

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITÉ MOULOUD MAMMÉRI DE TIZI-OUZOU



FACULTE DU GENIE DE LA CONSTRUCTION
Département d'Hydraulique
Filière : Hydraulique

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Présenté pour Obtenir le Diplôme de **Master**

Spécialité : Ouvrages Hydrauliques

Thème

Dimensionnement de la prise d'eau de mer de la station de dessalement d'El Marsa, wilaya d'Alger

Réalisé par :

Mlle BENSLIMANE Nesrine

Mlle AMIROUCHE Mazouza

Soutenu devant le jury composé de :

<i>NOM et Prénom</i>	<i>Grade</i>	<i>Lieu d'exercice</i>	<i>Qualité</i>
<i>Mme BOUZEBODJA Houria</i>	<i>MCB</i>	<i>UMMTO</i>	<i>Présidente</i>
<i>Mr DEHMOUS Hocine</i>	<i>MCA</i>	<i>UMMTO</i>	<i>Promoteur</i>
<i>Mme GOUDJIL Sarah</i>	<i>MAB</i>	<i>UMMTO</i>	<i>Examinatrice</i>

Date de soutenance : le 25/09/2025

Remerciements

Nous tenons avant tout à exprimer notre profonde gratitude envers **Dieu Tout-Puissant** pour sa bienveillance et pour nous avoir donné la force, la patience et la détermination nécessaires pour mener à bien ce travail.

Ce mémoire n'aurait pu voir le jour sans le soutien précieux de nombreuses personnes. Nous remercions chaleureusement **Monsieur DEHMOUS**, notre encadrant, pour son accompagnement rigoureux, ses conseils avisés et sa disponibilité constante. Son expertise et ses encouragements ont été déterminants pour l'aboutissement de notre projet.

Nos remerciements vont également à **Monsieur AIT REMDANE** qui, par son aide précieuse, nous a permis d'établir des contacts essentiels pour la réalisation de notre étude.

Nous exprimons notre sincère reconnaissance à **Monsieur TOULMIT**, directeur du service exploitation de la SDEM d'El Marsa, pour son accueil et pour nous avoir ouvert les portes de son service, nous offrant ainsi un accès inestimable aux informations nécessaires. Nos remerciements s'adressent également à l'ensemble du **service technique de l'AEC** pour leur collaboration et leur disponibilité.

Enfin, nous tenons à remercier les **honorables membres du jury** d'avoir accepté d'évaluer notre travail. Leur regard expert et leurs remarques constructives sont une source d'enrichissement. Nous adressons également nos remerciements à l'ensemble des **enseignants du département d'hydraulique** pour la qualité de leur enseignement tout au long de notre parcours universitaire.



Je dédie ce mémoire :

À mes parents Hakim et Fazia, pour leur amour inconditionnel, leur soutien indéfectible et tous les sacrifices qu'ils ont consentis pour me permettre d'atteindre mes objectifs. Vous êtes ma force et ma source intarissable d'inspiration

À mes deux petits frères Anis et Ilyane pour leur présence, leur complicité et leur soutien moral tout au long de ce parcours. Vous êtes une source constante de joie et de motivation.

À mes grands-parents maternels, pour leur sagesse, leur affection et leurs encouragements. Votre fierté est ma plus belle récompense.

À mes oncles, à mes tantes, à mes cousins et à mes cousines, tant du côté maternel, pour leur bienveillance et leur soutien. Votre présence dans ma vie est un véritable trésor.

À mes deux meilleures amies Saida et Nawal pour leur sincère amitié, leur écoute et les moments de détente si précieux

À mes coéquipières Samia, Lyna, Rachida, Madoud, Manel et Kenza. Votre soutien a rendu mon parcours plus agréable.

À mon binôme Mazouza, pour sa précieuse collaboration, son soutien constant dans les moments difficiles tout au long de ce projet. Notre travail d'équipe a été essentiel à la réussite de ce mémoire.

À tous ceux qui ont cru en moi et m'ont encouragé tout au long de mes études.

Nesrine

Dédicaces

À ceux qui, après Dieu, ont contribué à chacun de mes pas :

À ma chère mère, source de tendresse et compagne de prières...

À mon cher père, mon modèle de patience et de travail acharné...

À mes honorables professeurs, phares de connaissance et de lumière...

À mes sœurs, amis et collègues, vous êtes des chapitres de mon
histoire...

À tous ceux qui m'ont soutenu par un mot ou une prière...

Je dédie ce travail, fruit d'années de labeur.

Mazouza

ملخص

يركز هذا البحث النهائي على تحديد أبعاد مأخذ مياه البحر لمحطة تحلية المياه في المرسي، بالقرب من الجزائر العاصمة، وهو مشروع استراتيجي لمواجهة نقص المياه في الجزائر. يركز العمل، الذي يستخدم تكنولوجيا التناضح العكسي، على الجوانب التقنية والاقتصادية لتصميم المأخذ. يقوم بتحليل المعايير الهيدروليكية والهندسة المدنية لضمان إمداد مستمر يبلغ 134,667 متر مكعب من المياه الخام يوميا. تلخص الدراسة إلى أن اختيار أنبوب بقطر اسمي 800 ملم هو الحل الأمثل، حيث يقدم أفضل توازن بين الأداء الهيدروليكي، وسلامة البنية التحتية، والربحية على المدى الطويل. وتسلط المذكرة على أهمية محطات تحلية المياه بالنسبة لسيادة البلاد وأمنها المائي. الكلمات المفتاحية: تحلية مياه البحر، مأخذ المياه، تحديد الأبعاد، محطة تحلية المياه، التناضح العكسي، الهيدروليكي.

Résumé

Ce mémoire de fin d'études porte sur le dimensionnement de la prise d'eau de mer de la station de dessalement d'El Marsa, près d'Alger, un projet stratégique pour faire face à la pénurie d'eau en Algérie. Le travail, qui utilise la technologie de l'osmose inverse, se concentre sur les aspects techniques et économiques de la conception de la prise d'eau. Il analyse les critères hydrauliques et de génie civil pour garantir un approvisionnement continu de 134 667 m³ d'eau brute par jour. L'étude conclut que le choix d'une conduite de diamètre nominal 800 mm (DN800) est la solution optimale, offrant le meilleur compromis entre la performance hydraulique, la sécurité des infrastructures et la rentabilité à long terme. Le mémoire souligne l'importance des stations de dessalement pour la souveraineté et la sécurité hydrique du pays.

Mots-clés : Dessalement de l'eau de mer, prise d'eau, dimensionnement, station de dessalement, osmose inverse, hydraulique.

Abstract:

This final year dissertation focuses on the sizing of the seawater intake of the El Marsa desalination plant, near Algiers, a strategic project to address the water shortage in Algeria. The work, which uses reverse osmosis technology, focuses on the technical and economic aspects of water intake design. It analyzes the hydraulic and civil engineering criteria to guarantee a continuous supply of 134,667 m³ of raw water per day. The study concludes that choosing a pipe with a nominal diameter of 800 mm (DN800) is the optimal solution, offering the best compromise between hydraulic performance, infrastructure safety and long-term profitability. The brief highlights the importance of desalination plants for the country's water sovereignty and security.

Key words: Seawater desalination, seawater intake, sizing, desalination plant, reverse osmosis, hydraulics.

Table des matières

INTRODUCTION GENERALE	1
Chapitre I : Généralités sur le dessalement	
I.1. Introduction	2
I.2. Généralités sur le dessalement	2
I.2.1. Définition du dessalement de l'eau de mer	2
I.2.2. Histoire du dessalement de l'eau de mer	2
I.2.3. Situation de dessalement dans le monde	3
I.2.4. Le Dessalement en Algérie	5
I.2.5. L'impact du dessalement sur l'environnement	6
I.3. Caractéristiques d'eau de mer et les eaux saumâtres	8
I.3.1. Les eaux marines	8
I.3.2. Composition de l'eau de mer	9
I.3.3. Eaux saumâtres	9
I.4. Caractéristique physico-chimique de l'eau de mer	10
I.4.1. Température	10
I.4.2. Potentiel d'hydrogène (pH)	10
I.4.3. Conductivité	10
I.4.4. Turbidité	10
I.4.5. Densité	10
I.4.6. Dureté	10
I.4.7. Métaux lourds	11
I.4.8. Matière organique	11
I.4.9. Sels dissous	11
I.5. Différents procédés de dessalement	12
I.5.1. Schéma général d'une installation de dessalement	12
I.5.2. Les procédés majeurs de dessalement	12
I.5.3. Procédés membranaires	16
I.6. Principe de l'osmose inverse	17
I.6.1. Osmose et osmose inverse	17
I.6.2. Schéma général d'une installation d'osmose inverse	18
I.7. Comparaison des procédés	18
I.7.1. Échangeurs d'ions	20
I.7.2. Dessalement par congélation	20
I.7.3. Distillation solaire	21
I.8. Les problèmes techniques rencontrés dans le dessalement	22

I.8.1. Entartrage	22
I.8.2. Le colmatage.....	22
I.8.3. La corrosion	23
I.9. Conclusion	23
Chapitre II : Présentation de la station de dessalement d'EL MARSА	
II.1. Introduction	24
II.2. Situation géographique.....	24
II.3. Présentation générale de la station de dessalement d'EL MARSА.....	25
II.4. Processus du dessalement dans la station d'El Marsa	26
II.5. Les activités de la station.....	26
II.5.1. Consistance du Projet.....	26
II.5.2. Système d'adduction	27
II.5.3. Altitudes	27
II.5.4. Dimensions	28
II.6. Étape de Dégrillage.....	28
II.6.1. Dégrillage Grossier	28
II.6.2. Dégrillage Fin.....	29
II.7. Pompes de Relevage d'Eau de Mer	30
II.8. La désinfection	31
II.8.1. Surveillance des paramètres de qualité de l'eau de mer.....	31
II.8.2. Système de Suppression de la Bio-Croissance dans la Conduite d'Eau de Mer Entrante.....	32
II.9. Prétraitement	33
II.9.1. Coagulation et Flocculation.....	33
II.9.2. Décanteurs Lamellaires	34
II.10. Zone de filtre.....	35
II.11. Procédé de Traitement.....	35
II.12. Post-Traitement	35
II.12.1. Reminéralisation	36
II.12.2. Désinfection finale.....	36
II.13. Réservoir d'Eau Traitée et Pompes Reliées	36
II.13.1. Réservoir d'Eau Traitée.....	36
II.13.2. Pompes d'Eau Traitée	37
II.13.3. Surveillance de la Qualité de l'Eau Traitée.....	37
II.14. Évacuation des Effluents de la Station	37
II.15. Conclusion.....	38
Chapitre III : Dimensionnement de la prise d'eau de mer EL MARSА	

III.1. Introduction.....	39
III.2. Conception et localisation des ouvrages de prise d'eau en mer	39
III.2.1. Justification du Choix de l'Emplacement.....	40
III.2.2. Le calcul du débit de conception (Q_{brute})	43
III.2.3. Description et Dimensionnement des Tours de Captage.....	44
III.3.3. Dimensionnement de la conduite de prise	48
III.4. Dimensionnement des conduites de refoulement : Analyse technico-économique du système d'adduction par refoulement.....	50
III.4.1. Choix du matériau de conduite.....	50
III.4.2. Hauteur géométrique et débit	51
III.4.3. Calcul technico-économique des diamètres.....	51
III.5. Choix de la pompe de relevage d'eau de mer (Fabricant Caprari)	
III.5.1. Détermination du point de fonctionnement	
III.5.2. Choix du modèle de pompe Caprari	
III.5.3. Justification du choix technologique	
III.6. Conclusion	57
CONCLUSION GENERALE	58
Références bibliographiques	

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Les principales unités de dessalement.....	6
Tableau I.2 : La salinité de différentes mers.....	8
Tableau I.3 : Composition minérale de l'eau.....	9
Tableau I.4 : Comparaison de différents procédés de dessalement	19
Tableau II.1 : Les valeurs des paramètres de qualité de l'eau.....	25
Tableau III.1. Le choix de diamètre technico économique	53
Tableau III.3. Évaluation des coûts annuels	55

Liste des figures

Figure I.1 : Production d'eau douce par condensation sur une éponge	3
Figure I.2 : La capacité du dessalement dans le monde entier	4
Figure I.3 : Schéma général d'une installation de dessalement	12
Figure I.4 : Schéma des différents types de procédés de dessalement	12
Figure I.5 : Principe du procédé de distillation à simple effet	13
Figure I.6 : La distillation à multiples effets (MED)	14
Figure I.7 : Procédé de distillation multi flash d'eau de mer.....	15
Figure I.8 : Distillation avec compresseur à vapeur	15
Figure I.9 : Unité d'électrodialyse alimentée	16
Figure I.10 : Principe de l'électrodialyse	16
Figure I.11 : Principe de l'osmose inverse.....	18
Figure I.12 : Schéma général d'une installation d'osmose inverse	18
Figure I.13 : Colonne échangeur d'ions	21
Figure I.14 : Procédé de distillation solaire d'eau de mer	22
Figure II.1 : Situation géographique d'El Marsa	24
Figure II.2 : La station de dessalement de l'eau de mer El Marsa	25
Figure II.3 : Le schéma de fonctionnement d'El Marsa	26
Figure II.4 : Dégrilleur grossiers d'El Marsa (B.N, A.M 2025).....	29
Figure II.5 : Dégrilleurs fin (B.N, A.M 2025)	30
Figure II.6 : Station de relevage (B.N, A.M 2025)	31
Figure II.7 : Capteur chlorophylle, MES et PH (B.N, A.M 2025).....	32
Figure II.8 : Capteurs T, Conductivité et HC (B.N, A.M 2025).....	32
Figure II.9 : Les mélangeurs statiques de coagulation-floculation (B.N, A.M 2025).....	34
Figure II.10 : Décanteur Lamellaire	34
Figure II.11 : Unité d'osmose inverse	35
Figure II.12 : Contacteurs de calcite (B.N, A.M 2025)	36
Figure II.13 : Station de pompage d'eau traitée	37
Figure III.1 : Relevé bathymétrique	42
Figure III.2 : vue 3D de la structure d'admission	45
Figure III.3 : vue 3D de la structure d'admission après le dimensionnement	48
Figure III.4 : Courbe caractéristique de la pompe	58

Liste des abréviations

A.N : Application Numérique

AEC : Algérienne Énergie Company (Algerian Energy Company)

B : Bore

CaCO₃ : Carbonate de calcium

CIP : Procédure de nettoyage en place (Clean-in-Place)

CO₂ : Dioxyde de carbone

DE : Diamètre extérieur

DI : Diamètre intérieur

DMGF : Filtre gravitaire à double média / Filtres gravitaires à double couche (Double Media Gravity Filters)

DN : Diamètre normal / Diamètre Nominal

DS : Solide sec

Dtot : Dépenses Annuelles Totales

ED : Électrodialyse

ERD : Dispositif de récupération d'énergie

Fam : Frais d'Amortissement Annuels

FeCl₃ : Chlorure ferrique

Fex : Frais d'Exploitation Annuels

H₂SO₄ : Acide sulfurique

Hgeo : Hauteur géométrique

HMT : Hauteur manométrique totale

HP : Haute pression

HPRO : High Pressure Reverse Osmosis (Osmose inverse haute pression)

HTE : Horizontal tube evaporator

K_b : Rugosité absolue du matériau de la conduite (m)

LSI : Indice de saturation de l'Angelier / Indice de saturation de Langelier (Langelier Saturation Index)

MED : Distillation à multiples effets (Multiple-Effect Distillation)

MES : Matière en suspension / Matières En Suspension

MRE : Ministère des Ressources en Eau

MSF : Distillation par détente successives (MULTIFLASH ou FLASH)

NaClO : Hypochlorite de sodium

NGA : Altitude géodésique normale zéro en Algérie

OI / RO : Osmose inverse (Reverse Osmosis)

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

ORP : Observation Red Ox Potentiel / Potentiel Redox (Oxidation-Reduction Potential)

PE : Polyéthylène

PEHD: Polyéthylène Haute Densité

PH : Potentiel Hydrogène

PLC : Programmable Logic Controller (Automate programmable industriel)

ppm: Parties par million

PRFV : Pressure Regulation Float Valve (Vanne flottante de régulation de pression)

PRV : Polyester renforcé en verre / Plastique Renforcé de Verre

Re : Nombre de Reynolds sans dimension

SDEM : Station de dessalement d'eau de mer

SDI: Indice de colmatage

SPEM : Station de Pompage d'Eau de Mer

TDS : Totale des solides dissous / Concentration du total des solides dissous (Total Dissolved Solids)

TH : Dureté (pour la Dureté totale de l'eau)

TSS : Total des solides en suspension / Concentration du total des solides en suspension (Total Suspended Solids)

VC : Compression vapeur (Vapour Compression)

VFD: Variation de fréquences (Variable Frequency Drive)

VTE: Vertical tube evaporator

ΔH : Pertes de charge totales

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Le besoin croissant en eau potable, exacerbé par l'augmentation démographique et les défis du changement climatique, pousse de nombreuses régions du monde à se tourner vers des solutions innovantes. Le dessalement de l'eau de mer représente une technologie clé pour garantir l'accès à cette ressource vitale.

Ce mémoire de fin d'étude, s'inscrit dans ce contexte en abordant un des ouvrages important d'une station de dessalement d'eau de mer à savoir la prise d'eau.

Dans un premier temps, nous présenterons les principes et les applications du dessalement d'eau de mer. Par la suite, nous allons nous intéresser au cas de la station d'El Marsa (Ain Taya).

Le premier chapitre posera les bases en offrant une généralité sur le dessalement de l'eau de mer. Il explorera les différentes technologies de dessalement, leurs avantages, leurs inconvénients, ainsi que les enjeux environnementaux et économiques associés à leur déploiement. L'objectif sera de fournir une compréhension globale de cette filière essentielle pour la gestion de l'eau.

