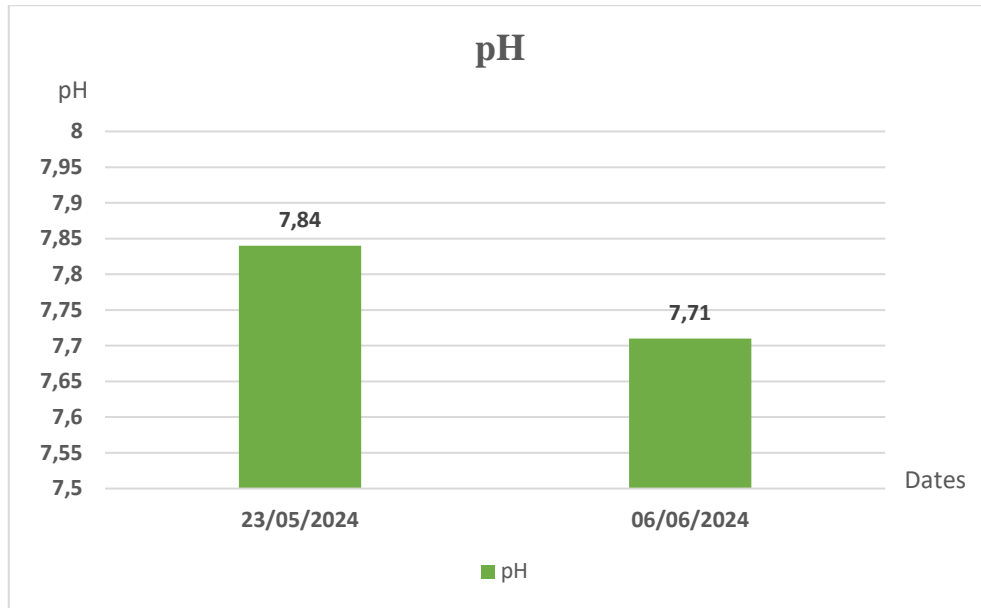
**Figure V 18:** Variation de la conductivité de rejets de saumure de la SDEM El Marsa

La conductivité des rejets de saumure (81,14 mS/cm et 80,78 mS/cm) est significativement plus élevée que celle de l'eau brute (moyenne de 51,54 mS/cm). Cette conductivité accrue traduit une salinité beaucoup plus importante dans les saumures. Cet accroissement de la salinité est une conséquence directe du fonctionnement de l'osmose inverse.

Cette augmentation de la salinité peut entraîner plusieurs problèmes. Tout d'abord, elle peut accélérer la corrosion des infrastructures de rejet, réduisant ainsi leur durée de vie. Ensuite, et surtout, elle crée un environnement hyperhalin localisé qui peut stresser ou même être mortel pour de nombreux organismes marins.

**V.1.3.3. Potentiel d'hydrogène**

La figure V 19 présente la variation de PH de rejets de saumure en fonction du temps.



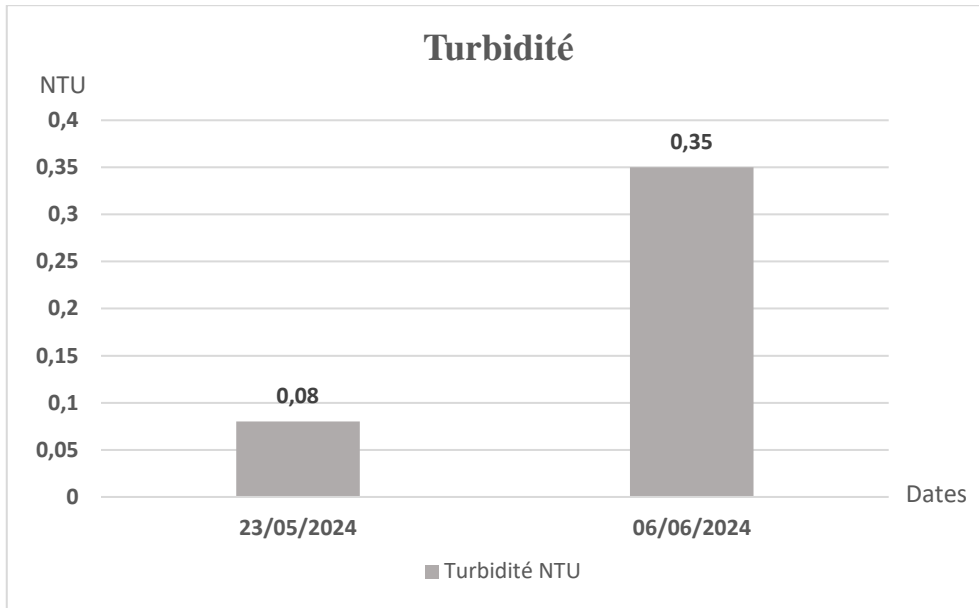
**Figure V 19:** Variation du potentiel d'hydrogène de rejets de saumure de la SDEM El Marsa

Les résultats de pH des rejets (7,84 et 7,71) sont légèrement inférieurs à la moyenne de l'eau brute (8,15). Cette différence de pH pourrait être due à l'ajout d'un acide fort souvent l'acide sulfurique ( $H_2SO_4$ ) pendant l'étape de prétraitement chimique.

Bien que ces valeurs, proches de la neutralité, restent dans une plage acceptable pour la plupart des organismes marins. Il est recommandé de surveiller attentivement pour éviter que les fluctuations cumulatives ne dépassent des seuils critiques pour la vie marine.

**V.1.3.4. Turbidité**

La figure V 20 présente la variation de la turbidité de rejets de saumure en fonction du temps.



**Figure V 20:** Variation de la Turbidité de rejets de saumure de la SDEM El Marsa

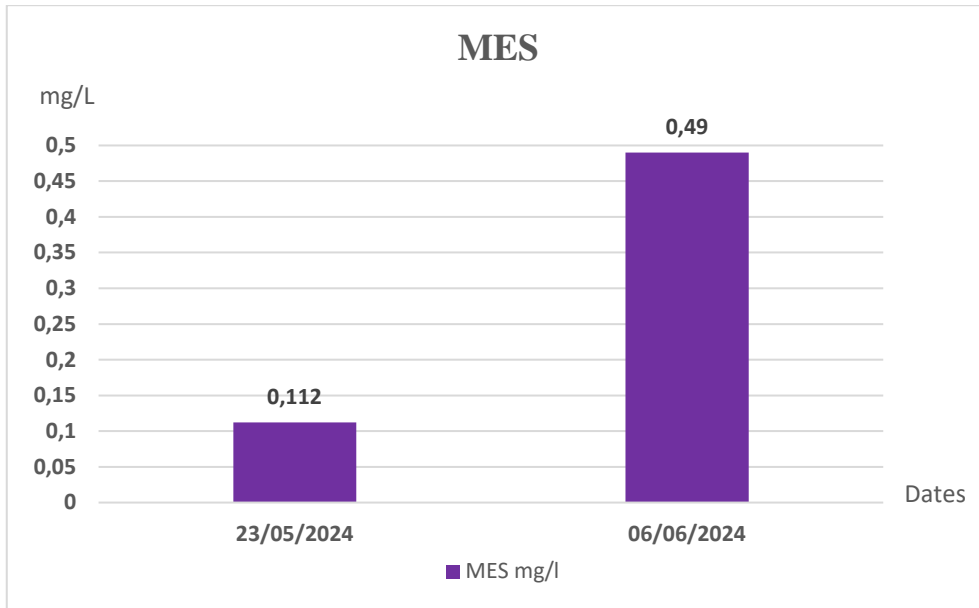
Selon les résultats obtenus, on constate que la turbidité des rejets, mesurée à 0,08 NTU et 0,35 NTU, est nettement plus faible que celle de l'eau brute (avec une moyenne de 1,26 NTU).

Cette diminution est le signe de l'efficacité des étapes de prétraitement pour éliminer les particules en suspension.

Une faible turbidité des rejets est bénéfique car elle réduit les risques de sédimentation excessive, de diminution de la pénétration de la lumière indispensable à la photosynthèse marine.

**V.1.3.5. MES**

La figure V 21 présente la variation de MES de rejets de saumure en fonction du temps.



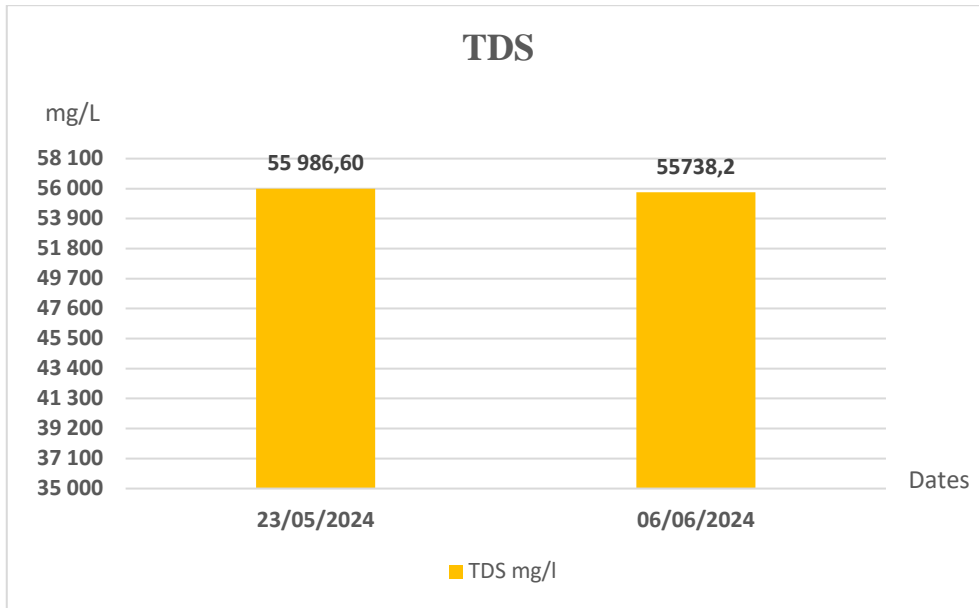
**Figure V 21:** Variation de MES de rejets de saumure de la SDEM El Marsa

Les valeurs de MES dans les rejets (0,112 mg/L et 0,49 mg/L) sont nettement inférieures à la moyenne de l'eau brute (1,77 mg/L) et largement en dessous de la norme (<50 mg/L). Cette réduction significative confirme l'efficacité du prétraitement pour retenir les particules solides.

En effet, des concentrations élevées de particules solides peuvent gravement affecter les écosystèmes aquatiques en limitant la pénétration de la lumière, perturbant la photosynthèse.

**V.1.3.6. TDS**

La figure V 22 présente la variation de TDS de rejets de saumure en fonction du temps.



**Figure V 22:** Variation des TDS de rejets de saumure de la SDEM El Marsa

Les TDS des rejets (55986,60 mg/L et 55738,20 mg/L) sont environ 1,6 fois supérieurs à la moyenne de l'eau brute (35455,78 mg/L), dépassant significativement la plage normale [35000 ; 40000] mg/L.

Cette teneur en sels dissous extrêmement élevée est une conséquence directe du principe de l'osmose inverse.

Ces niveaux élevés de TDS représentent le défi environnemental majeur des rejets de saumure, pouvant causer un stress osmotique sévère pour la faune et la flore marine non adaptées et altérer la stratification haline locale.

# Conclusion générale

### **Conclusion**

L'étude portant sur le dessalement en Algérie, avec un accent particulier sur la station de dessalement d'El-Marsa, a mis en lumière l'importance cruciale de cette technologie pour répondre à la demande croissante en eau du pays. Le dessalement offre des avantages significatifs en termes de disponibilité d'eau potable, mais sa viabilité à long terme repose sur une gestion rigoureuse de ses impacts environnementaux. Pour approfondir notre compréhension, nous avons consulté de nombreuses sources bibliographiques spécialisées dans ce domaine.

Les analyses physico-chimiques de l'eau produite par la station d'El-Marsa ont révélé que cette eau est conforme aux normes de potabilité fixées par l'OMS et les standards algériens. Elle est exempte de contamination bactérienne et pauvre en éléments toxiques et métaux lourds, ce qui atteste de la qualité élevée du traitement et du suivi mis en place.