Le deuxième chapitre sera dédié à la description de la station de dessalement d'El Marsa. Il détaillera ses caractéristiques techniques, sa capacité de production, les procédés mis en œuvre, et son rôle dans l'approvisionnement en eau de la région. Cette section permettra de contextualiser l'étude de cas et de comprendre les spécificités du site.

Enfin, le troisième chapitre constituera le cœur de ce mémoire, en traitant du dimensionnement de la prise d'eau de la station de dessalement d'El Marsa.

À travers ces trois chapitres, ce mémoire vise à apporter une contribution à la compréhension des enjeux liés au dessalement et à fournir une analyse détaillée du processus de dimensionnement d'une prise d'eau.



Chapitre I :
Généralités sur le
dessalement

I.1. Introduction

Comme indiqué dans l'introduction générale, notre pays fait face à une grave pénurie d'eau en raison d'une part de la rareté des ressources et de leur irrégularité dans le temps et dans l'espace et d'autre part une croissance démographique rapide qui engendre une demande de plus en plus importante. L'enjeu dans le domaine de l'eau en Algérie, se résume à remédier définitivement au problème d'approvisionnement en eau et assurer ainsi la sécurité hydrique du pays. Pour se faire, les pouvoirs publics ont décidé de recourir à l'exploitation des ressources non conventionnelles, plus particulièrement, le dessalement de l'eau de mer, et ce, à travers la réalisation de plusieurs stations tout le long du littoral Algérien.

L'objectif de ce chapitre est de présenter des généralités et définitions sur cette technique de production d'eau potable. Les différents points dont il sera question dans ce chapitre portent sur l'historique, le statut mondial et local, l'impact environnemental, les propriétés physico-chimique, ainsi que les différentes méthodes du dessalement des eaux salées.

I.2. Généralités sur le dessalement

I.2.1. Définition du dessalement de l'eau de mer

Le dessalement de l'eau de mer est un processus qui consiste à retirer le sel et les autres minéraux de l'eau de mer pour la rendre potable. Le dessalement est une technologie de plus en plus utilisée dans le monde pour répondre aux besoins croissants en eau potable, notamment dans les zones arides et semi-arides. Cependant, le dessalement a également un coût énergétique élevé et peut avoir des impacts sur l'environnement notamment la production de saumure, qui est une eau salée concentrée rejetée dans l'eau [1].

I.2.2. Histoire du dessalement de l'eau de mer

Le concept d'obtenir de l'eau potable de la mer n'est pas nouveau. Grâce au cycle naturel de l'eau, la nature l'a toujours fait. Face au manque d'eau douce, les anciens marins imitaient la nature en faisant bouillir l'eau de mer et en condensant la vapeur produite pour en produire l'eau non salée. Dans *météorologie*, Aristote (384-322 av. J.C.) écrit : « J'ai prouvé expérimentalement que l'eau salée qui s'évapore s'adoucit et que la vapeur condensée ne réforme pas de l'eau de mer » [2].

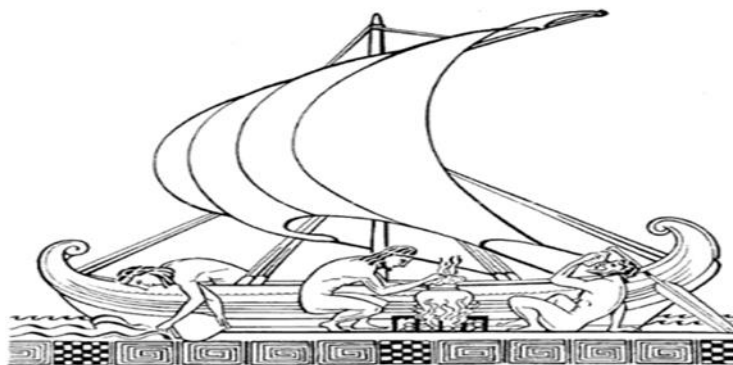


Figure I.1 : Production d'eau douce par condensation sur une éponge [2].

Nous n'avons commencé à parler de techniques pour augmenter la productivité, améliorer la pureté de l'eau ou économiser l'énergie qu'au 18^{ème} siècle.

Les premiers procédés de distillation vraiment industriels, n'ont apparu qu'au début du 20^{ème} siècle, c'est-à-dire la concentration des solutions et la production d'eau douce par évaporation puis condensation.

Puis, en 1959, l'université de Californie a inventé une technologie connue sous le nom d'osmose inverse. Il s'agit d'une méthode membranaire dans laquelle l'eau douce est extraite de l'eau salée en appliquant une pression sur une membrane semi-poreuse. Les membranes commerciales sont apparues pour la première fois en 1970.

Les deux principales familles de méthodes de dessalement de l'eau de mer utilisées aujourd'hui sur une base industrielle sont les procédures de distillation et de membrane [3].

I.2.3. Situation de dessalement dans le monde

Le dessalement de l'eau est de plus en plus en croissance dans le monde entier. Parallèlement aux risques de pollution (maladies, de matières en suspension ou de pathogènes) qui subsistent à chaque étape du parcours aquatique, l'approvisionnement en eau potable, tant en quantité qu'en qualité, devient de plus en plus nécessaire. L'eau douce est distribuée de manière inégale sur toute la planète.

En raison de cette réalité, le dessalement de l'eau de mer est devenu nécessaire pour surmonter le déséquilibre de répartition. Chaque année, la capacité de dessalement installée augmente de plus de 10 % en moyenne. Plus de 15000 usines de dessalement dans 120 pays produisent aujourd'hui plus de 40 millions de m³ /j d'eau, dont les trois quarts (3/4) proviennent d'eau salée et un quart (1/4) d'eau saumâtre. Soixante-quinze pour cent (75 %) de ces 40 millions sont destinés à la consommation humaine, et 25 % à l'utilisation industrielle

ou agricole. La capacité de production mondiale d'eau potable est d'environ 500 millions de m³ /j).

En 2010, la Chine a déclaré qu'elle produira 1 million de m³ /j d'eau de mer traitée, avec un objectif de 3 millions de m³ /j d'ici 2020. Le dessalement de l'eau de mer répond à 60% des besoins en eau douce des pays du golfe arabe. Le dessalement de l'eau de mer ou de l'eau saumâtre souterraine pour la production d'eau douce artificielle a commencé en Méditerranée en Malte, Baléares, Dalmatie, Chypre, Cyclades, puis en Libye et en Algérie, et maintenant rapidement dans toute la Méditerranée. L'Algérie et l'Espagne ont évidemment choisi cette approche pour pallier la pénurie d'approvisionnement en eau. La Méditerranée représente actuellement environ un quart (1/4) du dessalement mondial. D'ici 2030, la capacité de dessalement de la région pourrait être comparable à celle du reste du monde (environ 30 à 40 millions de m³ /j) [4].

La figure ci-dessous représente la capacité du dessalement dans le monde entier :

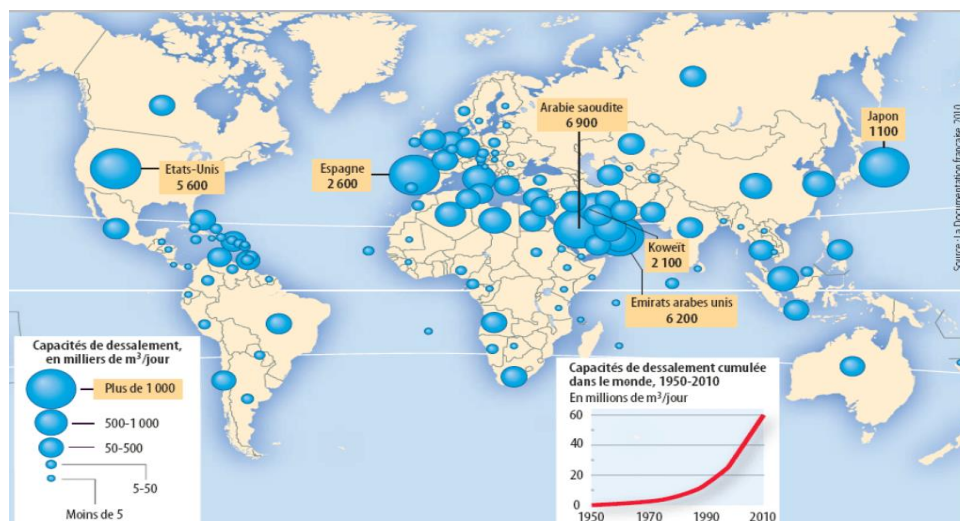


Figure I.2 : La capacité du dessalement dans le monde entier [4].

I.2.4. Le Dessalement en Algérie

Le dessalement de l'eau de mer en Algérie est une composante essentielle de la stratégie nationale pour assurer la sécurité hydrique du pays. Face aux défis posés par le changement climatique, la rareté des ressources en eau douce et la croissance démographique, l'Algérie a investi massivement dans le développement de cette technologie. L'Algérie dispose d'un réseau de stations de dessalement réparties le long de son littoral. Le pays poursuit un programme ambitieux pour augmenter ses capacités de dessalement avec la construction de nouvelles usines

a. Capacité Actuelle :

Le littoral de l'Algérie compte actuellement 25 stations de dessalement d'eau de mer en exploitation, ce qui la place en tête des pays africains dans ce domaine ; réparties sur les 14 wilayas côtières qui relèvent du Ministère des Ressources en Eau (MRE). Elles fournissent 18 % de l'eau consommée dans le pays et alimentent 6 millions de personnes avec un volume de 2,6 millions m³/jour [5].

b. Technologies :

Les usines de dessalement utilisent principalement la technologie de l'osmose inverse, une solution mise en œuvre par Sonatrach et sa filiale Algerian Compagny, qui supervisent les nouvelles stations [5].

c. Objectifs Futurs :

L'Algérie vise à atteindre un taux de couverture de 62% de ses besoins en eau potable grâce au dessalement. À long terme, le taux d'eau potable issue du dessalement devrait atteindre 60% des besoins nationaux d'ici 2030 [6].

Le 23 avril 2024, le ministre algérien des Mines et de l'Énergie a annoncé sa volonté d'exploiter le sel provenant du dessalement de l'eau de mer par le biais de l'Entreprise nationale des sels (Enasel), filiale du groupe industriel public SONAREM [5].

d. Les principales unités de dessalement :

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

Tableau I.1 : Les principales unités de dessalement en Algérie. [7]

Nom	Wilaya	Année de mise en service	Capacité m3/j
Kahrama Arzew	Oran	2005	90000
El-Hamma	Alger	2008	200000
Skikda	Skikda	2009	100000
Beni Saf	Ain Timouchent	2009	200000
Mostaganem	Mostaganem	2010	200000
Honaine	Tlemcen	2010	200000
Souk Tlata	Tlemcen	2010	200000
Douaouda	Tipaza	2010	120000
Cap Djinet	Boumerdès	2010	100000
Mactaa	Oran	2010	500000
Oued Sebt	Tipaza	2010	100000
Ténès	Chlef	2010	200000
Echatt	Taref	2011	500000

e. Nouvelles Stations :

Cinq nouvelles stations sont en cours de réalisation à El Tarf, Bejaïa, Boumerdès, Tipaza et Oran, avec une capacité totale de 1,5 million de mètres cubes par jour [8]. Ces stations ont été inaugurées progressivement à partir de février 2025, avec la dernière inauguration à Cap Djinet le 11 mars 2025.

I.2.5. L'impact du dessalement sur l'environnement

Le dessalement de l'eau de mer est une solution de plus en plus utilisée pour répondre aux besoins en eau douce, en particulier dans les régions arides ou confrontées à des pénuries d'eau. Cependant, ce processus n'est pas sans impacts environnementaux significatifs. Voici un aperçu des principaux enjeux : [9]

a) Consommation d'énergie et émissions de gaz à effet de serre :

Le dessalement est un processus énergivore, nécessitant une quantité importante d'électricité. La plupart des usines de dessalement fonctionnent avec des énergies fossiles, ce qui entraîne des émissions de gaz à effet de serre et contribue au changement climatique.

Selon certaines études, la production d'eau dessalée pourrait générer des émissions de CO₂ considérables, exacerbant ainsi le réchauffement climatique.

b) Rejets de saumure :

Le dessalement produit de la saumure, une eau très concentrée en sel et en produits chimiques. Le rejet de cette saumure dans l'environnement marin peut augmenter la salinité des eaux côtières, perturber les écosystèmes marins et affecter la faune et la flore. Les rejets de saumure peuvent également contenir des produits chimiques utilisés dans le processus de dessalement, tels que des agents anti tartre et des biocides, qui peuvent être toxiques pour la vie marine.

c) Impacts sur la vie marine :

L'aspiration de grandes quantités d'eau de mer peut entraîner la capture et la mort d'organismes marins, tels que les poissons, les larves et le plancton. Les rejets de saumure peuvent également avoir des effets toxiques sur la vie marine et perturber les écosystèmes côtiers. De plus, l'eau rejetée est souvent plus chaude que l'eau de mer, ce qui impacte également la vie marine.

d) Utilisation de produits chimiques :

Le dessalement nécessite l'utilisation de divers produits chimiques, tels que des agents anti tartre et des biocides, qui peuvent être rejetés dans l'environnement et avoir des effets néfastes.

e) Impact sur la température des océans :

L'un des principaux impacts environnementaux du dessalement est l'augmentation de la température des océans due à la pollution thermique. La saumure qui est rejetée dans l'océan par une usine de dessalement peut être jusqu'à 4°C plus chaude que l'eau de mer environnante. Il existe des solutions pour l'atténuation des impacts à savoir :

- Le développement de technologies de dessalement plus efficaces et moins énergivores, telles que l'osmose inverse à faible consommation d'énergie.
- L'amélioration de la gestion des rejets de saumure, par exemple en les diluant ou en les utilisant pour d'autres applications.
- La mise en place de mesures de protection de la vie marine, telles que des systèmes de filtration et des zones de protection.

→ L'utilisation de sources d'énergie renouvelables pour alimenter les usines de dessalement.

I.3. Caractéristiques d'eau de mer et les eaux saumâtres

Qualitativement, une eau salée a un goût appréciable de "sel". Il lui correspond le terme "salure". Quantitativement, une eau salée contient plus de 10 g/l de sels dissous. En dissout-on parlera d'eau saumâtre. On distingue deux catégories d'eau salée : l'eau de mer et l'eau saumâtre [10].

I.3.1. Les eaux marines

L'eau de mer est une eau dans laquelle la concentration en sels est relativement élevée (plus de 10 g/l en générale). Elle contient une quantité sensible de sels dissous ; plus particulièrement de chlorure de sodium. La salinité des mers ouvertes sur les masses océaniques est de l'ordre de 35 g/l qui est considérée comme salinité standard de l'eau de mer. Des variations plus ou moins importantes autour de cette valeur moyenne existent en fonction du bilan précipitation évaporation [11].

Cette salinité peut être différente dans le cas de mers fermées :

Tableau I.2 : La salinité de différentes mers [12].

Lieu	Teneurs en sels (g/l)
Mer Morte	270
Mer Rouge	40
Golfe Arabo-Persique	39 à 43
Mer Méditerranée :	36 à 39
Mer Noire	20
Mer Caspienne	13
Mer Baltique	07

Le pH moyen des eaux de mer varie entre 7,5 et 8,4 : l'eau de mer est un milieu légèrement basique.

I.3.2. Composition de l'eau de mer

Alors que la composition en sels des océans ouverts est remarquablement constante, avec une prédominance des ions chlorure et sodium (environ 85% du poids total des sels), les mers fermées et les grands lacs salés présentent des compositions ioniques plus variées. Cela s'explique par l'évaporation qui concentre des eaux de surface initialement moins salées et dont la composition en ions peut différer significativement de celle de l'eau de mer [12].

Tableau I.3 : Composition minérale de l'eau de mer [13].

Type d'ions	Composition de l'eau de mer (g/l)	Proportion (%)
Chlorures	19,841	55,08
Sulfates	2,769	7,69
Bicarbonates	0,146	0,41
Bromures	0,068	0,19
Fluorures	0,001	0,00
Sodium	11,035	30,64
Magnésium	1,330	3,69
Calcium	0,418	1,16
Potassium	0,397	1,10
Strontium	0,014	0,04
Totale	36,02	100

I.3.3. Eaux saumâtres

Contrairement à l'eau de mer, l'eau saumâtre présente une salinité plus faible (1 à 10 g/L) et n'est pas potable. Elle résulte fréquemment de la dissolution de sels (CaCO_3 , CaSO_4 , MgCO_3 , NaCl) par les eaux souterraines. Cette salinité est due aux ions dissous présents dans les eaux souterraines, issus de la dissolution des roches (calcaires, gypse), des précipitations et des activités humaines. La concentration en sels augmente avec la profondeur, en raison de la solubilité accrue des minéraux à haute température. Ce qui explique sa composition variable [14].

I.4. Caractéristique physico-chimique de l'eau de mer

I.4.1. Température

Sous l'influence des courants polaires, la température de l'eau de mer peut fluctuer de quelques degrés sur les côtes jusqu'à 35 °C. Cette température peut être bénéfique à certains procédés de dessalement tout en étant nuisible à d'autres.

I.4.2. Potentiel d'hydrogène (pH)

L'origine de l'eau, entre autres, influence la diversité des formes ionisées. Le pH moyen de l'eau de mer varie entre 7.5 et 8.4, l'eau de mer est donc légèrement basique [15].

I.4.3. Conductivité

La masse totale des sels dissous dans un kilogramme d'eau de mer varie selon la mer. La conductivité mesure de la capacité de l'eau à conduire le courant entre deux électrodes. La quantité des sels dissous dans l'eau peut donc être estimée à l'aide de mesures de conductivité, qui sont également fonction de la température de l'eau. Lorsque la température monte, la conductivité devient encore plus importante [15].

I.4.4. Turbidité

La turbidité est la caractéristique de l'eau qui la rend trouble ; la mesure de la turbidité donne une indication sur la teneur en matières solides en suspension. La turbidité de l'eau de mer varie de 3 à 10 NTU [15].