Bien que le dessalement soit une industrie en expansion dans de nombreux pays méditerranéens pour pallier le manque d'eau potable, il présente des défis environnementaux considérables. Le principal problème réside dans la gestion des rejets de saumure, actuellement déversés directement dans la mer. Cette pratique augmente localement la salinité, avec des conséquences potentiellement graves pour la vie marine. Le rejet de saumure crée une stratification des couches d'eau, réduisant les échanges entre les eaux de surface et de fond, ce qui diminue les concentrations d'oxygène et la pénétration de la lumière. De plus, la présence de produits chimiques dans ces rejets aggrave les risques pour l'écosystème marin.

Pour atténuer ces impacts, il est essentiel de promouvoir la recherche et le développement de technologies de dessalement plus respectueuses de l'environnement, réduisant les effets néfastes des rejets et améliorant l'efficacité énergétique. Ces avancées technologiques pourraient rendre le dessalement plus durable et économiquement viable à long terme.

Il est crucial de mettre en place des mécanismes de contrôle et de suivi continus pour prévenir la dégradation de la qualité de l'eau environnante et préserver la biodiversité marine. Nous recommandons notamment de diluer la saumure avant son rejet, en la mélangeant avec de l'eau de rivière ou des effluents d'eaux usées traitées. Cette approche, combinée à une surveillance rigoureuse des impacts environnementaux, permettrait de minimiser les effets négatifs sur l'écosystème marin tout en maintenant l'efficacité opérationnelle de la station de dessalement.

# Références bibliographique

- ADEM, A.A., (2011).** Impact Des Rejets Des Eaux Usées Sur Le Littoral Algérois, Constat Et Diagnostic De La Situation Actuelle. Mémoire de Master. Alger: ENSSMAL.
- AEC - Document interne, (2022).** Etude D'impact Sur L'environnement Modifiée SDEM El Marsa.
- AEC - Document interne, (2021).** Spécification De La Station d'El Marsa.
- AGGAB, C., (2014).** Caracteristiques Physico-Chimiques Des Eaux De La station de dessalement de Souk Tleta. Mémoire d'ingénieur. Hydrologie. TELEMEN.
- AKLI, S., BEDRANI, S., (2011).** Produire De L'eau Par Le Dessalement Ou En L'économisant Grâce A L'adoption De L'irrigation Localisée. [en ligne]. [consulté le 25/04/2024]. Disponible sur le site: <https://www.ajol.info/index.php/cread/article/view/125714/115254>
- AMINOT, A., CHAUSSEPIED, M., (1983).** Manuel Des Analyses Chimiques En Milieu Marin. Centre National Pour L'exploitation Des Océans Brest. [en ligne]. [consulté le 05/03/2024]. Disponible sur le site: <https://pascal-francis.inist.fr/vibad/index.php?action=getRecordDetail&idt=6411644>
- AMINOT, A., KEROUEL, R., (2007).** Dosage Automatique Des Nutriments Dans Les Eaux Marines : Méthodes En Flux Continu. Paris : éditions Quae.
- AMINOT, A., KEROUEL, R., (2004).** Hydrologie Des Ecosystèmes Marins : Paramètres Et Analyses. Editions Quae. [en ligne]. [consulté le 22/02/2024]. Disponible sur le site: [https://books.google.com/books?hl=fr&lr=&id=dd7qZIWQG8C&oi=fnd&pg=PA5&dq=Aminot+et+K%C3%A9rouel,+2004&ots=4Oc3SbzWpu&sig=AYf9sABW\\_6QGdW9ay7291DKWzEE](https://books.google.com/books?hl=fr&lr=&id=dd7qZIWQG8C&oi=fnd&pg=PA5&dq=Aminot+et+K%C3%A9rouel,+2004&ots=4Oc3SbzWpu&sig=AYf9sABW_6QGdW9ay7291DKWzEE)
- BARNABE, G., (2016).** Chapitre 2. L'eau De Mer. Hors Collect. pp.15-26.
- BEN SIK ALI, M., MNIF, A., HAMROUNI, B., DHAHBI, M., (2010).** Electrolytic Desalination Of Brackish Water: Effect Of Process Parameters And Water Characteristics. Ionics 16, pp.621–629. [en ligne]. [consulté le 05/02/2024]. Disponible sur le site: <https://doi.org/10.1007/s11581-010-0441-2>
- BENHAMOU, S., KADER, N., (2007).** Système De Dessalement Solaire. Mémoire de Master. Ain-Temouchent : Université d'Ain-Temouchent.
- BERLAND, J.-M., JUERY, C., (2002).** Les Procédés Membranaires Pour Le Traitement De L'eau. Document Technique FNDAE N°14, France.
- BERNARD, C., (2015).** L'eau Du Robinet Est-Elle Différente De L'eau En Bouteille? [en ligne]. [consulté le 05/03/2024]. Disponible sur le site: <https://graie.org/eaumelime/meli-melo/questions/qualite-eau-du-robinet/>
- BONTOUX, J., (1993).** Introduction A L'étude Des Eaux Douces: Eaux Naturelles, Eaux Usées, Eaux De Boisson. Liège : édition Cebedoc.
- BOULAHIDJ, M., (1987).** Analyse Des Sels Nutritifs Dans L'eau De Mer. Etude Du Mélange Des Masses D'eau Et De L'oxydation De La Matière Organique Dans L'océan. Thèse de Doctorat. Géochimie Fondamentale France. Université de Paris VII.
- BOUNIFA, M.A.E.B., LAKHDARI, K.E., (2015).** Impact Des Rejets De Dessalement Sur La Qualité Des Eaux De Mer ( Cas Des Trois Stations: Cap Djenat, El Hamma, Fouka Mémoire de Master /Ingénieur. Alger: ENSSMAL.
- CHAMI, S., (2023).** Etude Et Suivi Du Fonctionnement De La Nouvelle Station De Dessalement De L'eau De Mer « El Marsa » . Mémoire de Master. Boumerdes : Université M'hamed Bougara.
- COPIN-MONTEGUT, G., (1996).** Chimie De L'eau De Mer. Institut Océanographique.
- EDDALIA, N., (1990).** Les Sels Nutritifs Et La Matière En Suspension Dans La Baie d'Alger Et Le Golf d'Arzew. Identification Des Masses D'eaux Et De La Pollution. Mémoire d'Ingénieur. Alger : ENSSMAL, p.103.
- FAWAL, N., (2016).** Paramètres Affectants Le Dessalement De L'eau De Mer Par Osmose Inverse (Phd Thesis). Université De Lille 1 Sciences Et Technologies.

- GAUJOUS, D., (1995).** La Pollution Des Milieux Aquatiques : Aide-Mémoire. Paris : Technique & Documentation-Lavoisier.
- GERARD, P., (2002).** Manuel D'analyses Chimiques Dans Leau De Mer.
- GOMELLA, C., GUERREE, H., (1978).** Le Traitement Des Eaux Publiques, Industrielles Et Privees. Paris : Eyrolles.
- GONTHIER, S., (2020).** Le Dessalement De L'eau : Un Outil D'adaptation Potentiel Dans Une Optique De Développement Durable.
- GROSCLAUDE, G.C., (1999).** L'eau, Tome II, Usage Et Polluants, Institut National De La Recherche Agronomique. Paris, France. p.210.
- HUBBS-TAIT, L., KENNEDY, T.S., DROKE, E.A., BELANGER, D.M., PARKER, J.R., (2007).** Zinc, Iron, And Lead : Relations To Head Start Children's Cognitive Scores And Teachers' Ratings Of Behavior. *J. Am. Diet. Assoc.* 107, pp.128–133. [en ligne].[consulté le 13/04/2024].Disponible sur le site: <https://doi.org/10.1016/j.jada.2006.10.001>
- IBGE, (2005).** Qualité Physico-Chimique Et Chimique Des Eaux De Surface : Cadre Général/Institut Bruxellois Pour La Gestion De L'Environnement / Observatoire Des Données De L'Environnement.
- IFERMER, (2017).** FICHE PARAMETRE – Paramètre Hydrologique / TRANSPARENCE Ifremer Environnement. [en ligne].[consulté le 13/03/2024]. Disponible sur le site: [https://ocean-indien.ifremer.fr/content/download/106176/file/Fiche\\_Transparence.pdf](https://ocean-indien.ifremer.fr/content/download/106176/file/Fiche_Transparence.pdf)
- JACQUES, G., TREGUER, P., (1986).** Ecosystèmes Pélagiques Marins. Masson.
- JACQUET, S., (2005).** Impact Des Apports En Nutriments Sur Le Réseau Trophique Planctonique Du Lagon Sud-Ouest De Nouvelle-Calédonie. Thèse De Doctorat. Biodiversité et Ecologie. France. Université Pierre Et Marie Curie-Paris VI.
- JORA, (2014).** Alg\_Normes De Potabilité.JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE.[en ligne].[consulté le 13/05/2024].Disponible sur le site: <https://www.josmose.fr/blog/5-la-tds-c-est-quoi->
- JOSMOSE.FR, (2019).** La TDS C'est Quoi ?[en ligne]. [consulté le 10/05/2024].Disponible sur le site: <https://www.josmose.fr/blog/5-la-tds-c-est-quoi->
- KAAB, I., HAMA, N., (2023).** Suivi Du Procédé De Dessalement De L'eau De Mer De La Station d'El Marsa Et Caractérisation Des Rejets De Saumure. Mémoire de (Ingénieur / Master). Alger : ENSSMAL.
- KEDDARI, F., (2020).** Concept Et Paramètres De Traitement De L'eau De Mer Par La Station De Dessalement De Tenes. Mémoire de Licence. Bouira : Université Akli Mohand Oulhadj.
- KEHAL, S., (2001).** Retrospective Et Perspective Du Dessalement En Algérie. *Desalination* 136, pp.35–42. [En ligne]. [Consulté le 14/05/2024]. Disponible sur le web : [https://doi.org/10.1016/S0011-9164\(01\)00162-X](https://doi.org/10.1016/S0011-9164(01)00162-X)
- KESBI, A., (2017).** Analyses Physico-chimiques Des Eaux De Mer Dessalées Par Distillation « Cas D'alzinc - Ghazaouet ». Mémoire de Master. Telmcen : Université Abou Bekr Belkaid.
- LACAZE, J., (1996).** La Pollution Des Mers. Paris : édition Flammarion.
- LACOUÉ-LABARTHE, T., (2007).** Incorporation Des Métaux Dans Les Œufs De La Seiche Commune *Sepia Officinalis* Et Effets Potentiels Sur Les Fonctions Digestives Et Immunitaires. Thèse De Doctorat. France : Université De La Rochelle.
- LADEWIG, B., ASQUITH, B., (2012).** Evaporation Ponds | Springerlink. [En ligne]. [Consulté le 14/02/2024]. Disponible sur le web : [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-24852-8\\_7](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-24852-8_7)
- LE GAL, Y., (1988).** Biochimie Marine. Masson Paris. [En ligne]. [Consulté le 07/03/2024]. Disponible sur le web : <https://pascal-francis.inist.fr/vibad/index.php?action=getRecordDetail&idt=107245>
- LEFEBVRE, Y., (1993).** Circuits Eau De Mer. Trait. Matér. Tech. Paris.

- LEVITUS, S., CONKRIGHT, M.E., REID, J.L., NAJJAR, R.G., MANTYLA, A., (1993).** Distribution Of Nitrate, Phosphate And Silicate In The World Oceans. Prog. Oceanogr. 31, pp.245–273.
- LOUTIS, D., HACHEB, H., (2023).** Etude De Procédés Et Suivi Du Processus De Dessalement Des Eaux De Mer : Cas Station : Fouka Marine. Mémoire de (Ingénieur / Master). Alger : ENSSMAL.
- MAUREL, A., (2006).** Dessalement De L'eau De Mer Et Des Eaux Saumâtres.
- MOUDJEBER, R.D.-E., (2015).** Utilisation Des Energies Renouvelables Dans Le Dessalement : Cas De l'Algérie. Thèse de doctorat. Mostaganem : Université de Mostaganem
- OMS, (2017).** Directives De Qualité Pour L'eau De Boisson. [En ligne]. [Consulté le 14/05/2024]. Disponible sur le web : <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/258887/9789242549959-fre.pdf>
- OMS, (2006).** Normes de l'OMS sur l'eau potable. [En ligne]. [Consulté le 12/03/2024]. Disponible sur le web : <https://www.lenntech.fr/applications/potable/normes/normes-oms-eau-potable.htm>.
- PICOT, A., MONTANDON, F., (2013).** Écotoxicochimie Des Hydrocarbures. Ed. Lavoisier Paris.
- PNUE, (2023).** Lignes Directrices Actualisées Sur La Gestion Des Activités De Dessalement. [En ligne]. [Consulté le 12/04/2024]. Disponible sur le web : [https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/22569/17ig23\\_23\\_2313\\_fre.pdf](https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/22569/17ig23_23_2313_fre.pdf)
- PNUE, (2003).** DESSALEMENT DE L'EAU DE MER EN MÉDITERRANÉE ÉVALUATION ET LIGNES DIRECTRICES, MAP Technical Reports Series. United Nations Environment Programme, Athens.
- PNUE, (2001).** Dessalement De L'eau De Mer Dans Les Pays Méditerranéens: Evaluation Des Impacts Sur L'environnement Et Lignes Directrices Proposées Pour La Gestion Des Saumures.
- PURE AQUA, INC, (2019).** Avantages Des Systèmes De Désaliénation d'Eau De Mer. [En ligne]. [Consulté le 14/05/2024]. Disponible sur le web : <https://fr.pureaqua.com/9-avantages-des-systmes-de-dsalination-deau-de-mer/>.
- RAMADE, F., PAPIGNY, A.G., (2000).** Dictionnaire Encyclopédique Des Pollutions : Les Polluants, De L'environnement A L'homme. Ediscience International Paris.
- RAPPORT INTERNE AEC.**
- RENAUDIN, V., CHAMPION, G., (2003).** Le Dessalement De L'eau De Mer Et Des Eaux Saumâtres. CNRS Nancy.
- RODIER, J., (2010).** Analyse De L'eau Naturelle, Eau De Mer Et Eau Industrielle.
- RODIER, J., (2005).** L'analyse De L'eau Naturelle, Eaux Résiduares, Eaux De Mer. 8ème Edition DUNOD Technique. Paris.
- RODIER, J., (1997).** L'analyse De L'eau - Eaux Naturelles, Eaux Résiduares, Eau De Mer. Paris : Librairie Eyrolles.
- RODIER, J., GEOFFRAY, C., RODI, L., (1996).** L'analyse De L'eau: Eaux Naturelles, Eaux Résiduares, Eau De Mer: Chimie, Physico-Chimie, Bacteriologie, Biologie. Paris : Dunod.
- RODIER, J., LEGUBE, B., MERLET, N., BRUNET, R., (2009).** L'analyse De L'eau - 9e Ed.: Eaux Naturelles, Eaux Résiduares, Eau De Mer. Paris : Dunod.
- ROVEL, J.-M., (2017).** Dessalement De L'eau De Mer.
- SDEM EL MARSA, (2022).** Manuel D'exploitation Et De Maintenance SDEM El Marsa. Document interne.
- SLCE, (2006).** Projet D'évolution De La Station De Dessalement D'eau De Mer Par Osmose Inverse De L'île De Sein : Installation D'un Module De Récupération D'énergie Par Echange De Pression.

## Références bibliographiques

- STATIONS DE DESSALEMENT DE L'EAU DE MER, (2021).** Document interne.
- TANSAKUL, C., (2009).** Procédés Hybrides A Membranes Pour Les Prétraitements D'eau De Mer Avant Dessalement Par Osmose Inverse. Thèse De Doctorat, Univ Toulouse.
- TATA-DUCRU, F., (2009).** Dessalement De L'eau De Mer : Bilan Des Dernières Avancées Technologiques ; Bilan Economique ; Analyse Critique En Fonction Des Contextes. Agence Fr.
- TOUIDJINI, Z., BENARAB, A., (2013).** Sécurité Hydrique Et Sécurité Alimentaire, La Stratégie De l'Algérie, Etat Des Lieux.
- VOUTCHKOV, N., KAISER, G., STOVER, R., LIENHART, J., AWERBUCH, L., (2019).** Sustainable Management Of Desalination Plant Concentrate -Desalination Industry Position Paper - Energy And Environment Committee Of The International Desalination Association (Ida).

# Annexes

## ANNEXE I

### ANNEXE I

#### Choix du site de station de dessalement :

Le choix du site pour la station de dessalement repose sur des études approfondies couvrant divers aspects du projet. Ces études comprennent :

- Étude de la Qualité de l'Eau de Mer : Une analyse détaillée de la composition de l'eau de mer est effectuée pour garantir la viabilité du processus de dessalement.
- Étude de l'Environnement Marin :
  - Courants et Houle : Évaluation des caractéristiques des courants et de la houle.
  - Stabilité de la Tour de Captage : Analyse de la stabilité structurelle de la tour de captage.
  - Longueur des Vagues : Mesure de la longueur des vagues pour une conception optimale.
- Étude des Sédiments et de la Bathymétrie : Analyse des sédiments et de la bathymétrie des fonds marins.
- Étude de l'Impact Environnemental : Évaluation des répercussions potentielles de la station sur l'écosystème environnant.
- Étude du Terrain :
  - Risque de Glissement de Terrain : Analyse des risques de glissement de terrain.
  - Risque Sismique : Prévention des failles sismiques potentielles.
  - Nappes Phréatiques : Étude de la présence des nappes phréatiques.
- Étude des Vents Prédominants : Analyse des vents dominants pour orienter le positionnement de la tour de rejet.
- Étude de l'Accessibilité à l'Énergie : Évaluation de la disponibilité et de l'accessibilité des sources d'énergie pour la station.

Ces analyses approfondies ont guidé la conception de la station, garantissant une approche holistique et durable du projet de dessalement. **(Rapport de stage El Marsa, 2023)**

## ANNEXE I

**Tableau 1:** Liste des stations en exploitation

<b>Stations</b>	<b>Capacité journalière m<sup>3</sup>/j</b>
HAMMA	200 000
FOUKA 1	120 000
CAP DJINET	100 000
TENES	200 000
MOSTAGANEM	200 000
MAGTAA	500 000
KAHRAMA	86 880
BENISAF	200 000
HONAINÉ	200 000
SIKDA	100 000
SOUK TLATA	200 000

**Tableau 2:** Liste des stations en exploitation réalisé dans le plan d'urgence

<b>Stations</b>	<b>Capacité journalière m<sup>3</sup>/j</b>
Bateau cassé	10 000
El Marsa	60 000
Corso	80 000

**Tableau 3:** Liste des méga-stations en cours de réalisation pour l'année 2024

<b>Stations</b>	<b>Capacité journalière m<sup>3</sup>/j</b>
CAP BLANC	300 000
FOUKA 2	300 000
CAP DJINET 2	300 000
BEJAIA	300 000
EL TARF	300 000

## ANNEXE I

**Tableau 4:** Grille d'impacts néfastes sur l'environnement associé aux procédés de dessalement  
(AEC - Document interne, 2022)

Impact	Degré d'impact	Origine de l'impact	Techniques d'atténuation
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pollution thermique, réduction de l'oxygène dissous dans les eaux réceptrices.</li> <li>• Effets nocifs pour les espèces thermorésistantes</li> </ul>	M	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Saumure chaude</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mélange de la saumure avec de l'eau froide avant le rejet.</li> <li>• Bassins de retenue</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Salinité accrue</li> <li>• Effets nocifs pour les espèces résistantes aux sels</li> </ul>	M	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Saumure concentrée</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dilution de la saumure avant rejet</li> <li>• Récupération de sels</li> <li>• Bon choix de l'emplacement pour l'émissaire afin de permettre le maximum de brassage et de dispersion</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Désinfectants</li> </ul>	E	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Chlore et ses composés</li> <li>• Réaction du chlore avec des composés organiques-hydrocarbures principalement</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Utilisation d'autres désinfectants.</li> <li>• Mesures de protection contre les polluants au prélèvement de l'usine.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Métaux lourds- toxicité</li> </ul>	M	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Corrosion du matériel de l'usine</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conception et choix judicieux du matériel de l'usine en recourant à des matériaux résistants à la corrosion</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Produits chimiques : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Eutrophisation des eaux réceptrices</li> <li>- Toxicité</li> <li>- Hausse du pH</li> </ul> </li> </ul>	E F F	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Adjonction d'agents anticorrosion et antitartre</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Réduction au minimum de l'utilisation de produits chimiques</li> <li>• Utilisation d'additifs sans danger pour l'environnement</li> </ul>

## ANNEXE I

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pollution atmosphérique</li> <li>• Plus acides</li> <li>• Effet de serre</li> <li>• Poussières</li> </ul>	<p>F M M</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Utilisation de combustibles et activités d'élimination</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Utilisation d'énergies propres et renouvelables autant que possible</li> <li>• Application de systèmes mixtes et de production couplée</li> <li>• Purification des gaz avant émission dans l'atmosphère</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sédiments</li> <li>• Turbidité et limitation de la photosynthèse</li> <li>• Difficulté de respiration</li> </ul>	<p>M</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Perturbation des sables par des activités</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Réduction au minimum et contrôle des activités d'excavation et remblayage</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Chez les animaux aquatiques</li> </ul>	<p>M</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• D'excavation et de dragage</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bonne maîtrise du ruissellement dans la zone du site</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bruit</li> </ul>	<p>F</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Activités de construction</li> <li>• Pompes et autres appareils au cours de l'exploitation de l'usine</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Limitation des activités de construction aux seuls horaires de travail</li> <li>• Choix du matériel le moins bruyant</li> </ul>

**E** : impact de degré élevé

**M** : de degré moyen

**F** : de degré faible

## ANNEXE I

**Tableau 5:** Effets cumulatifs directs et indirects, temporaire et permanents, positifs et négatifs et mesure de réduction et de compensation

Elément Environnemental impacté	Description de l'effet	Evaluation de l'effet (nul, positif ou négatif) avant la prise de mesures d'évitement, de réduction et de compensation				Mesures d'évitement, de réduction et de compensation
		Direct	Indirect	Temporaire	Permanent	
Eaux souterraines et eaux superficielles	Impact sur la ressource en eau	-	-	-	-	-Mise en place d'un système de traitement des eaux usées (bassins de décantation) en phase de construction avant rejet au milieu naturel. - Limiter l'effort des rejets notamment des produits. - Pas de rejet direct au milieu naturel ni dans le réseau public.
	Modification des conditions d'écoulement	0	-	-	0	-Pas d'augmentation des surfaces imperméabilisées. - Le sol (plate-forme) de la SDEM doit être étanche et imperméable. - Création d'un système de prétraitement des effluents industriels permettant de diminuer la charge polluante
	Atteinte de la qualité des eaux souterraines et superficielles	-	-	-	-	- Même remarque que précédemment A noter que le site est en voie de création

## ANNEXE I

<b>Ambiance sonore</b>	Augmentation des niveaux sonores	-	0	-	0	-Mise en place de dispositifs d'atténuation du niveau sonore généré par la SDEM (collectifs et individuels). -Trafic Poids lourd limité aux périodes diurnes et nocturnes.
<b>L'atmosphère</b>	-Pollution de l'air. -Emission particules de -Poussière de soudure -Odeurs de peinture	-	-	-	-	-Mise en place d'un dispositif de réduction à la source des émissions dans l'air (poussières, vapeurs et odeurs) -Assurer une bonne aération et ventilation naturelle et artificielle -Disposition des équipements de protection collectifs et individuels
<b>Ressources énergétiques</b>	Epuisement et consommation d'énergie non renouvelable	-	-	0	-	-Mise en place des condensateurs énergétiques. -Economiser l'énergie -Etablir un audit énergétique périodique -Réflexion pour la mise en place des énergies renouvelables (panneaux solaires) à moyen et à long terme selon budget -Appliquer les bonnes pratiques relatives à l'économie d'énergie
<b>Paysage</b>	Vues rapprochées et éloignées	-	-	0	-	Le site est une nouvelle création. Des constructions (techniques/administratifs) de l'installation sur un terrain vierge (site situé au niveau du littoral- bais d'Alger- El Marsa) Les déchets entrants et sortants seront stockés dans un endroits aménagé, limitant les vues directes doit être évacués dans les 48h
<b>Milieux naturel</b>	Impacts sur les milieux naturels	-	-	-	-	Le site de la SDEM se trouve au niveau du littoral-bais d'Alger-El Marsa.