I.4.5. Densité

La densité de l'eau de mer est de l'ordre de 1,03 g/cm³ ; soit le rapport d'une unité de masse à son volume à une température bien définie [15].

I.4.6. Dureté

La dureté d'une eau correspond à la présence des ions : Ca²⁺ et Mg²⁺. Elle est notée TH. Il y a deux types de dureté à considérer :

- a. Dureté temporaire** : indique la concentration des ions Ca²⁺ et Mg²⁺ qui précipitent après ébullition d'eau.
- b. Dureté permanente** : correspond à la concentration des ions Ca²⁺ et Mg²⁺ qui reste en solution après ébullition d'eau. La dureté d'une eau de mer est en moyen de 705°F [16].

I.4.7. Métaux lourds

Les métaux lourds présents dans l'eau de mer peuvent être selon l'ordre de nocivité Décroissante : mercure, cadmium, argent, plomb, zinc, nickel, cobalt...leur toxicité dépend de la forme chimique dans laquelle ils se trouvent. Les métaux lourds représentent un vrai problème de santé publique. De par leur composition chimique, ils ne peuvent pas être dégradés par les bactéries [17].

I.4.8. Matière organique

Les matières organiques présentes dans l'eau de mer peuvent provenir de diverses sources, notamment les émissions de l'industrie alimentaire, les eaux usées résidentielles et l'agriculture. Les matières organiques peuvent être dégradées par des bactéries spécifiques et donc dissoutes dans l'eau de mer, ce qui pose un défi d'un point de vue économique. La matière organique des eaux naturelles est un environnement très diversifié, mais plutôt stable dans le milieu aquatique. Les composés humiques constituent la majorité de cette matière organique, avec 30 à 50 % de carbone organique dissous et peut-être 90% pour cent dans des eaux plus colorées [17].

I.4.9. Sels dissous

La quantité de sel dissous dans l'eau de mer varie d'une eau à l'autre selon que la mer est ouverte ou fermée. Toutefois, dans le cas des océans ouverts, le pourcentage de divers sels présents est généralement stable. La somme des ions chlorure et sodium, par exemple, représente environ 85 % du poids total des sels [11].

I.5. Différents procédés de dessalement

I.5.1. Schéma général d'une installation de dessalement

Une installation de dessalement peut être schématiquement subdivisée en 4 postes (voir figure I.3)

- ✚ Une prise d'eau de mer
- ✚ Un poste de prétraitement
- ✚ L'installation de dessalement proprement dite
- ✚ Un post-traitement [18].

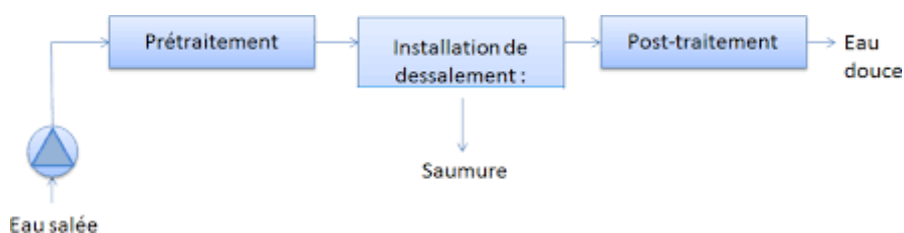


Figure I.3 : Schéma général d'une installation de dessalement.

I.5.2 . Les procédés majeurs de dessalement

La totalité des installations actuellement en service fait appel à deux grandes familles de procédés :

- ✚ Les procédés thermiques faisant intervenir un changement de phases : la congélation et la distillation
- ✚ Les procédés membranaires : l'osmose inverse et l'électrodialyse [19].

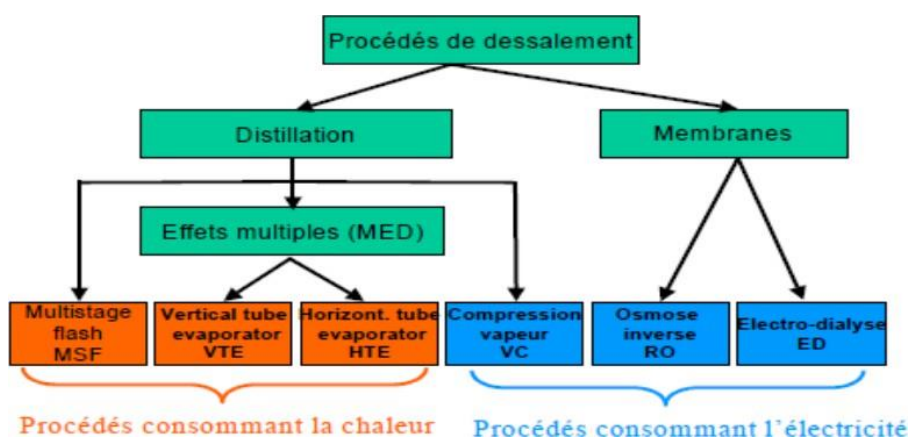


Figure I.4 : Schéma des différents types de procédés de dessalement.

I.5.2.1. Procédé de distillation

La distillation consiste à porter l'eau de mer à ébullition et à condenser la vapeur d'eau produite, afin d'obtenir une eau (distillat) épurée des sels et autres matières contenues dans l'eau de mer [20]. Les procédés de distillation qui peuvent être utilisés sont les suivants : Distillation à simple ou multiples effets

a. Distillation à simple effet :

Repose sur l'évaporation et la condensation. L'eau de mer est introduite dans une enceinte fermée appelée évaporateur. Un serpentin de chauffage, alimentée par une source de chaleur porte l'eau de mer à ébullition. La vapeur de l'eau produite s'élève, laissant derrière elle les sels et autres impuretés. La vapeur de l'eau entre en contact avec un second serpentin refroidi par de l'eau de mer. Un système de pompage est utilisé pour extraire l'eau douce condensée et évacuer l'eau de mer concentrée (la saumure) [21].

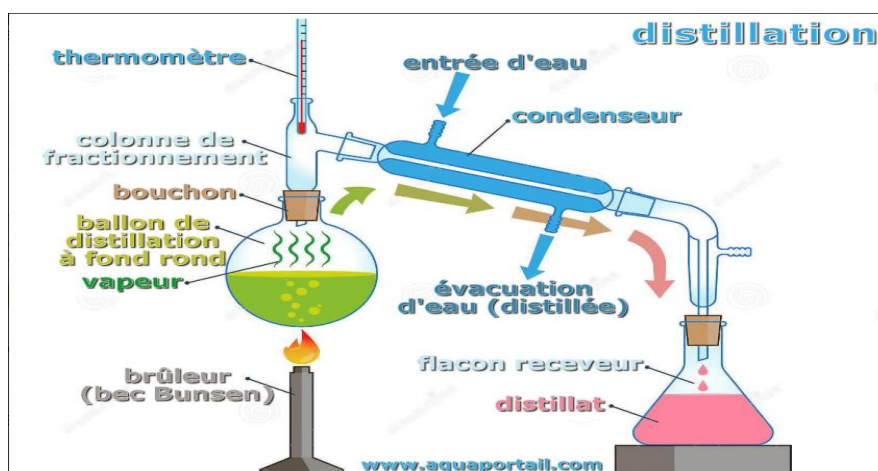


Figure I.5: Principe du procédé de distillation à simple effet [20].

b. Distillation à multiples effets :

La distillation à multiples effets (MED) est une technique de dessalement de l'eau de mer qui améliore considérablement l'efficacité énergétique par rapport à la distillation à simple effet. La MED repose sur le principe de la réutilisation de la chaleur. Au lieu de condenser la vapeur produite dans un seul étage, elle est utilisée pour chauffer l'eau de mer dans un étage suivant, et ainsi de suite [22].

Dans le premier étage, de la vapeur de chauffage externe (par exemple, de la vapeur provenant d'une centrale électrique) est utilisée pour chauffer l'eau de mer, provoquant son évaporation. La vapeur produite dans le premier étage est ensuite acheminée vers le deuxième étage, où elle se condense. Cette condensation libère de la chaleur, qui est utilisée pour

évaporer une nouvelle portion d'eau de mer dans le deuxième étage. Ce processus se répète dans les étages suivants, chaque étage fonctionnant à une pression et une température légèrement inférieures à l'étage précédent.

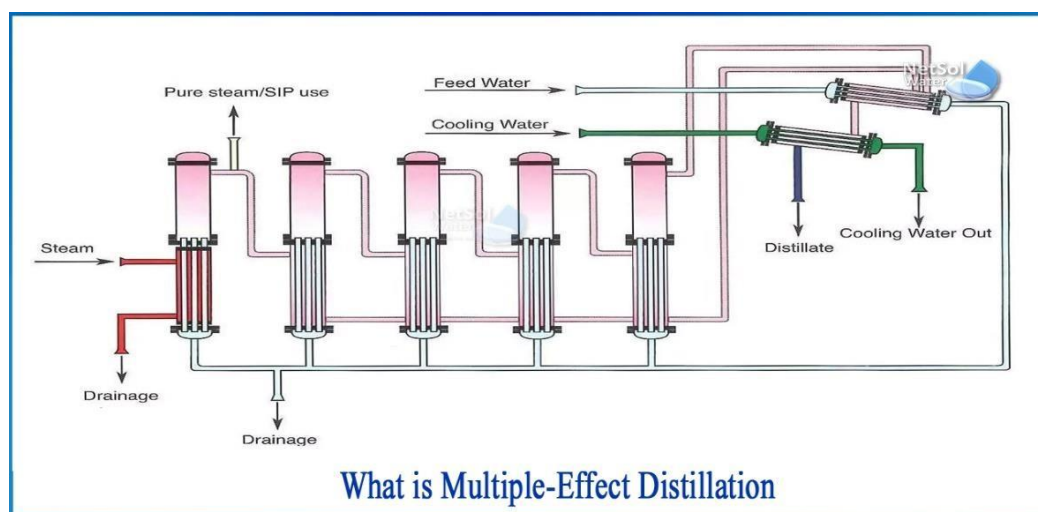


Figure I.6 : La distillation à multiples effets (MED) [23].

c. Distillation par détentes successives appelé aussi MULTIFLASH ou FLASH (MSF)

Dans ce procédé, l'eau de mer, après avoir été prétraitée, est introduite à la température T_0 dans les condenseurs en série placés dans une succession de chambres. L'eau de mer s'échauffe dans ces condenseurs jusqu'à la température T_1 . Elle est alors introduite dans un réchauffeur qui élève la température jusqu'à la température T_{max} . Le réchauffeur est alimenté par un débit de vapeur M_v provenant d'une chaudière ou de l'échappement d'une turbine. L'eau de mer chaude est alors introduite dans le bas de la première chambre où règne une pression inférieure à sa pression de saturation. Il en résulte une vaporisation instantanée par détente appelée °FLASH° : la vapeur ainsi produite va se condenser sur la surface du condenseur. Le condensat de cette vapeur, recueilli dans un réceptacle placé sous le condenseur, forme la production d'eau douce de la 1^{ère} chambre. Ce phénomène se reproduit à la chambre 2, puis 3, jusqu'à la chambre n. Les températures des chambres (t_1, t_2, \dots, t_n) vont en décroissant et par conséquent, il en est de même pour les pressions. Ce sont les écarts de pression entre les chambres qui autorisent, sans la nécessité de pompes, l'écoulement de l'eau de mer et de l'eau douce produite jusqu'à la dernière chambre [18].

L'installation fonctionne sous vide, tout au moins pour les chambres dont la température est inférieure à 100°C et il y a toujours des entrées d'air inévitables qui s'ajoutent au CO_2 formé par la décomposition des ions bicarbonates et qui se dégagent dans les

chambres. Pour maintenir le bon fonctionnement, il est nécessaire d'extraire en permanence ces gaz incondensables [18].

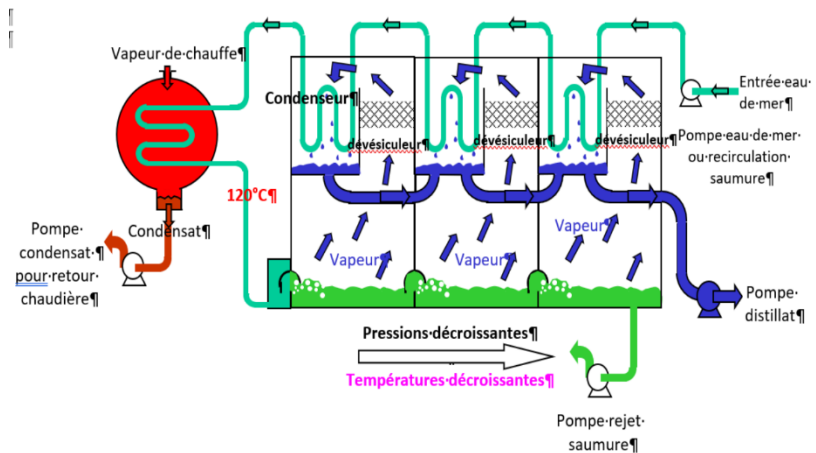


Figure I.7 : Procédé de distillation multi flash d'eau de mer [24].

d. Distillation par compression de vapeur :

L'eau à dessaler est portée à ébullition dans une enceinte thermiquement isolée. La vapeur produite est aspirée par un compresseur qui élève sa température de saturation. Cette vapeur traverse ensuite un faisceau tubulaire placé à la base de l'enceinte et se condense en provoquant l'ébullition de l'eau salée [18].

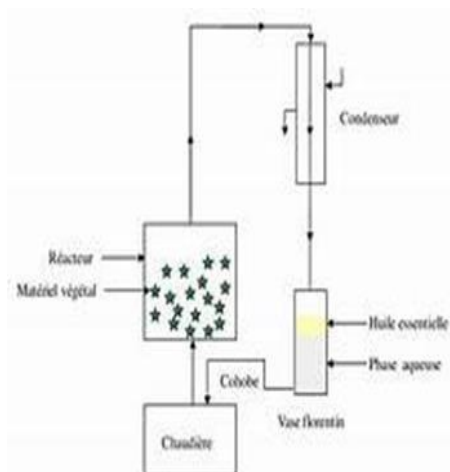


Figure I.8 : Distillation avec compresseur à vapeur.

I.5.3. Procédés membranaires

Les membranes ont la capacité de faire la distinction entre les sels et l'eau et de les séparer de façon sélective. Deux méthodes de dessalement membranaire ont été créées et sont actuellement disponibles sur le marché, utilisant ces capacités mais de manières différentes dans chaque cas : l'électrodialyse et l'osmose inverse [25].

I.5.3.1. L'électrodialyse

L'électrodialyse fonctionne sur un concept bien connu. Un champ électrique généré par deux électrodes plongeant dans le liquide déplace les ions d'un sel dissous dans l'eau, tels que le chlorure de sodium.

L'électrode négative (ou cathode) attire les ions positifs, ou cations (par Na^+), tandis que l'électrode positive attire les anions négatifs (Cl^-).

Les membranes filtrantes imperméables aux anions et cations perméables, ou imperméables aux cations et perméables aux anions, sont alternativement insérées dans l'électrodialyse. En conséquence, une série de compartiments avec des concentrations élevées de sel et d'autres avec des concentrations faibles de sel sont créés.

L'électrodialyse est idéale pour les eaux saumâtres dont la salinité est inférieure à celle de l'eau de mer. Les membranes d'électrodialyse permettent aux ions de circuler tout en restant étanches. L'inverse est vrai pour les membranes utilisées en osmose inverse [26].

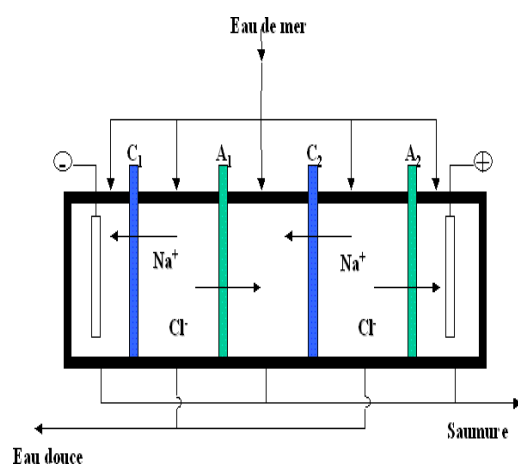


Figure I.9 : Unité d'électrodialyse alimentée

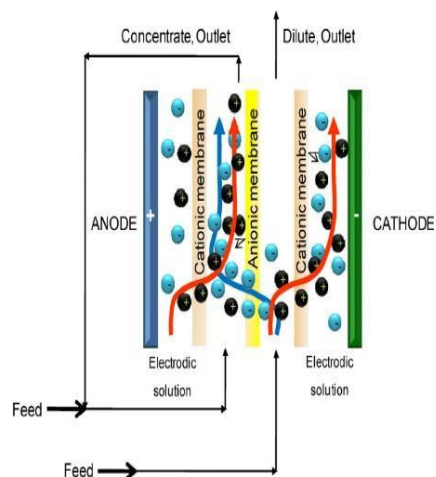


Figure I.10 : Principe de l'électrodialyse

I.5.3.2. L'osmose inverse

L'osmose inverse est un procédé de séparation de l'eau et des sels dissous au moyen de membranes semi-perméables sous l'action de la pression (de 54 à 80 bars pour le traitement de l'eau de mer). Ce procédé fonctionne à température ambiante et n'implique pas de changement de phase [20].

Les membranes polymères utilisées laissent passer les molécules d'eau et ne laissent pas passer les particules, les sels dissous, les molécules organiques dont la taille est supérieure à 10⁻⁷ mm.

I.6. Principe de l'osmose inverse

I.6.1. Osmose et osmose inverse

On appelle « osmose » le transfert de solvant (eau dans la plupart des cas) à travers une membrane sous l'action d'un gradient de concentration. Considérons un récipient constitué de deux compartiments séparés par une membrane semi-perméable. Les deux compartiments sont remplis, au même niveau, l'un d'eau pure, l'autre d'eau salée ; on constate rapidement le passage de l'eau pure vers le compartiment renfermant l'eau salée.