## ANNEXE I

	sites écologique sensible					Les autres sites sensibles les plus proches se trouvent à plus de 2km.
	Impacts faune/ flore terrestre et marine	-	-	-	-	<p>Limiter les impacts du projet à l'intérieur du site (à prendre en compte)</p> <p>Prise en charge obligatoire de la saumure générée par le processus</p>
<b>Activités humaines</b>	Impact sur le trafic	+	-	0	-	<p>Limiter la vitesse à 15km/h aux alentours du site du projet</p>
	Impact sur l'économie (agriculture, tourisme, patrimoine culturel)	+	+	+	+	<p>-Emploi de plus 100 personnes au démarrage de l'exploitation : pas d'impact négatif sur les activités voisines.</p> <p>-Le site est relativement loin des terres à fort potentiel agricoles</p> <p>-Aucun site touristique n'est à proximité du site du projet</p> <p>-Aucun site sensible, culturel ou à caractère religieux n'est à proximité directe du site du projet</p>
<b>Génération des déchets solides</b>	Déchets spéciaux Déchets spéciaux dangereux	- 0	- -	- 0	0 0	<p>-Mise en place d'un endroit spécifique pour le stockage des déchets spéciaux et spéciaux dangereux.</p> <p>-Rechercher des circuits de valorisation crédibles</p> <p>-Conventionner avec des récupérateurs agréés</p>
	Autres déchets solides	-	-	-	0	<p>Appliquer la méthode des 3 R (récupération, réutilisation, recyclage) in situ dans la mesure du possible</p>

### Lavage du filtre à sable :

Après plusieurs heures de filtration, une diminution du débit est constatée, causée par le colmatage du filtre. Un nettoyage par lavage à contre-courant est alors effectué.

Le nettoyage des filtres gravitaires à double couche sera réalisé selon un processus de lavage à contre-courant combinant séparément deux étapes : le barbotage à l'air et le lavage à la saumure d'osmose inverse. L'objectif étant d'éliminer les saletés et les solides accumulés dans le média filtrant granulaire, un rinçage final à l'eau de mer permettra d'évacuer l'excès de sel. (KAAB and HAMA, 2023)

### Récupération d'énergie :

À la sortie des membranes d'osmose inverse (OI), 55 % de l'eau est rejetée sous forme de concentrat. Ce concentrat possède une énergie hydraulique importante qu'il convient de récupérer afin de réduire la consommation d'énergie électrique. Le taux d'énergie économisée dépend du système mis en place. La récupération de l'énergie du concentrat produit pendant le procédé d'OI se fait grâce à des échangeurs de pression.

Le dispositif concerne un échangeur de pression permettant de transférer l'énergie de pression d'un flux de fluide à haute pression vers un flux à basse pression. Il se compose d'un rotor en céramique positionné sur un axe central entre deux capuchons d'extrémité, à l'intérieur d'un récipient sous pression. Deux paires d'entrées et de sorties coaxiales sont en communication avec deux orifices distincts : un orifice basse pression et une paire d'orifices haute pression. Pendant le fonctionnement, seul le rotor tourne dans le revêtement en céramique, constituant la pièce mobile. (KAAB and HAMA, 2023)



**Figure 1:** les échangeurs de pression (ERD) et la pompe booster

## ANNEXE II

### **L'indice de colmatage des membranes (SDI) :**

➤ Objectif :

L'indice de colmatage est mesuré pour évaluer la concentration en matières solides dans une teneur en eau particulière, ce qui permet de déterminer le degré de colmatage des membranes.

➤ Méthode de mesure :

Le kit de mesure manuel d'indice de colmatage est utilisé pour effectuer la mesure. Il implique la filtration d'un échantillon d'eau à travers un papier filtre de 0,45 µm sous pression pour déterminer l'indice de colmatage en 15 min.

➤ Valeur cible de l'indice de colmatage :

Pour l'eau utilisée dans le processus d'osmose inverse, l'indice de colmatage visé est inférieur à 5. Cela indique un faible niveau de colmatage des membranes, ce qui est essentiel pour maintenir l'efficacité du processus de dessalement.

En surveillant régulièrement l'indice de colmatage des membranes et en prenant des mesures de nettoyage appropriées lorsque nécessaire, il est possible de garantir le bon fonctionnement et la durabilité des membranes d'osmose inverse dans le processus de dessalement d'eau de mer.

### **Le nettoyage des membranes d'osmose inverse (OI) :**

Le nettoyage périodique des membranes d'osmose inverse est essentiel pour maintenir leur efficacité et prolonger leur durée de vie. Ce processus est réalisé à l'aide d'un système de nettoyage en place (NEP ou CIP - Clean-In-Place).

Le CIP des membranes OI se déroule en plusieurs étapes successives avec des solutions chimiques spécialement conçues pour éliminer les différents types de colmatage tels que l'entartrage, l'encrassement organique et biologique. Une séquence complète peut durer de 2 à 5 heures, comprenant le remplissage, la circulation des solutions, l'immersion, le rinçage et le pompage à haut débit.

Dans le cas spécifique mentionné, 77 tubes de membranes OI sont nettoyés simultanément, en utilisant des débits et durées de circulation, d'immersion et de rinçage bien définis pour assurer un nettoyage efficace.

Le CIP comporte deux phases principales :

1. CIP avec la soude (NaOH) : Une solution de NaOH à 1 g/L et pH 12 est préparée dans un réservoir de 28 m<sup>3</sup> et injectée dans les membranes en circuit fermé pendant 12 heures pour éliminer les matières organiques, MES et CaSO<sub>4</sub>.
2. CIP avec l'acide citrique (C<sub>6</sub>H<sub>8</sub>O<sub>7</sub>) : Une solution d'acide citrique à 20 g/L et pH 2-3 est préparée et stockée dans un réservoir de 28 m<sup>3</sup>, avant d'être injectée dans les membranes en circuit fermé pendant 12 heures pour éliminer Mg, Fe et CaCO<sub>3</sub>.

## ANNEXE II

Un procédé de rinçage à l'eau de perméat est ensuite effectué, suivi de tests de différence de pression et de débit de perméat pour vérifier l'efficacité du nettoyage.

Après le CIP, les eaux usées chimiques doivent être neutralisées dans un réservoir de neutralisation avant leur évacuation vers la mer, en ajustant le pH entre 6,5 et 8,5 par ajout de soude ou d'acide sulfurique selon la nature des solutions. (AEC - Document interne, 2021 ; CHAMI, 2023)



**Figure 2:** système de nettoyage des membranes unité CIP

### **Salle de contrôle automatique :**

La salle de contrôle automatique de la station de dessalement d'El Marsa est un élément central du fonctionnement efficace de l'installation. Équipée d'un système de surveillance et de contrôle automatisé SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition), elle assure la supervision et le contrôle en temps réel du processus de dessalement. Ce système fournit aux opérateurs un accès visuel et opérationnel complet aux données provenant de capteurs et d'instruments, transformant la salle de contrôle en un centre stratégique pour la gestion des activités industrielles.

### **Principales tâches du SCADA :**

- Contrôle des Pompes et Vannes :
  - Permet le contrôle des pompes pour acheminer l'eau de mer à travers le système de dessalement.

## ANNEXE II

- Régle l'ouverture et la fermeture des vannes pour gérer le flux d'eau à différentes étapes du processus.
- Collecte et Archivage des Données :
  - Collecte des données historiques sur les performances du système.
  - Permet l'analyse postérieure pour identifier des tendances, optimiser les procédures et anticiper les problèmes potentiels.
- Génération d'Alertes :
  - Génère des alertes en cas de conditions anormales ou de dépassement de seuils prédéfinis.
- Interface Utilisateur :
  - Fournit une interface conviviale pour la surveillance en temps réel, le contrôle et la réponse aux événements.

### Système de Contrôle et Supervision (SCADA ou DCS)

Le système SCADA assure une gestion optimale de chaque zone de la station de dessalement. L'automate programmable, doté de ports de communication supportant divers protocoles (PROFIBUS, MODBUS, HART), assure la signalisation des états des entrées/sorties et la communication avec les instruments de mesure. Il acquiert les données suivantes :

- Débits mesurés dans chaque unité d'osmose inverse, station d'eau de mer et d'eau produite.
- État des groupes électropompes, pompes doseuses et vannes tout-ou-rien ou de régulation.
- Valeurs de pression aux différents points du processus.
- Informations sur le matériel d'injection des produits chimiques.
- Caractéristiques chimiques de l'eau (pH, conductivité, etc.).
- Alarmes.

### Composants du Système :

- Un automate redondant de marque réputée, garantissant un fonctionnement ininterrompu.
- Un système d'acquisition de données extensible via des modules d'entrées/sorties analogiques et numériques.
- Un stockage de données redondant pour récupérer les données en cas de défaillance.
- Un espace de stockage suffisant pour les opérations SCADA/DCS (configuration, programmation,
- Une interface de navigation en français ou anglais.

## **ANNEXE II**

Ce système sophistiqué permet une gestion efficace et sécurisée de la station de dessalement, assurant une qualité d'eau optimale pour la consommation humaine et la protection des infrastructures.(AEC - Document interne, 2021 ; Rapport de stage El Marsa, 2023)

## **ANNEXE III**

### **ANNEXE III**

#### **Analyse de MES par filtration :**

##### **➤ Matériels**

- L'eau à analyser.
- L'eau distillée.
- Bécher à 250 ml.
- Creusets en verre.
- Filtre en fibre de verre.
- Equipement de filtration : Rompe de filtration, le cône de filtration, filtres, pompe à vide.
- Fiole en verre.
- Eprouvette en verre de 500ml.
- Une pince.
- Dessiccateur.
- Etuve.

##### **➤ Mode opératoire**

- Mettre un creuset en verre sur la balance et éliminer son poids.
- Mettre dans le creuset un filtre en fibre de verre 0,7  $\mu\text{m}$  et noter le poids ( $P_0$ )
- Placer le filtre sous le cône de filtration (équipement de filtration).
- Vérifier le bon positionnement du robinet de la rampe de filtration : tourner le robinet 45° par rapport à la position de fermeture.
- Vider le tuyau reliant la rampe de filtration à la fiole en verre.
- Vérifier que la fiole en verre est vide et que son bouchon est bien fermé
- Mélanger énergiquement le flacon contenant au moins 1 litre d'échantillon.
- Remplir rapidement une éprouvette en verre de 500ml.
- Transvaser rapidement le contenu de l'éprouvette dans le cône de filtration.

### ANNEXE III

- Mettre la pompe à vide en marche et l'arrêter lorsque tout l'échantillon sera filtré (garder le filtrat pour mesurer le TDS).
- Rincer l'éprouvette en verre graduée de 500 ml avec 20 ml d'eau distillé et laver le filtre, puis rincer les parois internes de l'entonnoir avec un autre volume de 20 ml d'eau distillé.
- L'échantillon contient plus de 1000mg/L de matières dissoutes (résidus secs), laver de nouveau le filtre avec trois volumes de 50ml d'eau distillée.
- Retirer le cône de filtration et décoller délicatement avec une pince le filtre. Puis le déposer dans le creuset en verre d'origine.
- Introduire le creuset en verre contenant le filtre dans une étuve dont la température est maintenue à 105 °C pendant 2 h.
- Noter l'heure d'introduction du creuset.
- Après 2 heures de séchage, laisser refroidir le creuset contenant le filtre dans un dessiccateur pendant environ 15 min.
- Reposer le creuset en verre contenant le filtre sur la balance puis avec une pince retiré le filtre et annuler le poids du creuset.
- Remettre le filtre dans le creuset et noter son poids ( $P_1$ ).
- On calcule les MES suivant l'expression suivante :

$$\text{MES (mg/L)} = (P_0 - P_1) \times 2000$$

$P_0$  : Poids du filtre sec avant filtration (mg).