Au fur et à mesure que le niveau d'eau élève dans le compartiment de la solution concentrée, la membrane semi-perméable est soumise à une pression hydrostatique de plus en plus élevée côté eau salée, et de plus en plus faible côté eau pure.

A l'équilibre, aucun flux ne traverse la membrane, le système est alors soumis à une pression d'équilibre appelée « pression osmotique »

Ce phénomène d'osmose est réversible, il suffit d'appliquer à la solution la plus concentrée une pression mécanique supérieur à la pression osmotique pour inverser le sens du flux d'eau : c'est le phénomène d'osmose inverse [29].

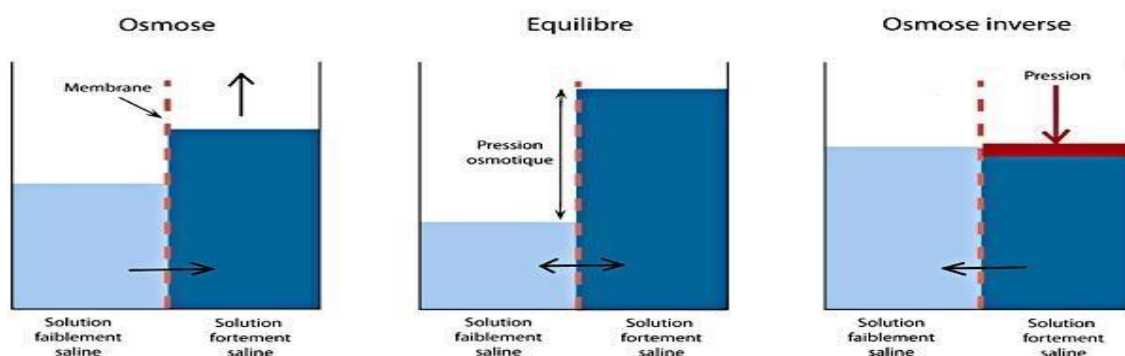


Figure I.11 : Principe de l'osmose inverse [18].

I.6.2. Schéma général d'une installation d'osmose inverse

Le système d'osmose inverse est composé principalement de :

- Membrane.
- Le module contenant la membrane.
- La pompe haute pression (Une pompe de mise à pression du liquide afin de lui donner la pression efficace de production qui doit être supérieure à la pression osmotique des modules).
- Le poste de traitement. Ci-dessous (Figure I.11) une représentation d'une filière de traitement par osmose inverse :

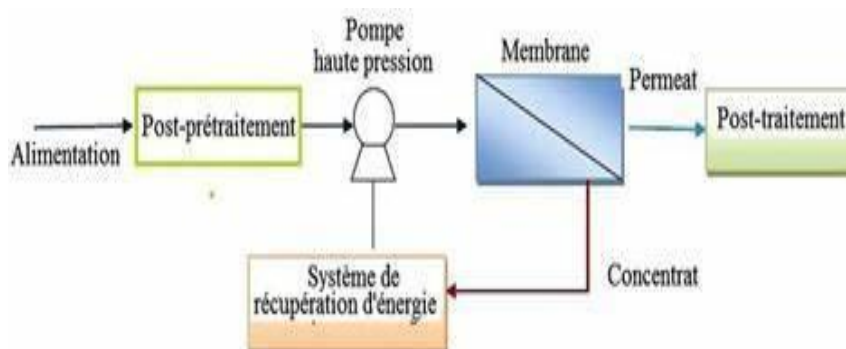


Figure I.12 : Schéma général d'une installation d'osmose inverse [30].

Sur la membrane, le flux fluide est continu et tangentiel. Ce flux tangentiel empêche de nombreuses espèces (particules, molécules et ions) de s'accumuler sur la membrane. Le débit d'admission de la membrane (Q_0) est divisé en deux sections avec des concentrations différentes. La membrane permet à un composant (débit Q_p) de passer à travers (perméat), tandis que l'autre partie est maintenue par la membrane (concentrat ou retentât) [31]

I.7. Comparaison des procédés

Dans le tableau suivant nous présentons une comparaison entre les différents procédés de dessalement selon différents critères comprenant le coût, la consommation de l'énergie, l'impact environnemental...etc.

Tableau I.4: comparaison de différents procédés de dessalement.

Critères	Distillation simple	MED	MSF	Osmose inverse	Electrodialyse
Coût d'installation	Faible	élevé	Très élevé	modéré	modéré
Energie (kWh/m³)	≥1000	3,5-7	8-16	3-6	1-5
Impact environnemental	Rejet thermique	Rejet thermique modéré	Rejet Thermique élevé	Saumure concentre	Déchets chimiques
Rendement	<30%	30-40%	20-35%	40-50%	50-90%
adaptabilité	Zones isolées	cogénération	Grandes installation (usines)	Polyvalente (toute échelles)	Eaux saumâtres
Avantage clé	Simplicité technologique	Efficacité thermique	fiabilité	flexibilité	Faible énergie
Inconvénient majeur	Consommation énergétique très élevée	complexité	encombrement	Encrassement membranaire	Limite salinité

Autres procédés de dessalement

I.7.1. Échangeurs d'ions

L'échange d'ions (Figure I.13) est la méthode privilégiée pour éliminer certains polluants de l'eau potable. Il est un processus très sélectif par rapport au Schéma de principe d'une unité d'osmose inverse (Figure I.11) [4].

Il est utilisé dans de nombreuses applications à grande échelle pour l'élimination de la dureté, des nitrates, du bore de la matière organique naturelle, des perchlorates, des chromates, de l'uranium et d'autres métaux [32]. L'échange d'ions est la permutation réversible d'ions structuraux dans un matériau, appelé "échangeur d'ions", et d'ions en solution, qui sont en contact avec l'échangeur d'ions [33].

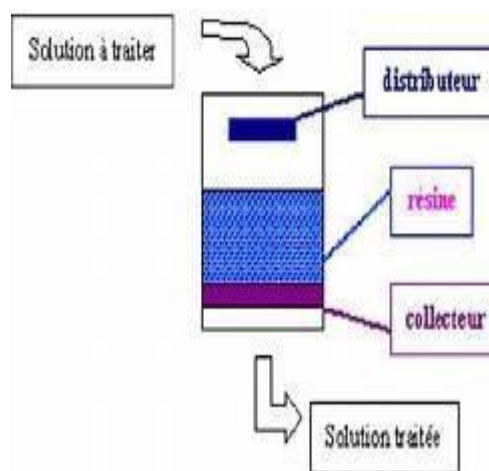


Figure I.13 : Colonne échangeur d'ions.

I.7.2. Dessalement par congélation

Le dessalement par congélation repose sur le phénomène suivant : lorsqu'une solution saline est refroidie en dessous de 0 °C, seule l'eau douce gèle, laissant les sels concentrés dans la phase liquide restante (saumure). Cependant, la séparation complète nécessite de faire fondre la glace, ce qui est rendu complexe par la présence d'une fine couche de saumure résiduelle autour des cristaux de glace [34].

Le processus de dessalement par congélation se déroule en trois étapes principales :

- a. **Prétraitement de l'eau de mer** : Cette étape élimine les impuretés solides et les gaz dissous, préparant l'eau à la congélation.
- b. **Formation des cristaux de glace** : La solution saline est refroidie, provoquant la formation de cristaux de glace. Pour faciliter le lavage ultérieur, il est préférable d'obtenir des cristaux de grande taille.

- c. **Lavage et ressuage des cristaux de glace** : Les cristaux de glace sont lavés pour éliminer la saumure résiduelle. Dans les procédés continus, on utilise environ 5 % de l'eau produite pour ce lavage [35].

I.7.3. Distillation solaire

La distillation solaire, utilisée pour la première fois en 1872 dans les mines de nitrate du nord du Chili, exploite l'effet de serre pour produire de l'eau douce à partir d'eau salée. Le dispositif se compose d'un bassin à fond noir contenant l'eau à traiter, recouvert d'une vitre. Le fonctionnement est simple :

- a. **Chauffage solaire** : Le rayonnement solaire chauffe le fond noir du bassin, ce qui entraîne l'évaporation de l'eau.
- b. **Condensation** : La vapeur d'eau, ne pouvant s'échapper, se condense au contact de la vitre, formant des gouttelettes d'eau douce.
- c. **Collecte** : Les gouttelettes d'eau douce ruissellent et sont recueillies dans un réservoir.
- d. **Résidus** : Les sels et autres impuretés restent au fond du bassin.

Avantages et inconvénients

- **Avantage** : Simplicité de conception et d'utilisation.
- **Inconvénient** : Faible rendement [36].

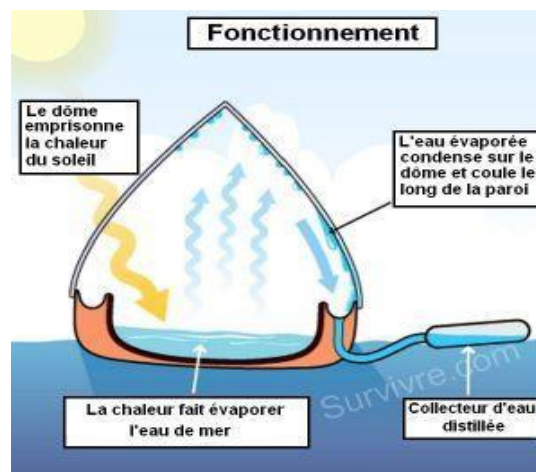


Figure I.14: Procédé de distillation solaire d'eau de mer.

I.8. Les problèmes techniques rencontrés dans le dessalement

I.8.1. Entartrage

L'entartrage se manifeste par l'accumulation de dépôts de sels minéraux sur les surfaces d'échange des installations de dessalement. Ces dépôts sont principalement composés de carbonate de calcium (CaCO_3), d'hydroxyde de magnésium ($\text{Mg}(\text{OH})_2$) et de sulfate de calcium (CaSO_4), résultant de la présence d'ions tels que le calcium, le magnésium, les bicarbonates et les sulfates dans l'eau salée.

Les conséquences de l'entartrage sont significatives :

- **Réduction de la section de passage** : Les dépôts diminuent le diamètre des conduites, entravant le flux d'eau.
- **Dégradation des surfaces** : L'efficacité des échanges thermiques est compromise, réduisant l'efficacité globale de l'installation.
- **Obstruction des conduites** : L'accumulation excessive de tartre peut bloquer complètement les conduites.
- **Augmentation des pertes de charge** : Une plus grande énergie est nécessaire pour maintenir le débit d'eau, augmentant les coûts opérationnels [37].

I.8.2. Le colmatage

Le colmatage, quant à lui, est causé par l'accumulation de composés organiques et de bactéries présents dans l'eau brute naturelle. Ces organismes, retenus par les membranes utilisées dans les procédés tels que l'osmose inverse, forment un biofilm qui obstrue la membrane.

Les effets du colmatage sont les suivants :

- **Diminution de la capacité de production** : Les membranes obstruées réduisent la quantité d'eau douce produite.
- **Augmentation des coûts du processus** : Des nettoyages fréquents et le remplacement des membranes sont nécessaires, entraînant des dépenses supplémentaires.

Comme pour les autres problèmes il est possible de réduire le colmatage par un prétraitement adéquat. Dans certains cas une étape de coagulation-floculation suivie d'une filtration sera indispensable [37].

I.8.3. La corrosion

La corrosion, un processus de dégradation chimique des matériaux, en particulier les métaux et alliages, causée par l'interaction avec des liquides ou des gaz, représente un défi significatif dans les installations de dessalement. Ce phénomène, exacerbé par l'exposition à des agents naturels tels que l'air ou l'eau salée, entraîne des conséquences préjudiciables [38]. Les principales conséquences de la corrosion sont les suivantes :

- **Rupture des conduites** : La corrosion affaiblit la structure des conduites, les rendant susceptibles de se rompre, ce qui peut entraîner des interruptions de service et des réparations coûteuses.
- **Augmentation de la rugosité des conduites** : La corrosion crée des irrégularités sur les surfaces internes des conduites, augmentant la résistance au flux d'eau et réduisant l'efficacité du système.
- **Fuites d'eau** : La détérioration des conduites due à la corrosion peut entraîner des fuites, entraînant des pertes d'eau et une augmentation des coûts d'exploitation.
- **Pollution de l'eau produite par des agents extérieurs** : La corrosion peut libérer des produits de dégradation dans l'eau, contaminant ainsi l'eau produite et compromettant sa qualité.

Ainsi, la corrosion constitue un problème majeur dans les installations de dessalement, nécessitant des mesures de prévention et de contrôle rigoureuses pour assurer la durabilité et l'efficacité des systèmes.

I.9. Conclusion

Malgré le coût assez élevé des installations, le dessalement de l'eau de mer reste l'une des solutions les plus efficaces pour remédier au manque d'eau potable dans le monde. Dans le contexte Algérien, le dessalement représente un enjeu majeur pour l'avenir du pays. En effet, les efforts déployés dans ce domaine témoignent de la volonté des autorités de garantir notre sécurité hydrique autrement dit un accès durable à l'eau pour toute la population. Dans ce chapitre, nous avons présenté une vue générale sur le processus de dessalement des eaux de mer. Il y a lieu d'indiquer que concernant l'Algérie, c'est la méthode de l'osmose inverse qui est privilégiée dans le procédé de dessalement, en raison du faible investissement et du coût énergétique d'un tel procédé.



Chapitre II :
**Présentation de la station de
dessalement d'EL MARSA**

II.1. Introduction

Ce chapitre a pour objectif de fournir un aperçu détaillé de la station de dessalement d'El Marsa, un site d'étude d'une importance capitale, situé à Ain Taya, dans la wilaya d'Alger. Cette installation répond à un besoin pressant d'approvisionnement en eau douce pour la région. Avec une capacité de production de 60 000 m³/jour, l'usine de dessalement d'El Marsa joue un rôle essentiel dans la satisfaction des besoins en eau des populations locales et le soutien des diverses activités industrielles.

II.2. Situation géographique

La station est située à l'est d'Alger, dans la commune d'El Marsa qui est rattachée à Ain Taya. Cette station de dessalement assure l'approvisionnement de plusieurs communes dont la population est 400 000 habitants. Il est à noter que la distance entre la station et la mer Méditerranée est d'environ 350 m [39].



Figure II.1 : Situation géographique d'El Marsa [39].

II.3. Présentation générale de la station de dessalement d'EL MARSA

- **Date de mise en service** : octobre 2022.
- **Capacité de production** : Cette station conçue pour produire 60 000 m³ d'eau potable par jour.
- **Objectif** : L'objectif principal est de fournir une eau de qualité conforme aux directives de l'OMS et aux normes algériennes, en respectant des valeurs spécifiques pour le pH, l'alcalinité, l'indice de saturation de Langelier, la dureté totale, la concentration de solides dissous et la concentration de bore [40].

Les valeurs des paramètres de qualité de l'eau suivants sont spécifiquement requises :

Tableau II.1 : Les valeurs des paramètres de qualité de l'eau [40].

• Valeur du pH	[7-8,5]
• Alcalinité max.	67 ppm en tant que CaCO ₃
• Indice de saturation de Langelier (LSI)	[0-0,4]
• Dureté totale	[50-75] mg/l en tant que CaCO ₃
• Concentration du total des solides dissous (TDS)	[150-500] mg/l
• Concentration maximale de bore (B)	1,0 mg/l

- **Maitre d'ouvrage et exploitant actuel** : Le maitre de l'ouvrage est l'Algerian Energy company. L'exploitant est Cosider canalisation [40].



Figure II.2 : La station de dessalement de l'eau de mer El Marsa [39].

II.4. Processus du dessalement dans la station d'El Marsa

Le processus de traitement d'eau de mer de la station El Marsa est résumé dans la figure II.3 Ce processus comprend les phases et étapes suivantes :

- ✚ Captage de l'eau de mer ;
- ✚ Prétraitement ;
- ✚ Filtration ;
- ✚ Osmose inverse
- ✚ Post-traitement
- ✚ Système d'évacuation de saumure [40].

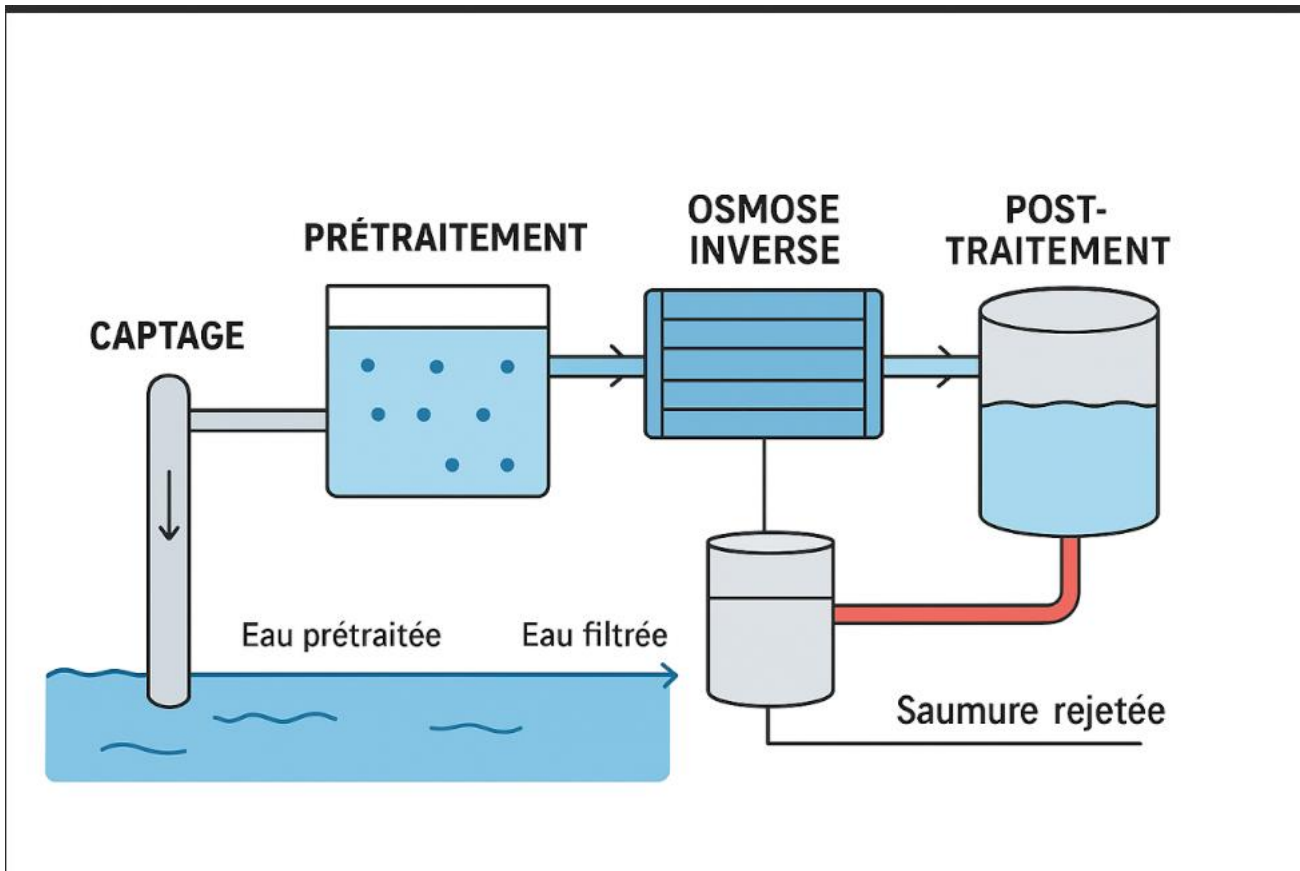


Figure II.3 : Le schéma de fonctionnement d'El Marsa .

II.5. Les activités de la station :

II.5.1. Consistance du Projet :

- **Station de pompage d'eau de mer :** Comprend une zone de pompage en contrebas, une zone

de dégrillage en grande partie souterraine, et une salle des machines couverte abritant les pompes de relevage.

- **Prise d'eau :** Ouverte (source de l'eau de mer).
- **Alimentation :** Gravitaire via trois canalisations en PE.
- **Débit de conception maximal :** $134\,483\text{ m}^3/\text{jour} \approx 5604\text{ m}^3/\text{heure}$

Deux canaux avec dégrilleurs dimensionnés pour la totalité de ce débit, permettant une redondance en cas de maintenance [40].

II.5.2. Système d'adduction :

- Nombre de canalisations : Trois
- Matériau : PE (Polyéthylène)
- Taille : DE800 (Diamètre Extérieur 800 mm)
- Diamètre Intérieur (approximatif) : 705,2 mm
- Longueur : 450 m par canalisation
- Pompes : Pompes de relevage situées dans la salle des machines
- Vannes murales à commande manuelle aux entrées des canalisations vers la station.
- Vannes et raccords associés aux pompes de relevage dans la salle des machines.
- Batardeaux : Utilisés pour isoler les extrémités des canaux de dégrillage pour la maintenance [40].

II.5.3. Altitudes :

- Sol en contrebas (point d'arrivée des conduites) : ~5,90 m NGA
- Autres sections de la station : ~36,00 m NGA
- Surface d'exploitation des dégrilleurs : +1,90 m NGA
- Plateforme d'entrée de la salle des machines : +6,10 m NGA
- Niveau du sol extérieur à la salle des machines : +5,95 m NGA
- Fond de la salle des machines : +1,90 m NGA
- Niveau de l'eau de mer dans la section d'entrée : entre -3,09 m et +0,14 m NGA
- Fond des canaux de dégrillage : -4,75 m NGA [40].

II.5.4. Dimensions :

- Plateforme d'entrée de la salle des machines : 11 m de long x 2,80 m de large.
- Porte pour équipements de la salle des machines : 3 mètres de large.
- Largeur des canaux de dégrillage : 1,60 m.
- Niveaux de Référence : Toutes les cotes de niveaux sont basées sur l'altitude géodésique normale zéro en Algérie (NGA) [40].

II.6. Étape de Dégrillage

- **Objectif général** : Éliminer les déchets, les gros solides et les petites particules pour protéger les équipements en aval.
- **Configuration** : Deux canaux de dégrillage parallèles, dimensionnés chacun pour 100% du débit de conception max. (5604 m³/h). Possibilité de fermeture individuelle pour maintenance (batardeaux).
- a. **Dimensions des canaux** : Largeur de 1,60 m. Fond à une cote de niveau de -4,75 m NGA.
- b. **Surveillance du niveau d'eau** : Entre -3,09 m et +0,14 m NGA dans la section d'entrée.
- c. **Surface d'exploitation (pont)** : Altitude de +1,90 m NGA [40].

II.6.1. Dégrillage Grossier

- **Objectif** : Éliminer les ordures et débris plus volumineux (> 40 mm).
- **Nombre et conception** : Deux dégrilleurs identiques, à grilles inclinées (80°), commande manuelle.
- **Dimensionnement** : Chaque dégrilleur pour 100% du débit max.
- **Espace entre les barres** : 40 mm.
- **Matériaux** : Super duplex (en contact avec le fluide).
- **Nettoyage** : Manuel avec râpeaux. Débris évacués dans des conteneurs perforés (fournis par le client).

- Perte de charge : 1 à 40 cm (surveillance par transmetteurs de niveau radar). Alarme en cas de colmatage excessif (> 50%) [40].



Figure II.4 : Dégrilleur grossiers d'El Marsa (B.N, A.M 2025).

II.6.2. Dégrillage Fin

- Objectif : Éliminer les solides > 3 mm pour protéger les équipements en aval.
- Nombre et conception : Deux dégrilleurs identiques, verticaux à bande mobile.
- Éléments principaux : Panneaux de dégrillage de 1,10 m de large avec grilles à mailles fines.
- Principe de fonctionnement : Écoulement "intérieur-extérieur".
- Nettoyage : Jet d'eau haute pression (11 m³/h à 4 bars par dégrilleur) sur les panneaux au-dessus du pont d'exploitation. Débris tombent dans une auge vers un second conteneur perforé (fourni par d'autres).
- Dimensions des canaux au niveau des dégrilleurs : S'élargissent de 1,60 m à 4,00 m.
- Largeur des dégrilleurs : 2,50 m, placés au centre (espaces de 0,75 m pour l'eau).
- Largeur de l'ouverture de sortie : 2,25 m.
- Profondeur d'installation : 6,65 m.
- Matériaux : Super duplex (parties en contact avec l'eau de mer) [40].



Figure II.5 : Dégrilleurs fin (B.N, A.M 2025).

II.7. Pompes de Relevage d'Eau de Mer

- Nombre de pompes : Quatre (trois de service, une de secours), identiques.
- Type : Centrifuge vertical, raccords process en ligne.
- Aspiration : Tuyau vertical avec entrée profonde pour éviter l'air et la cavitation (sous le niveau d'eau minimum du puisard).
- Dimensionnement par pompe : Débit de 1900 m³/h à une Hauteur Manométrique Totale (HMT) de 50 m.
- Matériaux (parties en contact avec le liquide) : Alliage de bronze d'aluminium résistant à l'eau de mer, NiAlBz (CC333) [40].



Figure II.6 : Station de relevage (B.N, A.M 2025).

II.8. La désinfection

II.8.1. Surveillance des paramètres de qualité de l'eau de mer :

II.8.1.1. Paramètres surveillés en permanence :

- ✓ Concentration de chlorophylle
- ✓ Concentration d'hydrocarbures
- ✓ PH
- ✓ Température
- ✓ Conductivité électrique
- ✓ Concentration du total des solides en suspension (TSS) [40].

II.8.1.2. Instrumentation :

- ✓ Chlorophylle et Hydrocarbures : Kits de mesure autonomes, raccordés séparément à la ligne d'échantillonnage d'eau.
- ✓ PH, Température, Conductivité électrique, TSS : Kits de mesure (capteurs, raccords d'écoulement, transmetteurs) montés sur un panneau d'instrumentation commun [40].



Figure II.7 : Capteur chlorophylle, MES et PH (B.N, A.M 2025).

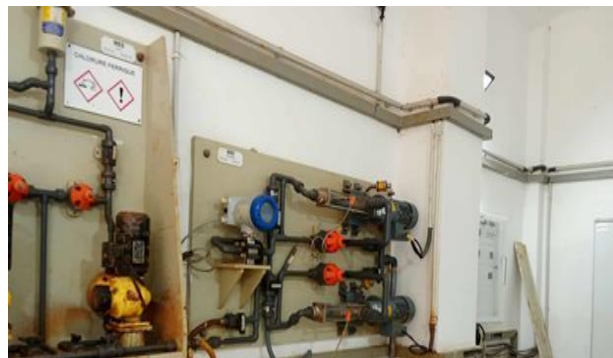


Figure II.8 : Capteurs T, Conductivité et HC (B.N, A.M 2025).

II.8.1.3. Point de prélèvement de l'échantillon : Ligne d'échantillonnage d'eau reliée à la conduite de refoulement commune des pompes d'eau de mer [40].

II.8.2. Système de Suppression de la Bio-Croissance dans la Conduite d'Eau de Mer Entrante :

La croissance biologique rapide et formation de biofilms (crustacés, bernacles, moules) dans les conduites de prise d'eau de mer, entraînent :

- Réduction du débit d'eau de mer.
- Risque de fonctionnement à capacité réduite (surtout à marée basse et avec une conduite hors service).

- Impact négatif sur la qualité microbiologique de l'eau de mer (risque d'encrassement biologique des membranes d'OI et augmentation de la consommation de produits chimiques). [40].

II.8.2.1. Méthode de suppression : Injection périodique d'acide sulfurique (H_2SO_4) et d'hypochlorite de sodium ($NaClO$) directement à l'entrée des conduites d'eau de mer (prise d'eau ouverte).

- **Objectif :** Prévenir la formation de biofilms et la croissance biologique (plancton et mollusques).
- **Fréquence et durée d'injection :** Variables selon la saison, la température et la qualité de l'eau de mer (nécessité d'analyses régulières pour optimisation) [40].

II.8.2.3. Recommandations importantes :

- Analyses régulières de l'eau de mer (surtout au début de l'exploitation) pour optimiser les paramètres de dosage.
- Tuyaux de dosage séparés pour chaque produit chimique (interdiction de mélanger).
- Installation de clapets anti-retour à l'extrémité des tuyaux de dosage pour empêcher le reflux d'eau de mer et maintenir les tuyaux remplis.
- Branches séparées depuis chaque tuyau de dosage vers les entrées des trois conduites de prise d'eau.
- Injection simultanée des deux produits chimiques dans les trois conduites pour réduire la durée du dosage [40].

II.9. Prétraitement

II.9.1. Coagulation et Flocculation

II.9.1.1. Coagulation : Destabilisation des liaisons ioniques des espèces dans l'eau de mer, augmentation de la vitesse des particules en suspension, intensification des collisions pour former des flocons initiaux.

Coagulant : Chlorure ferrique ($FeCl_3$).

II.9.1.2. Flocculation : Agglomération des particules coagulées et formation de macro-flocs plus faciles à éliminer.

Floculant : Solution de polymère cationique [40].

II.9.1.3. Système de mélange : Utilisation de mélangeurs statiques (deux lignes de prétraitement, chacune pour 50% du débit).



Figure II.9 : Les mélangeurs statiques de coagulation-floculation (B.N, A.M 2025).

II.9.2. Décanteurs Lamellaires

Objectif : Séparation et élimination des matières en suspension de l'eau de mer coagulée et floculée (dernière étape du prétraitement avant la filtration).

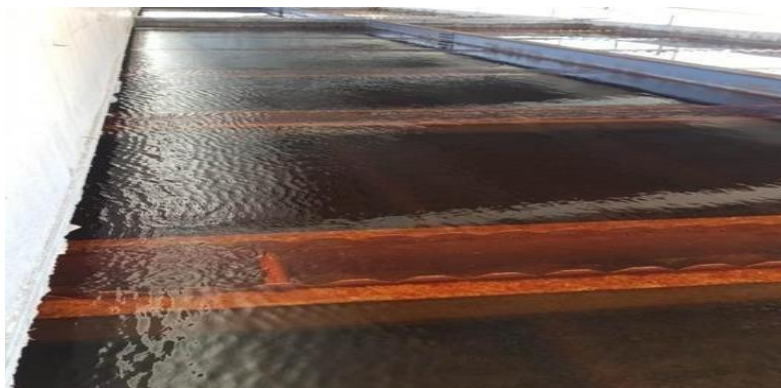


Figure II.10 : Décanteur Lamellaire [39].

II.10. Zone de filtre :

Cette zone comprend deux types de filtration en profondeur : les filtres gravitaires à double couche (DMGF) et les filtres à cartouche (microfiltration) [40].

II.11. Procédé de Traitement :

- **Osmose Inverse (OI) :** Procédé membranaire utilisé pour minimiser la concentration de solides dissous dans l'eau de mer filtrée.



Figure II.11 : Unité d'osmose inverse [39].

- **Configuration du Système d'OI :** Un seul passage et une seule étape.
- **Récupération du Perméat (Efficacité) :** 45% (constant sur la plage de température de l'eau de mer).
- **Instrumentation de Surveillance :** Liste exhaustive des débitmètres (MID), transmetteurs de pression et manomètres pour chaque ligne d'OI, ainsi que des kits de mesure de la conductivité et du pH, assurant un suivi précis des performances [40].

II.12. Post-Traitement

Le post-traitement est essentiel pour rendre le perméat d'osmose inverse (OI) apte à la consommation humaine et pour assurer sa stabilité lors du transport et de la distribution. Il comprend principalement la reminéralisation et la désinfection finale [40].

II.12.1. Reminéralisation

- **Objectif principal** : Augmenter la concentration de minéraux essentiels (principalement calcium et bicarbonates), augmenter le pH et l'alcalinité, et stabiliser l'eau pour éviter la corrosion.
- **Méthode choisie** : Addition de dioxyde de carbone (CO_2) et de carbonate de calcium (CaCO_3), suivie d'un ajustement final du pH avec de la soude caustique (NaOH) [40].



Figure II.12 : Contacteurs de calcite (B.N, A.M 2025).

II.12.2. Désinfection finale

- **Objectif** : Assurer une concentration résiduelle de chlore efficace (total libre) $\leq 0,5$ mg/l dans la conduite de refoulement (cible OMS au point d'utilisation : 0,3 mg/l).
- **Agent de désinfection** : Hypochlorite de sodium (NaClO) à 12,3-12,6% de chlore efficace [40].

II.13. Réservoir d'Eau Traitée et Pompes Reliées

II.13.1. Réservoir d'Eau Traitée

Description : Structure couverte de forme rectangulaire en béton armé.

Fonctions principales : Assurer des conditions de travail stables pour les pompes d'eau traitée et d'eau de service, fournir un temps de contact suffisant pour l'hypochlorite de sodium (NaClO) injecté en amont [40].

II.13.2. Pompes d'Eau Traitée

Il y a deux paires de pompes pour l'eau potable, chacune avec une unité en service et une en stand-by, alimentant deux branches distinctes (A et B) depuis le collecteur d'aspiration commun DN800 [40].

II.13.3. Surveillance de la Qualité de l'Eau Traitée

Instruments de mesure (intégrés dans un seul panneau de commande) :

- ✓ 1 kit de mesure du pH (capteur, module de débit, transmetteur, câbles).
- ✓ 1 kit de mesure du potentiel Redox (ORP) (deux capteurs, modules de débit, transmetteur à deux voies, câbles) [40].

II.14. Évacuation des Effluents de la Station

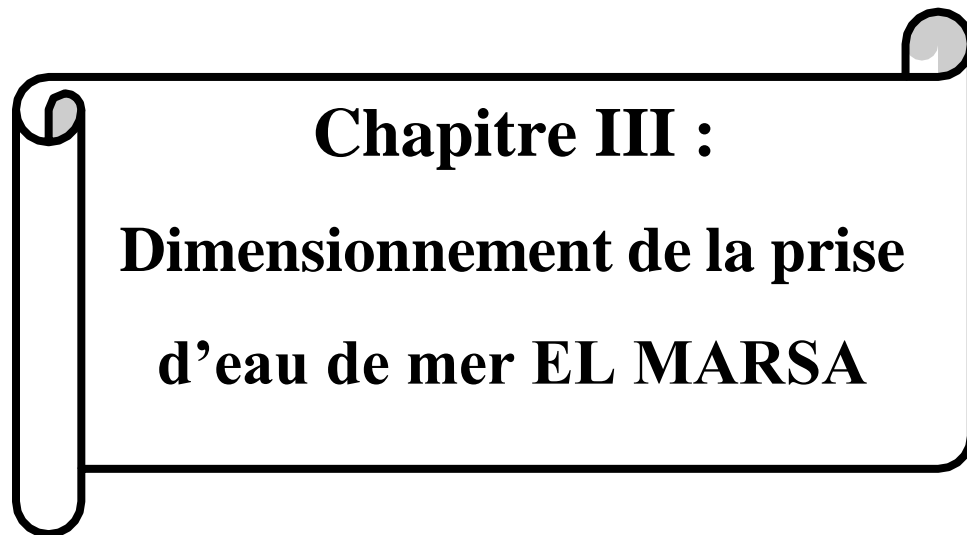
Le système d'évacuation des effluents est conçu pour gérer les rejets des différentes étapes du processus, les effluents d'urgence et les effluents drainés.



Figure II.13 : Station de pompage d'eau traitée [39].