$P_1$  : Poids du filtre sec après filtration (mg).

V : volume de l'eau de mer filtré (L)

#### ➤ **Appareillage**

- Une étuve.
- Un dessiccateur.
- Une balance.

## **ANNEXE III**

### **Analyse des TDS par filtration :**

#### **➤ Matériels**

- L'eau à analyser.
- L'eau distillée.
- Bécher à 250 ml.
- Creusets en porcelaine.
- Equipement de filtration : Rompe de filtration, le cône de filtration, filtres, pompe à vide.
- Fiole en verre.
- Eprouvette en verre de 500ml.
- Une pince.
- Etuve.
- Dessiccateur.

#### **➤ Mode opératoire**

- Pour déterminer les TDS à partir des matières dissoutes. Eliminer préalablement les matières en suspension présentes dans l'échantillon d'eau par filtration sur un filtre en fibres de verre.
- Peser un creuset vide en porcelaine d'une contenance de 200 ml, soit  $P_0$  sa masse.
- Placer le filtre sous le cône de filtration (équipement de filtration).
- Vérifier le bon positionnement du robinet de la rampe de filtration : tourner le robinet  $45^\circ$  par rapport à la position de fermeture.
- Vider le tuyau reliant la rampe de filtration à la fiole en verre.
- Vérifier que la fiole en verre est vide et que son bouchon est bien fermé.
- Mélanger énergiquement le flacon contenant au moins 1 litre d'échantillon.
- Remplir rapidement une éprouvette en verre de 500ml.
- Transvaser rapidement le contenu de l'éprouvette dans le cône de filtration.
- Mettre la pompe à vide en marche et l'arrêter lorsque tout l'échantillon sera filtré, le filtrat ayant été récupéré dans la fiole en verre.

### ANNEXE III

- Mélanger le filtrat contenu dans la fiole en verre, tout en prélevant rapidement 200 ml à l'aide d'une fiole jaugée de 200 ml.
- Sans attendre, Verser le contenu de l'éprouvette dans le creuset en porcelaine précédemment pesé ( $P_0$ ).
- Introduire le creuset en porcelaine contenant les 200 ml de filtrat dans une étuve qu'on allumera, sa température étant réglée à 180°C.
- Le creuset en porcelaine restera 12 heures ( $\pm$ ) à l'intérieur de l'étuve (noter l'heure d'introduction du creuset).
- Après séchage, refroidir le creuset en porcelaine dans un dessiccateur pendant 20 min.
- Peser le creuset en porcelaine contenant les matières dissoutes, soit  $P_1$  de sa masse.
- Calculer les TDS suivant une expression bien définie :

$$\text{TDS (mg/L)} = (P_1 - P_0) \times 5$$

$P_1$  : la masse du creuset et de son contenu (mg), après chauffage à 180°C  $\pm$  5°C.

$P_0$  : la masse du creuset vide (mg).

#### ➤ **Appareillage**

- Une étuve
- Un dessiccateur
- Une balance

### ANNEXE III



**Figure 3:** Agitateur



**Figure 4:** Dessiccateur



**Figure 5:** pH mètre



**Figure 6:** Multi-paramètres



**Figure 7:** Turbidimètre

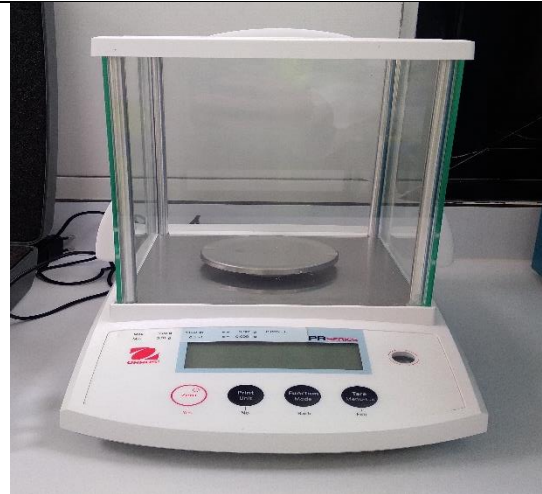


**Figure 8:** photomètre

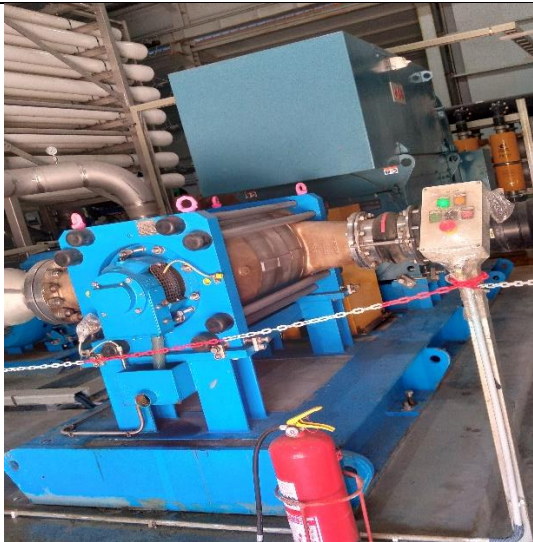
## ANNEXE III



**Figure 9:** La hotte



**Figure 10:** Balance de précision



**Figure 11:** La pompe HP



**Figure 12:** Tubes de pression d'osmose inverse

## ANNEXE IV

### Les Normes Algérienne (référence)

**Tableau 6:** paramètres avec valeurs limites(JORA, 2014)

GROUPE DE PARAMETRES	PARAMETRES	UNITES	VALEURS LIMITES
Paramètres chimiques	Aluminium	mg/L	0,2
	Ammonium	mg/L	0,5
	Baryum	mg/L	0,7
	Bore	mg/L	- Eaux conventionnelles : 1 - Eaux déssalées ou déméralisées : 1,3
	Fluorures	mg/L	1,5
	Nitrates	mg/L	50
	Nitrites	mg/L	0,2
	Oxydabilité	mg/L O2	5
	Acrylamide	µg/L	0,5
	Antimoine	µg/L	20
	Argent	µg/L	100
	Arsenic	µg/L	10
	Cadmium	µg/L	3
	Chrome total	µg/L	50
	Cuivre	mg/L	2
	Cyanures	µg/L	70
	Mercure	µg/L	6
	Nickel	µg/L	70
	Plomb	µg/L	10
	Sélénium	µg/L	10
Zinc	mg/L	5	
Hydrocarbures polycycliques aromatiques (H.P.A) totaux Fluoranthène, benzo (3,4) fluoranthène,	µg/L	0,2	

benzo (tt,t2) fluoranthène, benzo (3,4) pyrène, benzo (t,t2) pérylène, indéno (t,2,3-cd) pyrène, benzo (3,4) pyrène	µg/L	0,01
Benzène	µg/L	10
Toluène	µg/L	700
Ethylbenzène	µg/L	300

GROUPE DE PARAMETRES	PARAMETRES	UNITES	VALEURS LIMITES
Paramètres chimiques (suite)	Xylènes	µg/L	500
	Styrène	µg/L	100
	Agents de surface régissant au bleu de méthylène	mg/L	0,2
	Epychlorehydrine	µg/L	0,4
	Microcystine LR	µg/L	1
	Pesticides par substance individualisée		
	- Insecticides organochlorés persistants	µg/L	0,1
	- Insecticides organophosphorés et carbamates	µg/L	0,1
	- Herbicides	µg/L	0,1
	- Fongicides	µg/L	0,1
	- P.C.B	µg/L	0,1
	- P.C.T	µg/L	0,1
	- Aldrine	µg/L	0,03
	- Dieldrine	µg/L	0,03
	- Heptachlore	µg/L	0,03
	- Heptachlorépoxyde	µg/L	0,03
	Pesticides (Totaux)	µg/L	0,5
Bromates	µg/L	10	
Chlorite	µg/L	0,07	
Trihalométhanés par substance individualisée :			
-Chloroforme	µg/L	200	
- Bromoforme	µg/L	100	
- Dibromochlorométhane	µg/L	100	

	- Bromodichlorométhane	µg/L	60
	Chlorure de vinyle	µg/L	0,3
	t,2-Dichloroéthane	µg/L	30
	t,2-Dichlorobenzène	µg/L	1000
	t,4-Dichlorobenzène	µg/L	300
	Trichloroéthylène	µg/L	20
	Tetrachloroéthylène	µg/L	40
Radionucléides	Particules alpha	Picocurie/L	15
	Particules bêta	Millirems/an	4
	Tritium	Bequerel/L	100
	Uranium	µg/L	30
	Dose totale indicative (DTI)	mSv/an	0,15
paramètres microbiologiques	Escherichia Coli	n/100ml	0
	Entérocoques	n/100ml	0
	Bactéries sulfitoréductrices y compris les spores	n/20ml	0

**Tableau 7:** Paramètres avec valeurs indicatives(JORA, 2014)

GROUPE DE PARAMETRES	PARAMETRES	UNITES	VALEURS INDICATIVES
Paramètres Organoleptiques	couleur	mg/L platine	15
	Turbidité	NTU	5
	Odeur à 25 °C	Taux dilution	4
	Saveur à 25 °C	Taux dilution	4
Paramètres physico-chimiques en relation avec la structure naturelle des eaux	Alcalinité	mg/L CaCO <sub>3</sub>	65 pour les eaux déssalées ou déminéralisées (valeur minimale)
	Calcium	mg/L	200
	Chlorure	mg/L	500
	Concentration en ions hydrogène	Unité pH	≥ 6,5 et ≤ 9
	Conductivité à 20 °C	µS/cm	2800
	Dureté (TH)	mg/L en CaCO <sub>3</sub>	500
	Fer total	mg/L	0,3
	Manganèse	µg/L	50
	Phosphore	mg/L	5
	Potassium	mg/L	12
	Sodium	mg/L	200
	Sulfates	mg/L	400
Température	°C	25	

**Note :** La concentration minimale du chlore résiduel libre de l'eau fournie aux usagers par le réseau de distribution est fixée à 0,1 mg/L.

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
المدرسة العليا لعلوم البحر وتهيئة الساحل  
Ecole Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral

Etude technico-économique en vue de l'obtention  
du diplôme Start-up

## Projet:

**Entreprise de production d'eau ultra pure par osmose  
inverse**

Présenté par :

**AYOUNE Aida Hoyam**

**CHEAIBI Noura Aouda**

Soutenue le 03/07/2023 :

**Mme. HOUMA BACHARI F**

**Professeur (ENSSMAL)**

**Promoteur**

**M. BOUTOBBA A**

**Représentant AEC SDEM El Marsa**

**Co-promoteur**

**ANNEE UNIVERSITAIRE : 2023/2024**

## TABLE DE MATIERE :

<b>INTRODUCTION</b>	<b>1</b>
<b>LE PREMIER AXE: PRESENTATION DU PROJET</b>	<b>2</b>
1.L'IDEE DE PROJET :	2
2.LES VALEURS PROPOSEES :	2
3.EQUIPE DE TRAVAIL :	3
4.OBJECTIFS DU PROJET :	3
5.CALENDRIER DE REALISATION DE PROJET :	4
<b>DEUXIEME AXE: ASPECTS INNOVANTS</b>	<b>5</b>
1.ASPECTS INNOVANTS	5
2.DOMAINES D'INNOVATION :	5
<b>TROISIEME AXE : ANALYSE STRATEGIQUE DU MARCHÉ</b>	<b>6</b>
1.LE SEGMENT DU MARCHÉ :	6
2.MESURE DE L'INTENSITE DE CONCURRENCE :	6
3.LA STRATEGIE MARKETING	7
<b>QUATRIEME AXE : PLAN DE PRODUCTION ET ORGANISATION</b>	<b>8</b>
1.LE PROCESSUS DE PRODUCTION :	8
2.L'APPROVISIONNEMENT:	10
3.LA MAIN D'ŒUVRE :	10
4.LES PRINCIPAUX PARTENAIRES :	11
<b>CINQUIEME AXE : PLAN FINANCIER</b>	<b>13</b>
1.LES COUTS ET CHARGES :	13

<b>2.LE CHIFFRE D’AFFAIRES :</b>	<b>14</b>
<b>3.LES COMPTES DE RESULTATS ESCOMPTES :</b>	<b>15</b>
<b>4.LE PLAN DE TRESORERIE :</b>	<b>16</b>
<b>SIXIEME AXE: PROTOTYPE EXPERIMENTAL</b>	<b>19</b>
<b>BUSINESS MODEL CANVAS</b>	<b>20</b>

## Carte d'information

### 1. Equipe d'encadrement :

<b>Mme. HOUMA BACHARI F</b>	<b>Promoteur</b>
<b>M. BOUTOBBA A</b>	<b>Co-promoteur</b>

### 2. Equipe de projet :

<b>Étudiant</b>	<b>Faculté</b>	<b>Spécialité</b>
<b>AYOUNE Aida Hoyam</b>	<b>ENSSMAL</b>	<b>Environnement Marin et Côtier</b>
<b>CHEAIBI Noura Aouda</b>	<b>ENSSMAL</b>	<b>Environnement Marin et Côtier</b>

## **Introduction**

L'eau ultra-pure joue un rôle crucial dans de nombreux secteurs de pointe, notamment les laboratoires scientifiques, les centres de recherche médicale, l'industrie pharmaceutique et cosmétique. La demande pour une eau de qualité exceptionnelle, exempte de toute impureté, ne cesse de croître à mesure que ces domaines se développent et que leurs exigences s'intensifient. Selon les experts, le marché mondial de l'eau ultra-pure devrait connaître une croissance significative dans les années à venir, stimulé par les avancées technologiques et les normes de qualité toujours plus strictes.