II.15. Conclusion

En conclusion, la station de dessalement d'El Marsa se présente comme un modèle d'ingénierie, démontrant l'efficacité de la technologie du dessalement pour satisfaire les besoins en eau potable d'une région en pleine croissance. Son fonctionnement repose sur un processus intégré et rigoureux, débutant par une préfiltration mécanique (dégrillage fin et grossier), suivi de la coagulation-floculation et de la décantation lamellaire pour éliminer les impuretés solides. L'eau est ensuite soumise à une filtration sur cartouche avant d'atteindre le cœur du système : l'osmose inverse. Cette étape cruciale, via des membranes semi-perméables sous haute pression, permet d'éliminer sels, minéraux et autres contaminants, produisant ainsi une eau dessalée de très haute qualité. Enfin, la reminéralisation finale garantit que l'eau réponde aux normes strictes de potabilité et de distribution, prête à être acheminée aux consommateurs via un système de pompage optimisé.



Chapitre III :
Dimensionnement de la prise
d'eau de mer EL MARSA

III.1. Introduction

Le présent chapitre est entièrement dédié au dimensionnement des ouvrages de prise d'eau de mer, un élément fondamental et stratégique de la station de dessalement d'El MARSA, d'une capacité nominale de 60 000 m³/j située dans la Wilaya d'Alger.

La fiabilité et l'efficacité d'une usine de dessalement dépendent en grande partie de la qualité et de la quantité d'eau brute acheminée. À ce titre, la conception des prises d'eau et de la station de pompage d'eau de mer (SPEM) revêt une importance capitale.

La conception des prises d'eau s'appuie sur une analyse rigoureuse des conditions océanographiques et géotechniques du site, ainsi que sur les meilleures pratiques de l'ingénierie hydraulique.

L'objectif est d'assurer un approvisionnement continu en eau de mer de qualité optimale, tout en minimisant les impacts environnementaux et en garantissant la durabilité des infrastructures maritimes face aux conditions marines spécifiques de la côte algérienne.

Ce chapitre détaillera successivement la conception et la localisation des ouvrages de prise, le dimensionnement des conduites de raccordement.

III.2. Conception et localisation des ouvrages de prise d'eau en mer

La conception des ouvrages de prise d'eau est dictée par la nécessité de capter une eau de mer de la meilleure qualité possible, minimisant l'incorporation de sédiments, de débris flottants et d'organismes marins. La localisation joue un rôle crucial dans l'atteinte de ces objectifs.

Les têtes de prises d'eau sont les points d'entrée du système de captage. Leur localisation et leur conception sont le fruit d'études approfondies visant à concilier les impératifs techniques et les contraintes environnementales du site.

- **Profondeur de la Prise** : Les ouvrages de prise sont conçus pour capter l'eau de mer à une profondeur **minimale de -10,0 m sous le niveau moyen de la mer**.
- **Structures de Prélèvement** : Une structure de prise d'eau est prévue, conçue avec des grilles à faibles vitesses d'approche pour minimiser l'aspiration des organismes marins et des sédiments. L'objectif est de garantir un prélèvement d'eau brute de qualité supérieure et de minimiser les impacts sur la faune marine.

- **Localisation du Rejet :** La conduite de rejet est conçue pour se décharger à une altitude d'au moins -10,0 m sous le niveau de la mer et à environ 20 m du côté sud-est de la station de pompage, afin d'assurer une dispersion efficace loin de la structure de dessalement.

III.2.1. Justification du Choix de l'Emplacement

L'emplacement retenu pour les prises d'eau de la station d'El MARSa, est le résultat d'une démarche d'optimisation multicritères. Cette zone a été identifiée à l'issue de campagnes d'investigations exhaustives incluant des levés hydrographiques, des analyses bathymétriques de haute précision, et des études sédimentologies détaillées.

Le choix de l'emplacement est guidé par plusieurs raisons stratégiques, à savoir :

- **Qualité de l'eau brute :** Une profondeur de -10m assure que la qualité de l'eau n'est pas affectée significativement par les vagues de surface, qui peuvent entraîner la remise en suspension de sédiments ou l'incorporation de flottants, protège également contre les apports d'eaux douces (et leurs sédiments et polluants) transportées par les oueds, particulièrement importants après des épisodes pluvieux.
- **Protection de la faune marine :** La profondeur aide à réduire l'impact sur les écosystèmes côtiers sensibles.
- **Stabilité du fond marin :** Le fond marin à cet emplacement est stable, ne nécessitant aucune fondation particulière selon les études de réfraction sismique.
- **Mise à l'air et aspiration de particules du fond :** La conception permet d'éviter l'entraînement de particules du fond marin remises en suspension par l'action des courants et une mise à l'air lors des houles extrêmes.
- **Installation des grilles :** La profondeur permet d'installer les grilles d'entrée de la prise d'eau à 5 mètres au-dessus du fond marin, un critère typiquement prévu dans les installations similaires pour éviter l'aspiration des sédiments benthiques.

Dans le cadre de cette étude plusieurs profils d'axe de la conduite d'amené ont été présenté à savoir cinq propositions profil A-A', profil B-B', profil C-C', profil D-D', profil E-E'. L'analyse de ces profils d'axe nous a permis de retenir les points suivants :

- Comme on peut voir sur la figure III.1, le profil C-C' présente une régularité du fond marin. Ceci nous facilitera la pose de la conduite d'amenée reliant la tour de prise et le bassin d'accumulation.
- L'emplacement de la tour de prise sera au niveau du point 6 indiqué sur le profil C-C'.
- La tour sera distante du la rive d'une distance d'environ 263 m
- La profondeur d'eau moyenne au niveau de ce point est de 14m 03 cm. Cette profondeur nous permettra d'assurer l'entrée des eaux et ce malgré la fluctuation du niveau de la mer.

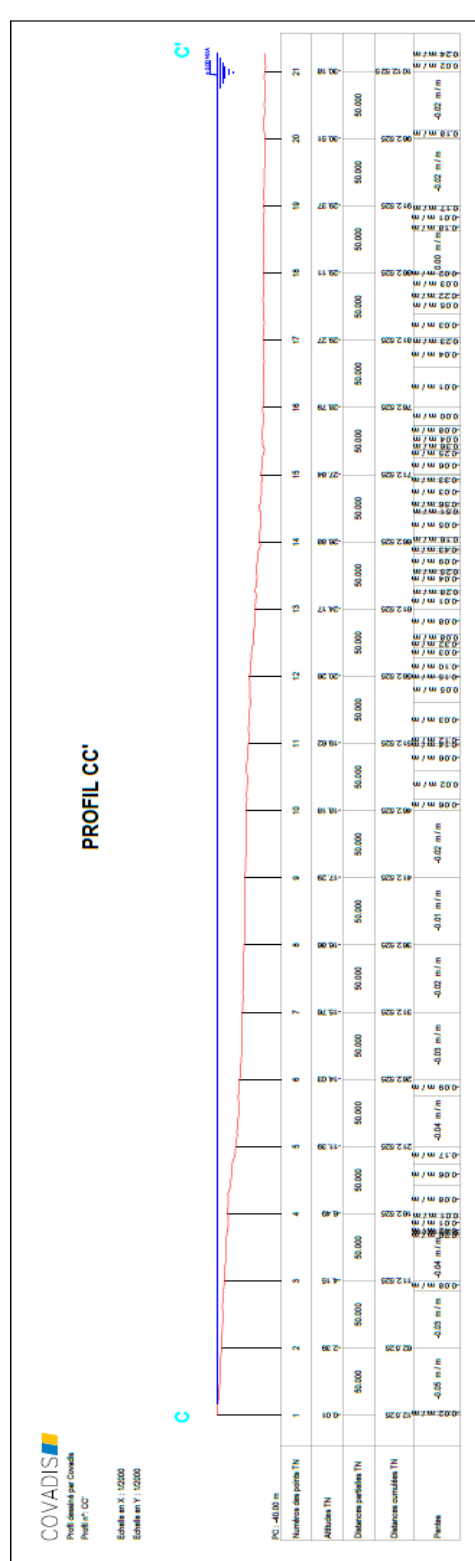


Figure III.1 : Relevé bathymétrique [40].

III.2.2. Le calcul du débit de conception (Q_{brute})

Le débit brut aspiré au niveau de la tour de captage dépend directement du taux de conversion des membranes utilisées lors de la phase de traitement.

Ce processus consiste à faire passer l'eau de mer à travers des membranes semi-perméables, qui laissent passer l'eau tout en retenant les sels et les matières dissoutes, tels que les chlorures, les sulfates, le sodium ou encore le calcium.

Environ 45 % de l'eau traitée, appelée perméat, est ainsi débarrassée de la majorité de ces éléments, tandis que les 55 % restants forment la saumure, constituant le rejet concentré du procédé.

Le débit d'eau qu'on doit assurer pour la consommation est : $Q_{cons} = 60\,000\ m^3/j$
On ajoute un débit supplémentaire pour les eaux de services et d'incendie qui égale à 1% d'eau traité.

Le débit qui représente les eaux de services et d'incendie est :

$$Q_{service} = 0.01 * 60000 = 600\ m^3/j$$

Et pour cela le débit d'eau à produire est de :

$$Q_{production} = Q_{cons} + Q_{service} = 60000 + 600 = 60600\ m^3/j$$

Le calcul du débit brut est lié au taux de conversion de la membrane qui est de 45% Cela veut dire que :

45% correspond au débit de production : $Q_{production} = 60600\ m^3/j$

100% correspond au débit brute :

$$Q_{brute} = 60600 * (100/45) = 134\,667\ m^3/j$$

Le débit d'eau brute à aspirer de la mer est d'environ **134 667 m³/j**.

Le débit brute est de $Q_{brute} = 134\,667\ m^3/j = 1.56\ m^3/s$

III.2.3. Description et Dimensionnement des Tours de Captage

La structure de la prise d'eau est constituée d'un ouvrage de prise d'eau directe en mer ouverte, posés sur le fond marin.

- **Type de structure** : Structures circulaires en béton armé. Le béton armé est choisi pour sa durabilité, sa résistance à la corrosion en milieu marin et sa capacité à supporter les charges hydrostatiques et dynamiques (courants, houle).
- **Configuration des ouvertures** : Chaque tour est conçue avec 5 ouvertures : 4 latérales et 1 supérieure (sur le dessus). Cette configuration multiple permet de minimiser les vitesses d'approche de l'eau, un facteur clé pour réduire l'impact sur la faune marine et la quantité de débris aspirés.
- **Grilles de protection** : Des grilles sont installées sur chaque ouverture.
 - **Surface d'ouverture des grilles** : Les grilles recommandées doivent avoir une surface d'ouverture (surface totale des interstices entre les barreaux) supérieure ou égale à 1,5 fois celle du tuyau d'admission pour limiter les vitesses d'approche.
 - **Taux d'ouverture minimum** : Un taux d'ouverture minimum de 85 % est recommandé pour les grilles.
 - **Matériaux** : Les grilles seront fabriquées en matériaux résistants à la corrosion marine, tels que l'acier inoxydable de haute qualité (par exemple, Duplex ou Super Duplex) ou des alliages spécifiques.

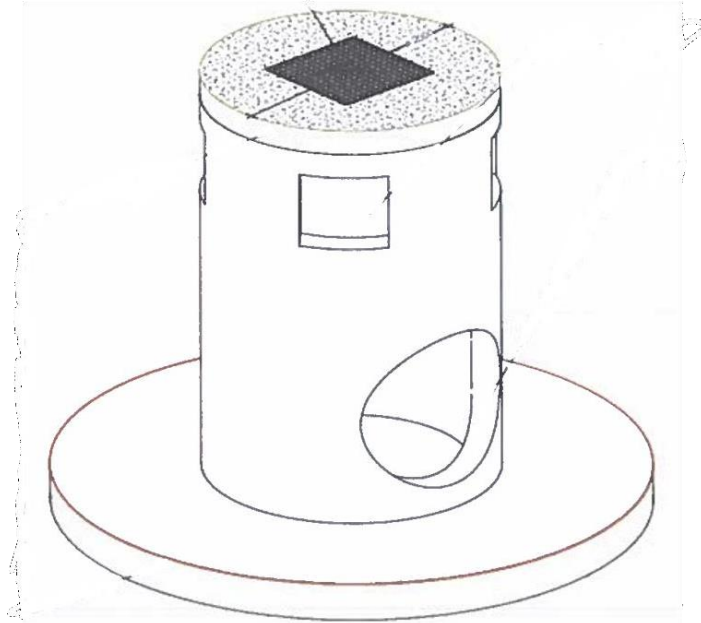


Figure III.2 : vue 3D de la structure d'admission [40].

III.2.3.1. Calcul des sections

La surface d'entrée est la surface exposée sans prendre en compte les barreaux des grilles ; on considère que le régime est uniforme afin de pouvoir calculer la section.

La vitesse d'entrée de la prise d'eau est limitée à 0,1 m/s afin d'éviter l'aspiration des solides en suspension ainsi la faune et la flore.

$$Q_{brute} = v \cdot S_{entrée}$$

$$S_{entrée} = Q_{brute}/v = 1.56/0,1 = 15.6$$

$$S_{entrée} = \mathbf{15.6m^2}$$

La limitation de la vitesse d'entrée de l'eau de mer au niveau des grilles fixe la surface exposée est de **15.6 m²**.

Compte tenu du fait que nous n'avons pas d'étude maritime de la houle, nous adoptons le résultat du mémoire Dimensionnement de la prise d'eau de mer de la station de dessalement de Fouka.

Le niveau minimum d'entrée est à 5 m du fond c'est un critère de conception dans les ouvrages de la prise d'eau de mer dans les régions peu profondes ou la profondeur est de 14 m.

Plus on a démontré que la tour a une hauteur de 9m pour respecter le critère de déferlement. On prend une hauteur de sécurité de 8m pour ne pas avoir un avalement d'air et éviter le phénomène de siphon.

Cela permis de choisir la dimension de h qui peut aller jusqu'à 3m mais avec la présence d'un couvercle au-dessus des grilles qui joue le rôle d'un regard d'inspection pour la maintenance de la tour qui a une hauteur de 0.5m.

Donc la hauteur des grilles est donnée par :

$$h_{total} = h_{entrée} + h_{barreaux} + h_{couvercle}$$

$$h_{barreaux} = h_{total} - h_{entrée} - h_{couvercle}$$

Avec :

h total : La hauteur de la tour

h entrée : Le niveau d'entrée de l'eau à partir du fond h barreaux : La hauteur des grilles

h couvercle : L'épaisseur du couvercle

A.N :

$$h_{barreaux} = 8 - 5 - 0.5 = \mathbf{2.5m}$$

Des barreaux d'une hauteur de 2.5 m et de 20 mm d'épaisseur, espacés de 80 mm, ces dimensions sont normalisées et proportionnelles avec la hauteur et la section d'entrée pour éviter l'introduction de poissons dans la prise d'eau

On calcule maintenant le diamètre de la surface d'entrée qui est aussi le diamètre de la tour comme on a une tour de prise de forme cylindrique, cela nous permet de écrire que

$$S_{entrée} = \pi \times d \times h_{barreaux}$$

Avec :

*S*_{entrée} : La surface d'entrée de l'eau de mer

d : Le diamètre de la tour de prise

$$d = \frac{\text{Sentrée}}{\pi \times \text{hbarreaux}} = \frac{15.6}{3.14 * 2.5} = \mathbf{1.98m}$$

On calcule le périmètre de la tour :

$$\text{Sentrée} = b \cdot \text{hbarreaux}$$

D'où :

$$b = \frac{\text{Sentrée}}{\text{hbarreaux}} = \frac{15.6}{2.5} = \mathbf{6.24 m}$$

On tire le nombre des barreaux :

$$B = N (e + E)$$

Avec :

N : Le nombre des barreaux

e : Epaisseur des barreaux

E : Espacement entre les barreaux

$$N = 6.24 / (0.08 + 0.02) = 62.4 \text{ barreaux}$$

On calcule de la section des barreaux :

$$S_{\text{barreaux}} = N * e * h = 62.4 * 0.02 * 2.5$$

$$S_{\text{barreaux}} = 3.12 \text{ m}^2$$

Avec :

e : l'épaisseur des barreaux

h : La hauteur des barreaux

N : Le nombre des barreaux

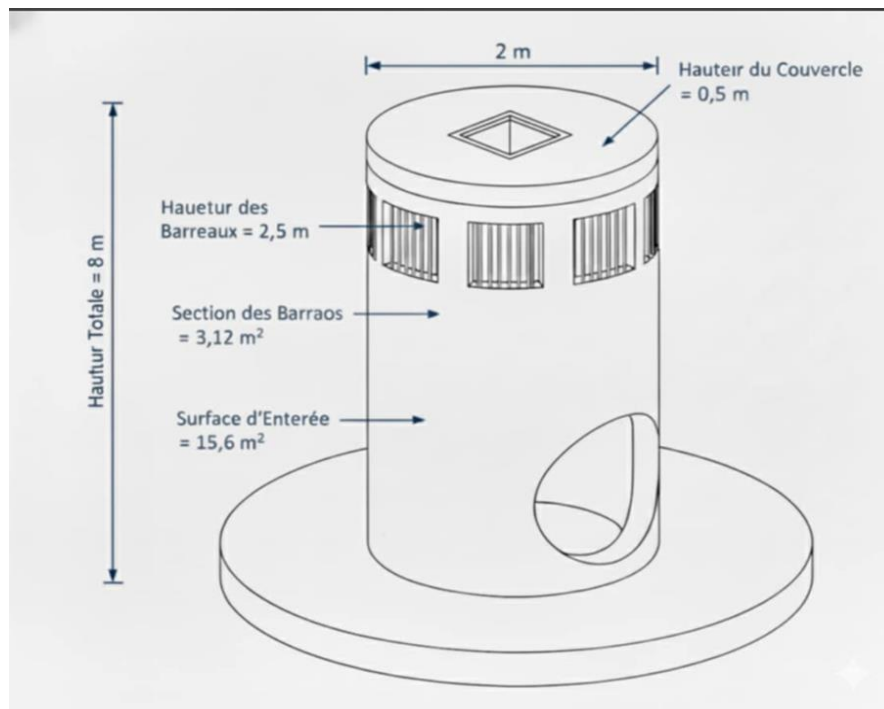


Figure III.3 : vue 3D de la structure d'admission après le dimensionnement

Remarque :

Nous constatons que la tour de prise présente une hauteur importante par rapport à son diamètre. Nous proposons ainsi de réduire la hauteur de la prise à 4m. Cela afin d'assurer une meilleure stabilité.