C'est dans ce contexte prometteur que s'inscrit notre projet entrepreneurial visant à créer une unité de production d'eau déminéralisée de haute pureté. L'idée centrale est d'exploiter un procédé innovant d'osmose inverse, utilisant de l'eau de mer préalablement dessalée comme matière première, pour produire une eau d'une pureté exceptionnelle, avec une teneur en sels dissous inférieure à 5 ppm.

La présente étude technico-économique vise à évaluer la faisabilité et la viabilité de la mise en œuvre de ce projet innovant. Réalisée conformément aux directives de l'arrêté n°1275 du Ministère de l'Enseignement Supérieur, et s'appuyant sur les compétences acquises lors de nos formations en ingénierie et en gestion de projet, marketing, finance et business model, cette analyse rigoureuse abordera les différents aspects techniques, commerciaux, organisationnels et financiers de la création de cette unité de production d'eau déminéralisée de haute pureté. Elle mettra en lumière les opportunités offertes par ce marché en pleine expansion, tout en soulignant notre engagement envers l'innovation et le développement durable dans le domaine du traitement de l'eau.

## **Le premier axe : Présentation du projet**

### **1. L'idée de projet :**

L'idée de notre projet est de créer une unité de production d'eau déminéralisée de haute pureté par un procédé innovant d'osmose inverse, en utilisant l'eau de mer préalablement dessalée comme matière première. Cette eau ultra-pure sera destinée aux laboratoires scientifiques, aux centres de recherche médicale, aux professionnels de la santé, ainsi qu'aux industries cosmétiques, chimiques et pharmaceutiques.

Au cours de la réalisation de notre projet de fin d'études, nous avons constaté que ces secteurs nécessitent une eau d'une pureté extrêmement élevée, et l'osmose inverse est l'une des technologies qui offre cette capacité.

Notre unité de production aura une capacité de 5000 l/jr et sera équipée des infrastructures nécessaires, y compris une unité de déminéralisation par osmose inverse, une unité de remplissage, une unité d'étiquetage et une fardeleuse pour l'emballage.

Ce projet sera accompli par une équipe pluridisciplinaire composée d'ingénieurs en traitement de l'eau, de techniciens de maintenance, et de responsables qualité.

L'installation sera située dans une zone industrielle proche d'une source d'eau de mer dessalée pour faciliter l'approvisionnement.

### **2. Les valeurs proposées :**

On a listé les principales valeurs à mettre en avant auprès des clients cibles que sont les laboratoires scientifiques, les centres de recherche médicale, les professionnels de la santé, et les industries cosmétiques, chimiques et pharmaceutiques :

- Pureté exceptionnelle de l'eau produite, Avec une teneur en sels dissous inférieure à 5 ppm, l'eau déminéralisée produite répond aux normes les plus strictes des industries exigeantes comme la pharmacie ou la cosmétique.
- En utilisant une eau de mer préalablement dessalée comme matière première, le traitement est simplifié pour réduire les coûts de production.
- Utilisation du procédé d'osmose inverse pour produire de l'eau de haute pureté, répondant à des besoins émergents dans les secteurs scientifiques et industriels.
- Différents conditionnements de 1L, 5L et 20L permettent de s'adapter aux besoins variés des clients industriels et particuliers.

- Optimisation des procédés de production pour réduire les coûts, permettant de proposer des prix compétitifs tout en maintenant une haute qualité.
- Minimisation des risques liés à la contamination ou aux variations de qualité de l'eau, offrant une sécurité accrue pour les utilisateurs finaux dans des secteurs sensibles.
- Produits conçus pour être faciles à utiliser, avec des systèmes de conditionnement et de distribution intuitifs, facilitant l'intégration dans les processus existants des clients.
- Le processus économe et la valorisation des ressources en eau de mer limitent l'impact environnemental.

### **3. Equipe de travail :**

Étudiante 01 : AYOUNE Aida Hoyam

Étudiante 02 : CHEAIBI Noura Aouda

### **4. Objectifs du projet :**

Les objectifs commerciaux de notre projet se divisent en trois phases :

- Au court de cinq premières années :
  - Établir une présence solide sur le marché de l'eau déminéralisée de haute pureté.
  - Atteindre une production de 5000 l/jr.
  - Capturer 5% du marché des laboratoires scientifiques et centres de recherche régionaux.
  - Étendre la clientèle à l'échelle nationale.
  - Augmenter la capacité de production à 10 000 l/jr.
  - Capturer 15% du marché national des industries cosmétiques, chimiques et pharmaceutiques.
  - Diversifier les produits pour répondre aux besoins variés du marché.
- Long Terme (5-10 ans) :
  - Devenir le leader national dans le secteur de l'eau déminéralisée.
  - Augmenter la production à 20 000 l/jr.
  - Commencer l'exportation vers les pays voisins.
  - Capturer 30% du marché national en se diversifiant vers d'autres secteurs clients.

Ces objectifs stratégiques guideront notre développement tout en assurant une croissance durable à notre projet.

## 5. Calendrier de réalisation de projet :

Pour mener à bien ce projet, l'objectif final est divisé en six étapes clés : études préalables, commande des équipements, construction du siège de production, installation des équipements, achat de matières premières et réalisation du prototype. Chaque étape est planifiée sur une période spécifique. Les résultats clés attendus sont respectivement : le choix du site d'implantation finalisé, la commande des équipements réalisée, la construction de l'usine achevée, les équipements installés et opérationnels, l'approvisionnement en matières premières assuré, et la validation du prototype de production. Ce découpage précis du projet permet une gestion efficace sur une période de 12 mois, avec des étapes claires pour suivre et mesurer les progrès accomplis.

		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>
<b>1</b>	Etude préalable	×	×										
<b>2</b>	Commande des équipements			×	×								
<b>3</b>	Construction d'un siège de production					×	×	×					
<b>4</b>	Installation des équipements								×	×			
<b>5</b>	Achat de matière première										×		
<b>6</b>	Réalisation de prototype											×	×

## **Deuxième axe : Aspects innovants**

### **1.Aspects innovants :**

- Utilisation de technologies avancées pour le traitement de l'eau (osmose inverse).
- Intégration de procédés durables valorisant l'eau de mer dessalée.
- Diversification des produits avec des formats adaptés à différents besoins (industries, particuliers).

### **2.Domains d'innovation :**

Notre microentreprise peut s'inscrire dans plusieurs domaines d'innovation :

- Technologie de Traitement de l'Eau.
- Systèmes de Gestion Durable.
- Services Client Personnalisés.

## **Troisième axe : Analyse stratégique du marché**

### **1. Le segment du marché :**

Le marché potentiel regroupe tous les acteurs ayant besoin d'eau déminéralisée de haute pureté : industriels, scientifiques et médicaux exigeant une qualité d'eau parfaite.

Notre microentreprise vise ces acteurs stratégiques nécessitant une eau ultra-pure :

- Les laboratoires et centres de recherche (laboratoires scientifiques, centres de recherche médicale, universités) tels que l'Institut Pasteur d'Algérie. Ils utilisent l'eau déminéralisée pour la préparation de solutions chimiques, le nettoyage d'équipements sensibles, l'expérimentation et la recherche.
- Les professionnels de la santé (hôpitaux, cliniques) à l'instar du CHU Mustapha Bacha d'Alger. Leurs besoins concernent la stérilisation d'équipements médicaux, la préparation de solutions médicales, la dilution de médicaments et les interventions chirurgicales.
- Industries et Fabricants :
  - Les industries pharmaceutiques (comme SAIDAL, BIOMAX,..) pour la formulation de médicaments, les procédés de fabrication et le nettoyage d'équipements selon les normes BPF (Bonnes Pratiques de Fabrication).
  - L'industrie agroalimentaire (tel que AGROLOG,..), requérant de l'eau pure pour les boissons, le rinçage d'équipements et la préparation des aliments.
  - Le secteur cosmétique, dont la production de produits haut de gamme nécessite une eau exempte d'impuretés.
  - Les fabricants de produits chimiques, utilisant l'eau déminéralisée dans divers processus de production.

### **2. Mesure de l'intensité de concurrence :**

D'après nos investigations le prix de vente de ce produit est excessif et peut être revu à la baisse d'une manière significative.

Au premier lieu nous avons constaté que les opérateurs dans ce domaine ne sont pas nombreux et qui travail localement, donc notre approche sera de cibler au premier lieu les zones non couvertes

Au deuxième lieu ; nous avons constaté que les clients ne cherchent pas un emballage de qualité et vise beaucoup plus pour un produit de haute qualité, chose qui peut être à notre faveur afin de diminuer d'avantage les couts de production avec un emballage en bouteille en PET.

### **3.La stratégie marketing :**

Notre stratégie marketing pour l'eau déminéralisée de haute pureté repose sur une analyse approfondie du marché et un ciblage précis. Nous visons les laboratoires et centres de recherche, les professionnels de la santé, ainsi que diverses industries, notamment pharmaceutiques, agroalimentaires, cosmétiques et chimiques. En nous positionnant comme fournisseur d'une eau de qualité supérieure, pure et fiable, nous nous différencions par des coûts compétitifs obtenus grâce à des emballages en PET, et par notre engagement envers des procédés durables valorisant l'eau de mer dessalée.

Notre mix marketing se décline en plusieurs axes :

- Pour le produit, nous diversifions les formats pour répondre aux besoins spécifiques de chaque segment de marché, en assurant une qualité constante.
- Côté prix, nous proposons des tarifs compétitifs et des remises pour les achats en gros et les contrats à long terme.
- En termes de distribution, nous combinons des canaux de vente directs et indirects, et mettons en place une plateforme e-commerce pour faciliter les commandes en ligne.
- Pour la promotion, nous misons sur la publicité en ligne, les relations publiques, les événements et salons professionnels, l'email marketing, et l'échantillonnage gratuit pour démontrer la qualité de nos produits.

Nous évaluerons en continu les performances de nos campagnes marketing à travers des indicateurs clés comme le taux de conversion et le coût par acquisition. Les retours des clients seront précieux pour améliorer nos produits et services, et nous ajusterons notre stratégie en fonction des résultats obtenus et des évolutions du marché.

Cette approche nous permettra d'accroître notre visibilité, d'attirer et de fidéliser nos clients, et d'assurer une croissance durable de notre entreprise.

## Quatrième axe : Plan de production et organisation

### 1. Le processus de production :

Le processus de production de notre eau déminéralisée de haute pureté est composé de plusieurs étapes, chacune jouant un rôle crucial dans la garantie de la qualité et de l'efficacité. Ce processus se décompose en cinq étapes clés :

#### Achat de matière première


- Sélection et acquisition de l'eau de mer préalablement dessalée et des membranes d'osmose inverse de dernière génération.
- Les fournisseurs sont choisis pour leur réputation et leur capacité à fournir des matériaux de haute qualité.
- Assurer l'approvisionnement en matières premières de qualité pour garantir une pureté maximale du produit final.