III.3.3. Dimensionnement de la conduite de prise

La conduite de prise achemine l'eau de mer des tours de captage vers la station de pompage d'eau de mer (SPEM). Son dimensionnement est critique pour minimiser les pertes de charge et assurer un flux stable.

Equation de débit :

$$Q = A * V$$

Où :

Q est le débit brut en m³/s

A est la surface de la section transversale de la conduite en m²

V est la vitesse d'écoulement de l'eau dans la conduite en m/s. cette vitesse est un paramètre de conception de contrainte de 1-2 m/s

On prend v=1.5 m/s pour minimiser les pertes de charge et la sédimentation.

$$A_{conduite} = \frac{\pi * D^2}{4}$$

Où : D est le diamètre intérieur de la conduite en m

En combinant les deux équations pour trouver le diamètre : $D = \sqrt{\frac{4*Q}{\pi*V}} = \sqrt{\frac{4*1.56}{\pi*1.5}} = \mathbf{1.15m}$

On choisit le diamètre commercial : **D= 1200 mm**

III.3.3.1. Calcul des Pertes de Charge

- **Perte de charges linéaires :**

Les pertes de charge linéaires représentent l'énergie dissipée par frottement de l'eau contre les parois de la conduite. Elles sont calculées en utilisant la formule de Darcy-Weisbach, avec le facteur de friction (λ) déterminé par la formule de Colebrook.

- **Formule de Darcy-Weisbach :** $H_f = \lambda * \frac{L}{D} * \frac{V^2}{2g}$

Où :

- H_f est la perte de charge linéaire (m).
- λ est le coefficient de frottement sans dimension.
- L est la longueur de la conduite (m) = 226 m.
- D est le diamètre intérieur de la conduite (m)

- V est la vitesse moyenne de l'écoulement dans la conduite (m/s).
- g est l'accélération de la gravité (9,81 m/s²).

A.N :

$$Hf = 0.023 * \frac{226}{1.2} * \frac{(1,38)^2}{2 * 9.81} = \mathbf{0.42 m}$$

- **Formule de Colebrook pour le facteur de friction (λ) :**

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log_{10} * \left(\frac{K_b}{3.71 * D} + \frac{2.51}{Re \sqrt{\lambda}} \right)$$

Où :

- K_b est la rugosité absolue du matériau de la conduite (m). Pour le tuyau en PRV, k_b est de 0.0015 m
 - D est le diamètre intérieur de la conduite (m).
 - Re est le nombre de Reynolds sans dimension.
- **Calcul du Nombre de Reynolds (Re) :** $Re = \frac{V * D}{\nu}$ Où :
 - V est la vitesse moyenne de l'écoulement = 1.56 m/s
 - D est le diamètre intérieur de la conduite (m).
 - ν est la viscosité cinématique de l'eau = $1.3 * 10^{-6}$ m²/s
- **Calcul des pertes de charge unitaire par frottement en m de colonne d'eau par m de tuyau :**

$$Je = \frac{\lambda * V^2}{2 * g * D}$$

A.N:

$$Je = \frac{0.023 * (1.38)^2}{2 * 9.81 * 1.2} = \mathbf{0.0018m}$$

- **Pertes de Charge Singulières**

Les pertes de charge singulières sont dues aux changements de direction (coudes), aux rétrécissements, aux élargissements, aux vannes, et aux entrées/sorties. Elles sont généralement calculées par la formule : $H_s = K * \frac{V^2}{2 * G}$ Où :

- K est le coefficient de perte de charge singulière, spécifique à chaque type d'accessoire.
- V est la vitesse de l'écoulement dans la conduite (m/s).

A.N :

$$H_s = 0.015 * \frac{(1.38)^2}{2 * 9.81} = \mathbf{0.0014 \text{ m}}$$

- **Calcul des pertes totales :** Les pertes de charge totales dans la conduite de prise sont la somme des pertes linéaires et des pertes singulières. Elles sont essentielles pour déterminer la hauteur manométrique requise pour les pompes.

III.4. Dimensionnement des conduites de refoulement : Analyse technico-économique du système d'adduction par refoulement

Le dimensionnement des conduites d'adduction nécessite une **étude technico-économique** pour choisir le matériau optimal et le diamètre le plus adapté afin de minimiser les coûts d'investissement et d'exploitation.

III.4.1. Choix du matériau de conduite

Une analyse a été réalisée sur trois matériaux couramment utilisés pour les conduites d'eau : la fonte ductile, l'acier et le polyéthylène haute densité (PEHD). Bien qu'une première étude économique puisse sembler favoriser la fonte ductile pour les grands diamètres, le PEHD a été retenu en raison de ses nombreux avantages techniques pour les installations maritimes.

III.4.1.1. Justification du choix du matériau des conduites

Le choix du **PEHD** a mis en évidence les points suivants :

- **Résistance à la corrosion** : Le PEHD est insensible à la corrosion, un avantage majeur en milieu marin salin, contrairement à la fonte ductile et à l'acier qui nécessitent un revêtement protecteur onéreux.
- **Flexibilité et légèreté** : Sa flexibilité permet de s'adapter aux reliefs du fond marin et aux mouvements liés aux courants. Sa légèreté simplifie le transport et la pose, ce qui réduit les coûts et la durée des travaux.
- **Étanchéité et fiabilité** : Les soudures par électro fusion ou bout à bout garantissent une étanchéité parfaite sur toute la longueur, éliminant les risques de fuites et de contamination. Des essais en laboratoire ont montré que les ruptures ne se produisent jamais au niveau des soudures, ce qui atteste de leur grande fiabilité.
- **Coût total** : Bien que le coût initial au mètre linéaire puisse être supérieur à celui de la fonte ductile ou de l'acier pour des diamètres spécifiques, le coût total de l'installation (incluant le transport, le temps de pose et l'absence de protection cathodique) rend le PEHD économiquement très compétitif.

III.4.2. Hauteur géométrique et débit

La hauteur géométrique (H_{geo}) de l'installation, représente la différence de hauteur entre la cote de départ (C_a) et la cote d'arrivée (C_d).

$$H_{geo} = C_a - C_d$$

$$H_{geo} = 31,45 - 5,70 = \mathbf{25,75\ m}$$

Le débit d'eau brute à aspirer de la mer est d'environ $134\ 667\ \text{m}^3/\text{j}$ soit $1558.65\ \text{l/s}$

Le débit à véhiculer à travers une seule conduite est de $519.55\ \text{l/s}$

III.4.3. Calcul technico-économique des diamètres

Les calculs de dimensionnement ont été effectués pour trois conduites d'une longueur de **450mètres** avec une hauteur géométrique de **25,75 mètres** et un débit de **519,55 l/s**.

Les pertes de charge unitaires (j) ont ensuite été calculées pour chaque diamètre de conduite, en utilisant la formule adéquate (Hazen-Williams ou Darcy-Weisbach). Ces valeurs

sont cruciales car elles impactent directement la hauteur manométrique totale et la puissance requise par la pompe.

- Pertes de charge unitaires (j) :
0,1291788 m/ml (pour DN700),
0,0674082 m/ml (pour DN800),
0.0379794 m/ml (pour DN 900).

Ensuite, les **pertes de charge totales** (ΔH) ont été calculées en multipliant la perte de charge unitaire par la longueur de la conduite (L). Les résultats figurent dans le tableau III.1

III.4.3.1. Vitesse de l'écoulement de l'eau

La vitesse de l'écoulement de l'eau (V) a été déterminée pour s'assurer qu'elle se situe dans une plage acceptable, afin d'éviter l'usure prématurée des équipements et les coups de bélier.

$$V = \frac{4 * Q}{\pi * D^2}$$

Les résultats figurent dans le tableau III.1

III.4.3.2. Détermination de la puissance et de la consommation d'énergie

La hauteur manométrique totale (Hmt) représente la hauteur totale que la pompe doit surmonter, en tenant compte de la hauteur géométrique et des pertes de charge.

$$Hmt = Hgeo + \Delta H$$

La puissance absorbée par la pompe (P) a ensuite été calculée, en utilisant la formule :

$$P = \frac{g * Q * Hmt}{\eta}$$

Ensuite, la consommation annuelle d'énergie (E) a été déterminée en se basant sur la puissance de la pompe, le temps de pompage journalier et le prix de l'électricité.

$$E = 365 * P * t * Pue$$

L'analyse a porté sur trois diamètres de conduites (DN 700, DN 800 et DN 900) afin de déterminer les pertes de charge et la puissance de pompage requise.

Tableau III.1. Le choix de diamètre technico économique

Diamètre nominal (DN)	Vitesse (V) [m/s]	Pertes de charge totales (Δh) [m]	Hauteur manométrique totale (Hmt) [m]	Puissance absorbée (P) [kW]
DN 700	1.35	0.99	26.74	194.7
DN 800	1.03	0.52	26.27	191.25
DN 900	0.82	0.29	26.04	189.61

Vitesse d'écoulement

- Elle diminue avec l'augmentation du diamètre (1.35 m/s pour DN700 \rightarrow 0.82 m/s pour DN900).
- Toutes les vitesses restent dans la plage recommandée (1–2 m/s), sauf DN900 qui est légèrement faible, ce qui peut favoriser la sédimentation.

Pertes de charge totales (Δh)

- Les pertes chutent fortement quand le diamètre augmente (0.99 m \rightarrow 0.29 m).
- Cela réduit directement la charge à fournir par les pompes.

Hauteur manométrique totale (Hmt)

- Elle reste assez proche pour les trois diamètres (26.74 m à 26.04 m).
- La différence est faible (< 3 %), mais suffisante pour influencer sur la consommation énergétique.

Puissance absorbée (P)

- Elle diminue avec l'augmentation du diamètre (194.7 kW \rightarrow 189.61 kW).

- L'écart paraît modeste, mais cumulé sur la durée de vie de l'installation, il se traduit par des économies d'énergie importantes

Synthèse

- Le DN700 est techniquement acceptable mais entraîne des pertes de charge élevées et une consommation plus importante.
- Le DN900 optimise l'énergie, mais sa faible vitesse (0.82 m/s) peut poser un risque de dépôts.
- Le DN800 offre le **meilleur compromis** entre vitesse correcte, pertes de charge limitées et consommation énergétique réduite

Les résultats montrent qu'un diamètre plus grand réduit la vitesse d'écoulement, ce qui minimise la puissance nécessaire et, par conséquent, les coûts énergétiques sur le long terme. Le choix final du diamètre sera un compromis entre le coût initial du matériau et les coûts d'exploitation futurs.

On prend $v = 1-2$ m/s pour minimiser les pertes de charge et la sédimentation

Synthèse

- Le **DN800** est le choix le plus sûr du point de vue hydraulique.
- Il garantit une pression minimale largement positive, limitant les contraintes mécaniques sur la conduite.

III.4.3.4. Évaluation du coût actualisé total

Évaluation des coûts annuels

L'analyse économique repose sur le calcul des dépenses annuelles totales, composées des frais d'exploitation annuels (Fex) et des frais d'amortissement annuels (Fam).

- **Frais d'exploitation annuels (Fex)** : Ces frais sont principalement liés à la consommation d'énergie.
- **Frais d'amortissement annuels (Fam)** : Ces frais représentent la part annuelle du coût d'investissement de la conduite.

Enfin, les dépenses annuelles totales (Da) ont été calculées en sommant les frais d'exploitation et d'amortissement :

$$Da = Fex + Fam$$

Ces calculs ont été répétés pour les différents diamètres de conduite DN800 et DN900 afin d'identifier l'option la plus économique pour le projet. Les résultats montrent que le choix du diamètre a un impact direct sur les pertes de charge, la puissance requise, et par conséquent, sur les coûts annuels totaux.

Le choix du diamètre ne peut se limiter à l'analyse technique. Une analyse financière sur la durée de vie du projet (30 ans) est indispensable pour déterminer la solution la plus rentable.

Tableau III.3. Évaluation des coûts annuels

Diamètre nominal (DN)	Frais d'exploitation annuels (Fex)	Frais d'amortissement annuels (Fam)	Dépenses annuelles totales (Dtot)
700 mm	5685237.25 DA	63324.13 DA	5748561.38 DA
800 mm	5584551.07 DA	71239.65DA	5655790.73 DA
900 mm	5536582.24 DA	79155.17 DA	5615727.41 DA

Frais d'exploitation (Fex)

- Ils représentent la plus grande part des dépenses, liés principalement à l'énergie de pompage.
- On observe une diminution nette lorsque le diamètre augmente : de **5.69 M DA/an (DN700)** à **5.54 M DA/an (DN900)**.
- Cela confirme que l'augmentation du diamètre réduit les pertes de charge et donc les coûts énergétiques.

Frais d'amortissement (Fam)

- Ils augmentent avec le diamètre, car le coût initial de la conduite est plus élevé.
- Exemple : **63 324 DA/an (DN700)** contre **79 155 DA/an (DN900)**.

- Cet écart reste relativement faible par rapport aux frais d'exploitation.

Dépenses annuelles totales (Dtot)

- La combinaison Fex + Fam montre que le **DN800** est le plus économique avec **5.66 M DA/an**, contre 5.75 M DA/an pour DN700 et 5.62 M DA/an pour DN900.
- Même si le DN900 a les frais d'exploitation les plus bas, son amortissement plus élevé le rend moins intéressant que le DN800.

Synthèse

- **DN700** : moins coûteux à l'achat mais énergivore sur le long terme.
- **DN900** : réduit les coûts d'exploitation mais son surcoût d'investissement annule partiellement l'avantage.
- **DN800** : représente le **meilleur compromis technico-économique**, avec le coût total le plus bas et une bonne fiabilité hydraulique.

***Observation** : Bien que le diamètre 800mm ait le coût d'investissement initial (frais d'amortissement) le plus élevé, ses faibles pertes de charge se traduisent par une **réduction significative des frais d'exploitation annuels** (liés à l'énergie de la pompe). Cela rend le DN800 la solution la plus économique sur le long terme avec des dépenses annuelles totales les plus basses.*

L'analyse croisée des critères techniques et économiques mène à la conclusion que le **diamètre nominal de 800mm (DN800)** est la solution optimale pour ce projet d'adduction par refoulement. Cette option présente le meilleur compromis en réduisant à la fois les risques techniques (pressions minimales positives, garantissant la sécurité de la conduite) et les coûts financiers (dépenses annuelles totales les plus faibles sur 30 ans).

Cette approche, qui intègre le coût de l'énergie sur le long terme, met en évidence l'importance de ne pas se fier uniquement au coût initial d'investissement lors de la conception de ce type d'ouvrage.

III.5. Choix de la pompe de relevage d'eau de mer (Fabricant Caprari)

Le choix de l'équipement de pompage est une étape cruciale qui doit garantir la fiabilité, la performance et la durabilité de la Station de Pompage d'Eau de Mer (SPEM). Pour la station d'El Marsa, nous avons retenu les pompes de type à **turbine verticale** (ou à axe vertical) en raison de leur conception parfaitement adaptée aux puisards humides des prises d'eau de mer.

III.5.1. Détermination du point de fonctionnement

Le dimensionnement de la pompe s'effectue en fonction des caractéristiques hydrauliques de la conduite optimale retenue, soit le **Diamètre Nominal DN800**.

a. Débit unitaire (Q)

Le débit d'eau brute journalier de la station est de $Q_{brute}=134667 \text{ m}^3/\text{jour}$. Pour assurer la continuité du service et la maintenance, le pompage est généralement assuré par **4 pompes** de capacité 33.3% chacune (soit 3 en fonctionnement et 1 en secours), ce qui représente un dimensionnement robuste.

- Débit total requis : $Q_{total}=134667 \text{ m}^3/\text{jour}=5611 \text{ m}^3/\text{h}$
- Débit de conception par pompe (Q_{pompe}): $Q_{total}/3=5611/3 \text{ m}^3/\text{h}=1870 \text{ m}^3/\text{h}$

b. Hauteur Manométrique Totale (HMT)

La HMT est la somme de la hauteur géométrique (H_g) et des pertes de charge totales (ΔH_{tot}) calculées pour la conduite DN800 à débit nominal.

- $HMT=H_g+\Delta H_{tot}$
- En se basant sur les calculs hydrauliques, pour le débit de $1870 \text{ m}^3/\text{h}$ dans le DN800, la HMT est estimée à : $HMT=26.27 \text{ m}$ (typiquement $H_g=25.75 \text{ m}$ et $\Delta H_{tot}=0.55 \text{ m}$)

Le point de fonctionnement nominal de chaque pompe est donc : **$Q=1870 \text{ m}^3/\text{h}$** et **$HMT=26.27 \text{ m}$** .

III.5.2. Choix du modèle de pompe Caprari

Le fabricant Caprari propose la gamme de pompes à axe vertical **série E6-18 (E14S64/1G+MC890)**, spécialement conçue pour les applications de relevage de grands débits dans les puits profonds, l'irrigation, l'adduction d'eau et, de manière générale, les installations industrielles incluant le dessalement.

Pour répondre au point de fonctionnement ($1870 \text{ m}^3/\text{h}$ à 26.27 m), une pompe à une seule cellule (ou un étage) de grande taille dans la série E6-18 est requise.