#### Fabrication par osmose inverse

- L'eau de mer dessalée est pressurisée et forcée à travers des membranes semi-perméables d'osmose inverse.
- Les membranes d'osmose inverse éliminent les sels dissous, les ions métalliques et les impuretés jusqu'à atteindre une pureté inférieure à 5 ppm.
- L'eau filtrée est collectée, tandis que les rejets concentrés en impuretés sont éliminés de manière écologique.
- Produire de l'eau déminéralisée de haute pureté répondant aux normes strictes des industries ciblées.

#### Stockage et Conditionnement

- L'eau déminéralisée est stockée dans des réservoirs spécialement conçus pour éviter toute contamination.
- Les réservoirs sont maintenus dans des conditions contrôlées pour garantir la qualité de l'eau.
- L'eau déminéralisée est transférée des réservoirs de stockage vers des unités de remplissage automatisées.
- Les contenants sont disponibles en différents volumes (1L, 5L, 20L) pour répondre aux besoins spécifiques des clients.
- Les contenants sont stérilisés avant le remplissage pour éviter toute contamination.
- Préserver la qualité de l'eau jusqu'à son conditionnement et offrir des options de conditionnement flexibles et adaptées aux différents usages.



## Étiquetage et Emballage

- Les étiquettes sont imprimées avec les informations nécessaires sur le produit, y compris la pureté, le volume et les instructions d'utilisation.
- Les étiquettes sont appliquées de manière automatisée sur les contenants remplis.
- Chaque étiquette est vérifiée pour s'assurer qu'elle est lisible et correctement placée.
- Les contenants remplis et étiquetés sont regroupés en lots pour faciliter la manipulation.
- Les lots de contenants sont emballés à l'aide de fardeleuses, qui utilisent un film plastique pour sécuriser les produits.
- Les produits emballés sont ensuite placés sur des palettes pour le transport et le stockage.
- Assurer une identification claire et précise du produit pour les utilisateurs finaux et garantir la sécurité et l'intégrité des produits pendant le transport et le stockage.



## Livraison

- Les commandes sont préparées en fonction des besoins spécifiques des clients et des volumes demandés.
- Les palettes de produits sont chargées dans des camions de transport adaptés pour garantir leur sécurité pendant le transport.
- Les produits sont acheminés vers les clients en utilisant des services de transport fiables et spécialisés.
- Un suivi est effectué pour s'assurer que les produits arrivent à destination en temps voulu et en parfait état.
- Assurer une livraison rapide et fiable des produits tout en maintenant leur qualité jusqu'à la réception par le client.

## **2.L’approvisionnement:**

Notre unité de production d'eau déminéralisée de haute pureté repose sur une stratégie d'approvisionnement optimisée pour obtenir les meilleures technologies et matériaux tout en gérant efficacement nos ressources financières. Nous nous procurons de l'eau de mer dessalée de qualité auprès de fournisseurs fiables, sécurisée par des contrats à long terme pour garantir constance et coûts compétitifs. Nous investissons dans des membranes d'osmose inverse de dernière génération et des systèmes de pressurisation performants, achetés auprès de fabricants leaders, avec des contrats de maintenance et support technique garantis.

Notre politique d'achat inclut des versements échelonnés et des financements à taux réduit pour les équipements coûteux, ainsi que des achats groupés pour les consommables afin de réduire les coûts et maintenir des stocks suffisants. Cette stratégie nous assure de disposer des technologies et matériaux nécessaires pour répondre aux exigences de nos clients tout en soutenant notre croissance durable.

## **3.La main d’œuvre :**

Notre projet, bien que démarrant comme une microentreprise, a un impact significatif et varié sur l'emploi. Nous créons directement sept postes clés, chacun essentiel à notre mission : un ingénieur en traitement de l'eau, un technicien de maintenance, un responsable qualité, un opérateur de production, un responsable logistique, un commercial et une femme de ménage.

Mais notre impact ne s'arrête pas à ces emplois hautement qualifiés. En effet, notre croissance soutient également des emplois essentiels tels que :

Sur le plan technique, un consultant en gestion des ressources hydriques et un responsable des achats optimisent notre chaîne d'approvisionnement en eau de mer dessalée et équipements. Un expert en emballage innove dans le conditionnement de nos produits pour garantir leur sécurité et efficacité.

Dans la logistique et le transport, nous employons des chauffeurs-livreurs pour la distribution de nos produits, et des opérateurs de chariots élévateurs pour la gestion des stocks dans nos entrepôts.

Nous nous assurons également de la sécurité et de la conformité de nos opérations grâce à un spécialiste en sécurité qui gère les risques et forme le personnel. Un technicien en instrumentation est chargé du contrôle et de la maintenance des équipements de production, assurant leur bon fonctionnement et précision.

En tout, notre microentreprise génère environ 15 emplois. Cette diversité montre que la production d'eau ultra-pure, vue par des ingénieurs comme nous, ne se limite pas à la technologie. Elle englobe

la recherche, la logistique, la sécurité, chaque poste direct ou indirect, du spécialiste en sécurité à l'opérateur de chariot élévateur, en passant par la femme de ménage, qui contribue à maintenir un environnement de travail propre et sain, pour offrir une eau de qualité exceptionnelle aux secteurs scientifiques, médicaux et industriels en Algérie.

#### **4. Les principaux partenaires :**

Pour notre projet de production d'eau déminéralisée de haute pureté, les partenariats stratégiques jouent un rôle crucial dans notre réussite. Nous identifions plusieurs acteurs clés qui peuvent contribuer significativement à la réalisation et à l'intégration de notre projet :

- **Fournisseurs de Matériaux et d'Équipements** : Ils représentent un maillon essentiel de notre chaîne de production en fournissant les membranes d'osmose inverse, les réservoirs de stockage, et les équipements de conditionnement nécessaires. Des partenariats solides avec ces fournisseurs garantiront la continuité et la qualité de notre production.
- **Institutions Académiques et de Recherche** : Des collaborations avec des universités et des centres de recherche apportent un soutien précieux en termes d'innovation technologique et de contrôle de qualité. Ces partenariats favoriseront le développement de nouveaux procédés et l'amélioration continue de nos produits.
- **Organisations Gouvernementales et Réglementaires** : Le ministère de l'Environnement et les autorités locales jouent un rôle crucial en fournissant les permis nécessaires et en collaborant sur les infrastructures essentielles. Leur soutien est vital pour assurer que notre projet respecte toutes les réglementations et normes en vigueur.
- **Partenaires Logistiques** : Les entreprises de transport et de logistique sont essentielles pour gérer la distribution de nos produits finis aux clients, assurant un transport sûr et efficace. De plus, des partenariats avec des entreprises de gestion des stocks garantissent une gestion optimale de nos entrepôts et inventaires.
- **Clients Stratégiques** : Les laboratoires scientifiques, les centres de recherche médicale, ainsi que les industries pharmaceutiques, cosmétiques et chimiques sont nos principaux clients. Ces partenariats sont essentiels pour garantir que notre eau déminéralisée de haute pureté répond parfaitement à leurs besoins spécifiques.
- **Partenaires Financiers** : Les banques et institutions financières jouent un rôle crucial en fournissant les financements nécessaires pour la mise en place et l'expansion de notre projet. Les investisseurs privés sont également des partenaires potentiels pour les levées de fonds et le soutien financier à long terme.

- **Partenaires en Développement Durable** : Les ONG et associations environnementales collaborent avec nous pour promouvoir des pratiques durables et minimiser l'impact environnemental de notre production. Les consultants en durabilité offrent des conseils précieux pour réduire notre empreinte écologique et améliorer notre efficacité énergétique.
- **Incubateur BlueStart de notre École** : BlueStart offre un soutien précieux en termes d'accompagnement entrepreneurial, de mentorat et d'accès à des ressources stratégiques. Cet incubateur favorise également l'innovation et le développement de nouveaux produits dans un environnement contrôlé.

Chaque partenaire apporte une expertise unique et des ressources spécifiques qui complètent nos capacités internes. Ensemble, ces collaborations renforcent notre position sur le marché en nous permettant d'exploiter efficacement nos compétences tout en bénéficiant du soutien nécessaire pour surmonter les défis et saisir les opportunités à venir dans le secteur de la production d'eau déminéralisée de haute pureté.

## Cinquième axe : Plan financier

### 1. Les couts et charges :

- **Équipement et Matériaux** : unité d'osmose inverse, réservoirs stériles, unité de remplissage automatisée, unité d'étiquetage automatisée fardeleuse (machine d'emballage), matériel de laboratoire pour contrôle qualité, matière première, unité de stockage pour matières premières, véhicule de livraison, mobilier de bureau, divers (outils, petits équipements, etc.).
- **Main d'Œuvre** : ingénieurs, techniciens, opérateurs, chauffeur, agent de sécurité, femme de ménage,...
- **Frais Opérationnels** : loyer de l'usine, utilités (eau, électricité, etc.), entretien et maintenance, marketing et publicité, assurance, transport et livraison, formation et développement.

**Tableau 1 1:** Estimation Totale des Coûts pour la Première Année

Catégorie	Coût Total (DZD)
Total Équipement et Matériaux	35 000 000
Total Main d'Œuvre	7 200 000
Total Frais Opérationnels	12 100 000
<b>Total Général</b>	<b>54 300 000</b>

**Tableau 1 2:** Financement

Sources	Montants (DZD)
Apport personnel	25 000 000
Prêt bancaire (7 ans, 8%)	30 000 000
Total Financements	55 000 000

<b>Élément</b>	<b>Description</b>
<b>Investissement Initial</b>	54 300 000 DZD
<b>Financement</b>	
Prêt bancaire	30 000 000 DZD
Apport personnel	25 000 000 DZD
Prix de vente	25 DZD/Litre
<b>Production mensuelle</b>	110 000 Litres (5000L/jour x 22 jours)
Rentabilité prévisionnelle	
Année 1	Potentiellement rentable avec 525 000 Litres vendus (4,8 mois de production)
Année 2	Rentable dès 275 000 Litres vendus (2,5 mois de production)
Année 3	Très rentable avec la pleine production
<b>Plan de remboursement du prêt (30 000 000 DZD sur 7 ans à 8%)</b>	
Années 1 & 2-	Différé de remboursement
Années 3 à 7	Annuité constante d'environ 6 000 000 DZD/an

**Tableau 1 3:** Plan de remboursement du prêt

<b>Année</b>	<b>Annuité (DZD)</b>	<b>Capital restant dû (DZD)</b>
1 & 2	Différé	30 000 000
3	6 000 000	24 000 000
4	6 000 000	18 000 000
5	6 000 000	12 000 000
6	6 000 000	6 000 000
7	6 000 000	0

## 2.Le chiffre d'affaires :

Revenus prévisionnels

<b>Année</b>	<b>Quantité vendue (L)</b>	<b>Chiffre d'affaires (DZD)</b>
1	550 000	13 750 000
2	1 100 000	27 500 000
3	1 320 000	33 000 000

## Prévisions de chiffre d'affaires

Scénario Optimiste :

Année	Volume Vendu (L)	Chiffre d'Affaires (DZD)
1	880 000 (80% capacité)	22 000 000
2	1 265 000 (115% capacité)	31 625 000
3	1 430 000 (130% capacité)	35 750 000

Scénario Pessimiste :

Année	Volume Vendu (L)	Chiffre d'Affaires (DZD)
1	330 000 (30% capacité)	8 250 000
2	770 000 (70% capacité)	19 250 000
3	990 000 (90% capacité)	24 750 000

### 3. Les comptes de résultats escomptés :

Les comptes de résultat prévisionnels pour les 3 premières années selon les deux scénarios

Scénario Optimiste :

Poste	Année 1	Année 2	Année 3
Chiffre d'affaires	22 000 000 DZD	31 625 000 DZD	35 750 000 DZD
Charges d'exploitation	20 800 000 DZD	20 800 000 DZD	20 800 000 DZD
Résultat d'exploitation	1 200 000 DZD	10 825 000 DZD	14 950 000 DZD
Charges financières	2 400 000 DZD	2 400 000 DZD	1 800 000 DZD
<b>Résultat net</b>	<b>1 200 000 DZD</b>	<b>8 425 000 DZD</b>	<b>13 150 000 DZD</b>