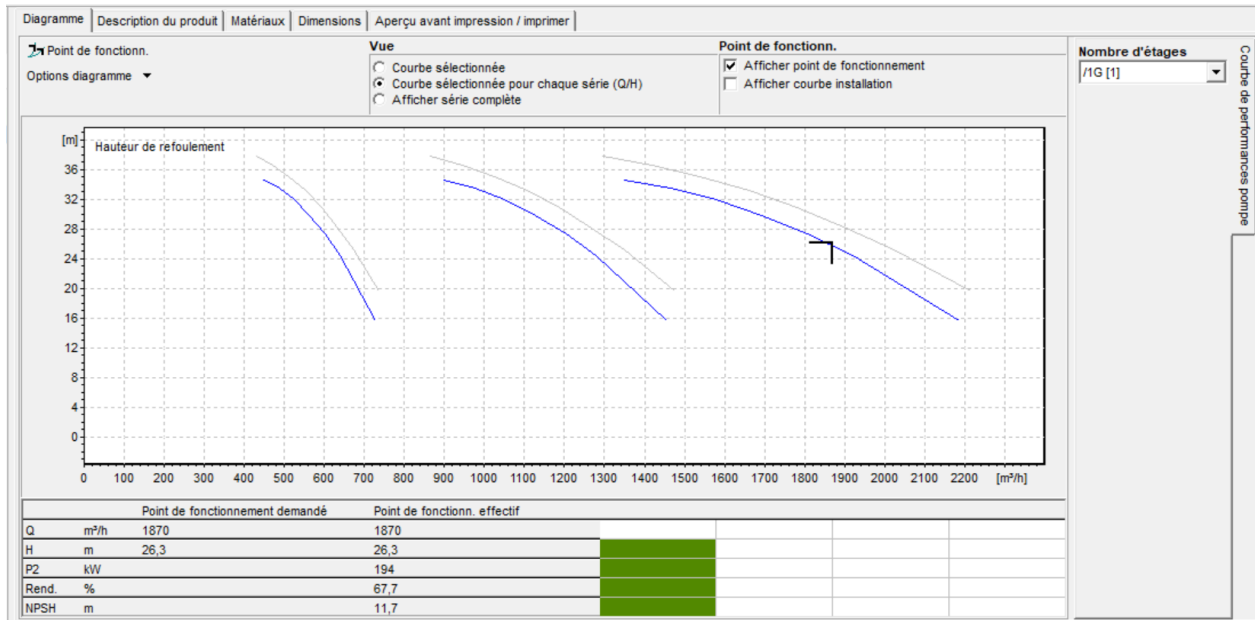


Figure III.4 : Courbe caractéristique de la pompe

III.5.3. Justification du choix technologique

L'utilisation de pompes à axe vertical Caprari offre plusieurs avantages pour l'usine d'El Marsa:

- **Adaptation à la prise d'eau :** La conception de ces pompes permet au corps hydraulique d'être immergé dans le puisard, même en cas de variation du niveau d'eau, garantissant une bonne **NPSH disponible** et évitant le phénomène de cavitation.
- **Maintenance facilitée :** Le moteur et la tête de refoulement restent en surface, simplifiant les opérations de maintenance de la partie motrice.
- **Durabilité en environnement marin :** Caprari propose des pompes dont les composants hydrauliques peuvent être fabriqués en **acier inoxydable Duplex** ou en **Bronze**, matériaux qui présentent une excellente résistance à la corrosion par l'eau de mer.

III.7. Conclusion :

L'étude réalisée a permis de dimensionner les ouvrages de captage et le système d'adduction d'eau de mer de la station de dessalement d'El Marsa selon des critères techniques, hydrauliques et économiques. Les analyses montrent que le choix du diamètre des conduites influe directement sur les vitesses d'écoulement, les pertes de charge et la puissance de pompage, mais également sur la sécurité face au coup de bélier et sur les coûts d'exploitation à long terme. Les résultats comparatifs ont mis en évidence que le diamètre nominal de 800 mm (DN800) constitue la solution optimale, offrant un compromis équilibré entre performance hydraulique, sécurité structurelle et rentabilité économique. Ce choix garantit non seulement un fonctionnement fiable et durable de l'installation, mais aussi une optimisation des coûts sur la durée de vie du projet. Ainsi, le dimensionnement retenu permet d'assurer un approvisionnement continu en eau brute de qualité, condition indispensable à l'efficacité et à la durabilité de l'usine de dessalement.

CONCLUSION GENERAL

CONCLUSION GENERALE

La raréfaction des ressources en eau douce, exacerbée par le changement climatique et l'augmentation de la demande, place le dessalement de l'eau de mer au cœur des stratégies d'approvisionnement en eau potable à travers le monde.

L'Algérie, face à ses défis hydriques, s'est engagée tout le long de son littoral long de 1200 km dans le développement de ces infrastructures essentielles.

Dans ce contexte, la station de dessalement d'eau de mer d'El Marsa représente un projet d'une importance capitale pour la région, garantissant un accès durable à l'eau potable pour les populations.

Le présent mémoire de fin d'études nous a permis d'aborder cette problématique ô combien importante et même stratégique pour notre pays. En effet, les stations de dessalement d'eau de mer participent à la mise en place de la politique de la *sécurité hydrique* et de ce fait elle assure la *souveraineté hydrique* d'un Etat.

Dans ce travail nous avons abordé dans un premier temps les différents éléments relatifs au dessalement d'eau de mer à travers des définitions et de généralités. Par la suite nous avons présenté la station objet de l'étude à savoir la station d'El Marsa. Enfin nous avons abordé le dimensionnement de la prise d'eau de cette station. Dans cette partie, nous avons abordé le dimensionnement de la tour de prise et de la conduite d'amenée des eaux de mer. Du fait que le captage des eaux de mer se fait dans un point plus bas que la station, nous avons aussi abordé le dimensionnement des conduites de de la station de relevage de ces eaux.

Au terme de ce travail, nous pouvons retenir les différents points suivants :

- Les stations de dessalement représentent un enjeu stratégique
- Le dimensionnement de ce type d'ouvrages requiert une pluridisciplinarité du fait de l'intervention de plusieurs domaines de l'ingénierie à savoir : Hydraulique, Génie Civil, Chimie....
- Le suivi de ce genre d'ouvrage est primordial car il assurera sa longévité (durée de vie plus importante)
- Certains points du dimensionnement n'ont pas été abordé en raison du manque de données

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

Références bibliographiques

- [1] Ministères de l'Énergie, des Mines et des Énergies Renouvelables.
- [2] BIRKETT, JAMES D. (2012). « The History of Desalination Before Large-Scale Use », in Desalination and Water Resources - History, Development and Management of Water Resources, Vol. I. Paris: UNESCO.
- [3] ROVEL, J. M. (2012). « Dessalement de l'eau de mer ». Technique de l'Ingénieur.
- [4] BOYE, H. (2008). Eau, énergie dessalement et changement climatique en Méditerranée. Plan Bleu centre d'activité régional, Conseil général de l'environnement et du développement durable.
- [5] BLANCHON, D. (2010). « Les capacités de dessalement dans le monde ». [En ligne]. Disponible sur : <https://www.ladocumentationfrancaise.fr/cartes/eau-ressourcesetinfrastructures/c001259-les-capacites-de-dessalement-dans-le-monde>.
- [6] El Watandz.com.
- [7] ALGÉRIENNE DES EAUX (ADE) (2007). Rapport.
- [8] APS (13 mars 2025). « Dessalement des eaux de mer [...] plus de 75% de taux d'avancement des stations en cours ».
- [9] DE DARDEL, F. « Les résines échangeuses d'ions en traitement d'eau potable ». http://dardel.info/IX/processes/Article_EIN.
- [10] MRE (Ministère des Ressources en Eau). Étude générale sur le dessalement de l'eau de mer.
- [11] ALI IDIR (11 mars 2025). TSA Algérie .com.
- [12] <http://hmf.enseiht.fr/travaux/bei/beiere/content/2012-g04/>.
- [13] <http://www.encyclo-ecolo.com/Image:Eausaum2>.
- [14] DESJARDINS RAYMOND. Le traitement des eaux. 2ème édition revue. Édition de l'école polytechnique de Montréal.
- [15] ALBERD FRANSIC. « Fr. géoscience » (professeur à l'école normal supérieure de Lyon news groups : Fr. géosciences).
- [16] HENRY et MONIQUE (2002). Étude générale sur dessalement de l'eau de mer.
- [17] ALGÉRIENNE DES EAUX (2005). Dessalement d'eau de mer, Algérie.
- [18] MAUREL, A. (2006). Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres. 2ème Ed. Tec&Doc Lavoisier.

- [19] RENAUDIN, V. (18 novembre 2003). « Article de dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtre ». Cultures sciences chimie. Ens.Fr.
- [20] RENAUDIN, V. (2003). « Le dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres ». CNRS, Nancy.
- [21] PLAN D'ACTION POUR LA MÉDITERRANÉE (PAM) (28-31 mai 2001). « Dessalement de l'eau de mer dans les pays méditerranéens : évaluation des impacts sur l'environnement et lignes directrices proposées pour la gestion de la saumure ». Réunion des points focaux du PAM (Athènes, 11-14 sept 2001) / Réunion des coordonnateurs nationaux pour le MED POL (Venise). Disponible sur : http://www.pseau.org/outils/ouvrages/pnue_dessalement_eau_de_mer_pays_mediterraneens.
- [22] COURS MADAME Igroufa
- [23] <http://www.ecotoxicologie.fr/Dessalement>.
- [24] BECHKI, D. (2011). Étude comparative et optimisation des procédés de distillation solaire en vue de la production d'eau potable dans les zones arides sahariennes. Thèse de doctorat en génie mécanique. Université Hadj Lakhdar Batna.
- [25] TSIOURTIS. NICOS X. (2005). « desalination and the environment ». Desalination, vol 141.
- [26] LA CITÉ DE LA MER - Technopole Cherbourg-Normandie (Avril 2012). Dossier thématique.
- [27] <http://www.lenntech.fr/index.htm>.
- [28] JACQUET VIOLLEAU VALÉRIE. (1999). Déminéralisation par électrodialyse en présence d'un complexant application au lactosérum. Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Toulouse.
- [29] KAMEL, F. et CHHEIBI, H. (11-18 juillet 2004). « Le dessalement des eaux saumâtres et l'expérience Tunisienne ». SONEDE-TUNISIE, Gabès.
- [30] MAUREL, A. (2001). Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres. Technique et documentation, Paris.
- [31] Anonyme : « L'osmose-inverse ». [En ligne]. Disponible sur : <http://hmf.enseiht.fr/travaux/bei/beiere/book/export/html/1281>.
- [32] MASSCHELEIN, W. J. (1996). Processus unitaires du traitement de l'eau potable. 11 rue Lavoisier, Paris, France.

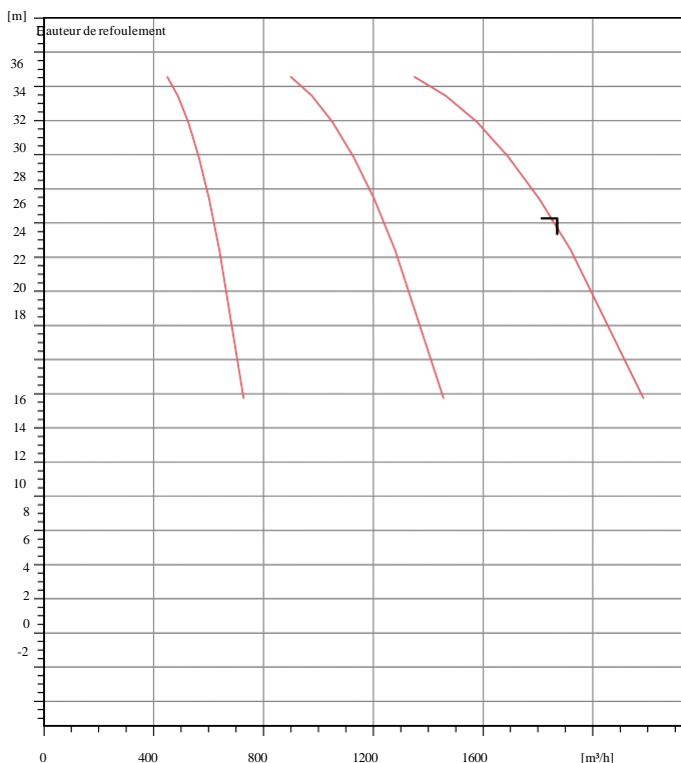
- [33] SAOUDI, A. (2010). L'influence de la filtration sur sable sur la qualité des eaux potable. Mémoire de projet de fin d'étude, Université Aboubakr Belkaid, Tlemcen.
- [34] DUPONT, A. (1981). Hydraulique urbaine. Tome 1. Édition EYROLES.
- [35] JOHNSON, W. E. (1976). State of the art of freezing processes.
- [36] SADI, A. (2000). « Le dessalement solaire : considérations techniques ». Centre de développement des Énergies Renouvelables, Bouzareah, Alger.
- [37] BOIXADERA, D. (2001). « Le dessalement d'eau de mer ». BRL Ingénierie.
- [38] Mémento technique de l'eau, Tome 1 : Dégrement. Lavoisier - Lexique technique de l'eau, Paris.
- [39] DRAI, AMIRA. Conception d'un ouvrage de dilution des rejets de saumure des usines de dessalement d'eau de mer cas d'El Marsa Alger. Mémoire fin d'étude, NATIONAL HIGHER SCHOOL FOR HYDRAULICS "The Moudjahid Abdellah ARBAOUI".
- [40] Fond documentaire de la station de dessalement d'El Marsa Ain Taya.

Annexe 1 : Calculs adduction

<i>Désignation de la variable</i>		<i>Valeur</i>			<i>Unité</i>
DONNEES DU PROBLEME					
Cote de départ	Cd	5,70			m
Cote d'arrivée	Ca	31,45			m
Débit à véhiculer à travers la conduite	Q	519,55			l/sec
Longueur de la conduite	L	450,00			m
Coefficient de rugosité équivalente	Chw	140,00			
taux d'annuité	i	0,08			
horizon	n	30,00			
Temps de pompage	t	20,00			heures
Pris du kilo watt-heure	Pue	4,00			DA/kwh
Introduire le coefficient (acier)	K	0,20			
PHASE DE CALCUL					
Hauteur géométrique	Hgeo	25,75			m
Calcul du diamètre économique	Deco	720,80			mm
Choix des diamètres	DN	700,00	800,00	900,00	mm
Epaisseur des conduites	e	1,00	1,00	1,50	mm
Prix du mètre linéaire de la conduite	pue	1 600,00	1 800,00	2 000,00	
Vitesse d'écoulement de l'eau	V	1,35	1,03	0,82	m/sec
TEST DE LA VITESSE		vitesse correcte	vitesse correcte	vitesse correcte	
annuité	A	0,088	0,088	0,088	mm
Perte de charge unitaire	j	0,0019138	0,0009986	0,0005627	m/ml
perte de charge lineaire	J	0,8611920	0,4493877	0,2531962	
perte de charge singulière	J'	0,1291788	0,0674082	0,0379794	
Pertes de charge totales	Δh	0,99	0,52	0,29	m
Hauteur manométrique totale	Hmt	26,74	26,27	26,04	m
Puissance absorbée par la pompe	P	194,70	191,25	189,61	kw
Energie consommée par la pompe	E	1 421 309,31	1 396 137,77	1 384 145,56	kwh
frais d'exploitation annuels	Fex	5 685 237,25	5 584 551,07	5 536 582,24	DA
frais d'amortissement annuels	Fam	63 324,13	71 239,65	79 155,17	DA
Dépenses totales annuelles totale		5 748 561,38	5 655 790,73	5 615 737,41	DA
Célérité de l'onde de choc	a	712,51	1 415,73	1 415,73	m/sec
Valeur du coup de bélier	B	98,05	149,17	117,86	m
Pression max	Pmax	12,38	17,49	14,36	bars
pression min	Pmin	- 7,23	- 12,34	- 9,21	bars
Choix de la pression nominale	PN				20 bars

Annexe 2 : Caractéristiques de la pompe sélectionnée

E14S64/1G + MC890	
Caractéristiques requises	
Débit	1870 m ³ /h
Hauteur de refoulement	26,3 m
Fluide	Eau potable
Température	20 °C
Type d'installation	Pompes identiques en parallèle
N.be de pompes	4
Caractéristiques de la pompe	
Débit	623 m ³ /h
Hauteur de refoulement	26,3 m
Puissance absorbée	64,6 kW
Rendement	67,7%
Hauteur manométrique H(Q=0)	12 m
Orif. de refoulement	230 mm
Caractéristiques moteur	
Fréquence	50 Hz
Tension nominale	400 V
Vitesse nominale	2900 1/min
Nombre de pôles	2
Puissance nominale P2	66 kW
Courant nominal	128 A
Type de moteur	3~
Classe d'isolation	Y
Degré de protection	IP 68
Limites opérationnelles	
Démarrages / h max.	8
Température maxi. du liquide pompé	
Teneur maximum en matières solides	40 g/m ³
Densité max.	0,998 kg/dm ³
Viscosité maxi.	1 mm ² /s
Caractéristiques générales	
Poids	447 kg



Caractéristiques de fonctionnement

UNI/ISO 2548/C

Q [m ³ /h]	H [m]	P [kW]	Rend. [%]	NPSH [m]

Matériaux	
CONSTRUCTION POMPE	
Corps du clapet	Fonte
Clapet	Fonte/Caoutchouc
Corps d'aspiration	Fonte sphéroïdale
Corps d'étage	Fonte
Arbre	Acier inox
Roue	Bronze
Bague d'usure	Fonte
Crépine	Acier inox
Gouttière protection câbles	Acier inox
Accouplement	Acier inox
CONSTRUCTION MOTEUR	
Support supérieur	Fonte
Support inférieur	Fonte
Chemise stator	Acier inox
Arbre	Acier inox
Anneau d'étanchéité	Acier-caoutchouc
Para-sable	Caoutchouc
Bobinage	Cuivre isolé
Butée	Type Michell

Dimensions mm

A = 2590
 B = 965
 C = 1625
 D = 340
 DN = 230
 E = 191
 F = 352
 G = 262
 H = 293
 I = 326
 L = 8
 M = 20