Scénario Pessimiste :

Poste	Année 1	Année 2	Année 3
Chiffre d'affaires	8 250 000 DZD	19 250 000 DZD	24 750 000 DZD
Charges d'exploitation	20 800 000 DZD	20 800 000 DZD	20 800 000 DZD
Résultat d'exploitation	12 550 000 DZD	1 550 000 DZD	3 950 000 DZD
Charges financières	2 400 000 DZD	2 400 000 DZD	1 800 000 DZD
<b>Résultat net</b>	<b>14 950 000 DZD</b>	<b>3 950 000 DZD</b>	<b>2 150 000 DZD</b>

Calcul du Besoin en Fonds de Roulement (BFR) :

$$\mathbf{BFR = Stocks + Créances clients - Dettes fournisseurs}$$

Avec :

- Stocks = 2 mois de matières premières = 250 000 DZD
- Créances clients = 2 mois de ventes à crédit = 4 500 000 DZD (scénario optimiste année 3)
- Dettes fournisseurs = 2 mois de charges variables = 800 000 DZD

$$\Rightarrow \text{BFR} = 250\,000 + 4\,500\,000 - 800\,000 = 3\,950\,000 \text{ DZD}$$

#### **4. Le plan de trésorerie :**

Le plan de trésorerie prévisionnel est un outil essentiel pour toute entreprise. Il permet de projeter avec rigueur les flux de trésorerie entrants et sortants sur la première année d'activité. Cette anticipation des mouvements de liquidités est cruciale pour dimensionner correctement les besoins de financement initiaux et s'assurer de disposer de ressources pérennes. Le tableau suivant détaille notre plan de trésorerie prévisionnel mensuel pour la première année d'exploitation de notre microentreprise.

Plan de trésorerie pour la première année d'activité basée sur le scénario optimiste (Les chiffres sont en dinars algériens)

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
<b>Recettes</b>												
Apport personnel	25 000 000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Prêt bancaire	30 000 000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ventes (scénario optimiste)	0	1 833 333	1 833 333	1 833 333	1 833 333	1 833 333	1 833 333	1 833 333	1 833 333	1 833 333	1 833 333	1 833 333
<b>Total Recettes</b>	55 000 000	1 833 333	1 833 333	1 833 333	1 833 333	1 833 333	1 833 333	1 833 333	1 833 333	1 833 333	1 833 333	1 833 333
<b>Dépenses</b>												
Investissements initiaux	35 000 000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Salaires	600 000	600 000	600 000	600 000	600 000	600 000	600 000	600 000	600 000	600 000	600 000	600 000
Loyer de l'usine	583 333	583 333	583 333	583 333	583 333	583 333	583 333	583 333	583 333	583 333	583 333	583 333
Utilités	100 000	100 000	100 000	100 000	100 000	100 000	100 000	100 000	100 000	100 000	100 000	100 000
Entretien et maintenance	50 000	50 000	50 000	50 000	50 000	50 000	50 000	50 000	50 000	50 000	50 000	50 000
Marketing et publicité	83 333	83 333	83 333	83 333	83 333	83 333	83 333	83 333	83 333	83 333	83 333	83 333
Fournitures de bureau	16 667	16 667	16 667	16 667	16 667	16 667	16 667	16 667	16 667	16 667	16 667	16 667
Assurance	66 667	66 667	66 667	66 667	66 667	66 667	66 667	66 667	66 667	66 667	66 667	66 667
Transport et livraison	83 333	83 333	83 333	83 333	83 333	83 333	83 333	83 333	83 333	83 333	83 333	83 333
Formation et développement	25 000	25 000	25 000	25 000	25 000	25 000	25 000	25 000	25 000	25 000	25 000	25 000

Matières premières	125 000	125 000	125 000	125 000	125 000	125 000	125 000	125 000	125 000	125 000	125 000	125 000
Intérêts du prêt	200 000	200 000	200 000	200 000	200 000	200 000	200 000	200 000	200 000	200 000	200 000	200 000
<b>Total Dépenses</b>	36 933 333	36 933 333	36 933 333	36 933 333	36 933 333	36 933 333	36 933 333	36 933 333	36 933 333	36 933 333	36 933 333	36 933 333
<b>Solde mensuel</b>	18 066 667	-100 000	-100 000	-100 000	-100 000	-100 000	-100 000	-100 000	-100 000	-100 000	-100 000	-100 000
<b>Solde cumulé</b>	18 066 667	17 966 667	17 866 667	17 766 667	17 666 667	17 566 667	17 466 667	17 366 667	17 266 667	17 166 667	17 066 667	16 966 667

## Sixième axe : Prototype expérimental

Notre matière première, le perméat, est traitée selon le fonctionnement d'une station de dessalement comme mentionné dans notre PFE. Ensuite, elle subit une nouvelle étape d'osmose au sein de notre entreprise pour obtenir le produit final. Ce produit passe par le processus de production, détaillé dans notre quatrième axe. Malheureusement, nous n'avons pas pu réaliser notre produit final car cela nécessite une installation complète et du matériel spécifique, ce qui n'était pas possible dans notre cas.

Voici les caractéristiques de la matière première et du produit final :

Caractéristiques	Description matière première	Description produit final
<b>Description</b>	Eau de mer préalablement dessalé (permeat)	Eau déminéralisée de haute pureté adaptée à différent besoin
<b>Etat physique</b>	Liquide limpide	Liquide limpide
<b>Couleur</b>	incolore	incolore
<b>Odeur</b>	inodore	inodore
<b>pH</b>	5,5 à 7	6,5 à 7, 5
<b>Conductivité</b>	< 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$	< 10 $\mu\text{S}/\text{cm}$
<b>Pureté</b>	< 200 ppm de solides dissous	< 5 ppm de solides dissous
<b>Turbidité</b>	0,07 NTU	0 NTU
<b>Conditionnement</b>	/	Bouteilles PET : 1L, 5L, 20L
<b>Conformité</b>	/	Normes ISO pour l'eau purifiée

Et voici notre logo :



## *Business Model Canvas*

Partenaires Clés	Activités Clés	Propositions de Valeurs	Relations Clients	Segments de Clientèle
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Autorités locales (pour les permis et infrastructures).</li> <li>• Fournisseurs d'équipements.</li> <li>• Fournisseurs d'eau de mer dessalée (stations de dessalement).</li> <li>• Incubateur BlueStart.</li> <li>• Partenaires Financiers :               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Banques et institutions financières.</li> <li>- Investisseurs privés potentiels</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Production d'eau déminéralisée.</li> <li>• Contrôle qualité.</li> <li>• Conditionnement et distribution.</li> <li>• Stockage et logistique.</li> <li>• Commercialisation et vente.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fourniture d'eau Ultra pure (&lt; 5 ppm).</li> <li>• Qualité et fiabilité du produit.</li> <li>• Livraison disponible.</li> <li>• Emballage recyclable.</li> <li>• Prix compétitifs.</li> <li>• Différents conditionnements adaptés aux besoins (1L, 5L, 20L).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Service client.</li> <li>• Programme de fidélité.</li> <li>• Assurer de produit de qualité.</li> <li>• Assistance technique.</li> <li>• Suivi des commandes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Les laboratoires et centres de recherche.</li> <li>• Les professionnels de la santé (hôpitaux, cliniques).</li> <li>• Industries et Fabricants :               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Les industries pharmaceutiques.</li> <li>- L'industrie agroalimentaire.</li> <li>- Le secteur cosmétique</li> <li>- Les fabricants de produits chimiques.</li> </ul> </li> <li>• Particuliers.</li> </ul>
<b>Structure de Coûts</b>		<b>Flux de Revenus</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Total Équipement et Matériaux : 35 000 000 DZD.</li> <li>• Total Main d'Œuvre : 7 200 000 DZD.</li> <li>• Total Frais Opérationnels : 12 100 000 DZD.</li> <li>• <b>Total Général : 54 300 000 DZD.</b></li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ventes de notre produit (eau ultra pure).</li> <li>• Abonnements et livraisons régulières.</li> <li>• Événements et salons professionnels.</li> </ul>		

### Résumé

Ce mémoire se concentre sur les procédés de dessalement des eaux de mer et le suivi du processus à la station EL MARSA. L'objectif est d'identifier les paramètres des eaux produites et de surveiller les rejets de saumures. Une revue de la littérature détaille des techniques telles que l'osmose inverse, la distillation multi-étage à effet thermique et l'électrodialyse. Une étude de cas sur la station EL MARSA collecte les paramètres opérationnels et évalue la qualité de l'eau produite.

Les résultats des rejets de saumure montrent des niveaux élevés de conductivité, avec une moyenne de 80,96 mS/cm. Les échantillons prélevés ont subi des analyses physico-chimiques détaillées, couvrant des paramètres clés tels que la conductivité, le pH et la température.

Bien que la station fonctionne globalement de manière satisfaisante, l'étude souligne l'impact des variations saisonnières et des fluctuations des paramètres sur la qualité de l'eau. Les niveaux élevés de salinité et de conductivité mesurés indiquent un potentiel effet néfaste sur la biodiversité marine et les écosystèmes côtiers.

Des recommandations sont formulées pour optimiser les paramètres, garantir la maintenance et renforcer la surveillance du processus de dessalement.

**Mots-clés** : dessalement, environnement, Algérie, analyse physico-chimique, salinité, conductivité, impacts environnementaux, station de dessalement, El Marsa.

### Abstract

This thesis focuses on the seawater desalination processes and process monitoring at the EL MARSA desalination plant. The objective is to identify the parameters of the produced water and monitor brine discharge. A literature review details techniques such as reverse osmosis, multi-stage flash distillation, and electrodialysis. A case study of the EL MARSA plant collects operational parameters and evaluates the quality of the produced water.

The results from brine discharges show high levels of conductivity, averaging 80.96 mS/cm. Samples taken underwent detailed physico-chemical analyses, covering key parameters such as conductivity, pH, and temperature. While the plant operates satisfactorily overall, the study highlights the impact of seasonal variations and parameter fluctuations on water quality. The measured high levels of salinity and conductivity indicate potential adverse effects on marine biodiversity and coastal ecosystems.

Recommendations are made to optimize parameters, ensure maintenance, and strengthen monitoring of the desalination process.

**Keywords** : desalination, environment, Algeria, physico-chemical analysis, salinity, conductivity, environmental impacts, desalination plant, El Marsa.

### ملخص:

تتركز هذه المذكرة على عمليات تحلية مياه البحر ومراقبة العملية في محطة المرسي. الهدف هو تحديد معلمات المياه المنتجة ومراقبة تفرغ الملحقات. تتضمن مراجعة الأدب تفاصيل التقنيات مثل النفاذ العكسي، وتقطير متعدد المراحل بتأثير حراري، والكهرباء الشريحية. تقوم دراسة الحالة على محطة المرسي بجمع المعلمات التشغيلية وتقييم جودة المياه المنتجة.

تظهر نتائج تفرغ الملحقات مستويات مرتفعة من التوصيلية، بمتوسط 80.96 ملي سيمنز/سم. خضعت العينات المأخوذة لتحليل فيزيائي-كيميائي مفصل، يغطي معلمات رئيسية مثل التوصيلية، ودرجة الحموضة، ودرجة الحرارة.

على الرغم من أن المحطة تعمل بشكل عام بشكل مرضٍ، تؤكد الدراسة على أثر التقلبات الموسمية والتذبذبات في المعلمات على جودة المياه. تشير المستويات المرتفعة للملوحة والتوصيلية المقاسة إلى تأثير سلبي محتمل على التنوع البيولوجي البحري والنظم البيئية الساحلية. تُقدم توصيات لتحسين المعلمات، وضمان الصيانة، وتعزيز مراقبة عملية التحلية.

**الكلمات المفتاحية:** تحلية المياه، البيئة، الجزائر، تحليل فيزيائي-كيميائي، الملوحة، التوصيلية، التأثيرات البيئية، محطة تحلية المياه، المرسي.