



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

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

**Option: REUTILISATION DES EAUX NON CONVENTIONNELLES
(RENC)**

THEME :

**DIMENSIONNEMENT DE LA CHAINE DE
PRETRAITEMENT DE LA STATION DE DESSALEMENT
MAGTAA WILAYA D'ORAN**

Présenté par :

M : Grine Mohammed Nouredine

Devant les membres du jury

Nom et Prénoms	Grade	Qualité
DJELLAB Mohamed	Professeur	Président
LEULMI MEDJDOUB Sonia	M.C.B	Examineur
BETATACHE Hayat	M.C.B	Examineur
KOLIAI Djaffar	MAA	Examineur
TOUIL Youcef	M.C.B	Promoteur

Session 2023/ 2024

REMERCIEMENT

Je tiens tout d'abord à remercier Dieu de m'avoir donné la force, la volonté et le courage nécessaires pour accomplir ce modeste travail, qui marque un tournant important dans ma vie.

Un hommage profond et sincère est dédié à ma mère ainsi qu'à mon père, que Dieu lui accorde Sa miséricorde, pour leur soutien inconditionnel tout au long de mon parcours académique.

Je souhaite exprimer ma plus profonde gratitude à mon encadrant, Monsieur Touil Youcef, pour son accompagnement précieux tout au long de ce travail.

Je tiens également à remercier Monsieur Bouacha Said, ingénieur process à la station de dessalement d'eau de mer de Magtaa (TMM), pour sa disponibilité, son dynamisme et ses compétences techniques dans le domaine pratique, qui m'ont été d'une aide inestimable.

Mes remerciements vont aussi à toute l'équipe de TMM pour leur accueil chaleureux au sein de la société, et pour m'avoir intégré durant les mois de mon stage parmi eux.

Je souhaite également adresser mes remerciements à mes professeurs de l'ENSH pour la qualité de leurs enseignements et pour tous les efforts qu'ils ont fournis afin de contribuer à notre développement intellectuel. Un merci particulier aux membres du jury, pour avoir accepté d'évaluer mon travail.

Enfin, mes remerciements s'étendent à toutes celles et ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à l'élaboration de ce travail, et m'ont aidé à le mener à bien.

تعد الجزائر واحدة من البلدان التي تواجه نقصًا في المياه العذبة منذ سنوات عديدة. في هذا السياق، يصبح تحلية المياه حلاً لا مفر منه لتلبية الاحتياجات المتزايدة من المياه.

تتناول هذه المذكرة تصميم سلسلة المعالجة الأولية في محطة تحلية المياه في منطقة المقطع، الواقعة في ولاية وهران. تلعب المعالجة الأولية دورًا مهمًا في عملية التحلية، حيث تهيئ مياه البحر الخام قبل مرورها بمرحلة التناضح العكسي. تعمل هذه العملية على تحسين جودة المياه وحماية الأغشية المصفاة، مما يقلل من خطر التكتل ويطيل عمر المعدات. وأخيرًا، يختتم البحث بالتأكيد على جودة التصميم وأهمية الحفاظ على معالجة أولية مثلى لضمان إنتاج مياه شرب تتوافق مع المعايير الدولية للجودة.

الكلمات المفتاحية: محطة تحلية المياه، المعالجة الأولية، التناضح العكسي، تكلس الأغشية

Résumé

L'Algérie fait partie des pays confrontés à une pénurie d'eau douce depuis de nombreuses années. Dans ce contexte, le dessalement de l'eau s'impose comme une solution incontournable pour répondre aux besoins croissants en eau.

Ce mémoire porte sur le dimensionnement de la chaîne de prétraitement de la station de dessalement de Magtaa, située dans la Wilaya d'Oran. Le prétraitement joue un rôle important dans le processus de dessalement, car il prépare l'eau de mer brute avant son passage à l'étape d'osmose inverse. Il permet d'améliorer la qualité de l'eau et de protéger les membranes de filtration, réduisant ainsi les risques d'encrassement et prolongeant la durée de vie des équipements.

Enfin, l'étude conclut sur le dimensionnement l'importance de maintenir un prétraitement optimal afin d'assurer une production d'eau potable conforme aux normes internationales de qualité.

Mots-clés : Station de dessalement, prétraitement , Osmose inverse , Encrassement des membranes

Abstract

Algeria is one of the countries facing a freshwater shortage for many years. In this context, water desalination has become an essential solution to meet the growing water needs.

This thesis focuses on the design of the pretreatment system for the Magtaa desalination plant, located in the Wilaya of Oran. Pretreatment plays a crucial role in the desalination process as it prepares the raw seawater before it enters the reverse osmosis stage. It helps to improve water quality and protect the filtration membranes, thus reducing the risk of fouling and extending the lifespan of the equipment.

Finally, the study emphasizes the importance of maintaining an optimal pretreatment system to ensure the production of potable water that meets international quality standards.

Keywords: Desalination plant, pretreatment, reverse osmosis, membrane fouling

SOMMAIRE

Introduction Générale.....	8
CHAPITRE I: APERÇU DU DESSALEMENT	
I.1 Introduction.....	10
I.2 Définition de dessalement	10
I.3 Les étapes de dessalement	10
I.3.1 Le captage d'eau de mer	10
I.3.2 Le prétraitement.....	11
I.3.3 les installation de dessalement (traitement).....	11
I.3.3.1 Dessalement Thermique (distillation)	11
I.3.3.2 Dessalement Membranaire.....	13
I.3.3.3 Système d'Osmose Inverse-Description Générale.....	17
I.3.4 Le traitement Complémentaire	17
I.4 Conclusion	17
CHAPITRE II: QUALITE DES EAUX DE MER	
II.1 Introduction.....	19
II.2 Propriétés de l'eau de mer.....	19
II.2.1 Eléments principaux.....	19
II.3 Caractéristiques physico-chimiques de l'eau de mer	20
II.3.1 Salinité.....	20
II.3.1.1 Salinité de l'eau de mer	20
II.3.1.2 Sels minéraux	20
II.3.2 Température	21
II.3.3 pH.....	21
II.3.5 Conductivité électrique.....	21
II.3.6 Turbidité.....	22
II.4 Pollution des eaux par l'hydrocarbures	22
II.5 Présence de métaux lourds dans les eaux de mer	22
II.6 Paramètres et Méthodes de Mesure	23
II.6.1 L'indice de colmatage (SDI).....	23

II.7.2	Matières En Suspension Totales (MES).....	23
II.8	Conclusion	24

CHAPITRE III : TECHNIQUES DE PRÉTRAITEMENT

III.1	Introduction.....	26
III.2	Le prétraitement	26
III.2.1	L'alimentation en eau de mer	26
III.2.2	Station De Pompage d'eau De Mer	26
III.2.3	Protection contre la Corrosion.....	27
III.2.4	Systèmes d'alimentation en produits chimique	27
III.2.5.1	Hypochlorite de Sodium	27
III.2.5.2	Acide Sulfurique.....	27
III.3	Prétraitement conventionnel.....	28
III.3.1	Dégrillage et filtrage de l'eaux	28
III.3.1.1	Grilles à barreaux grossiers (barreaux de filtration)	28
III.3.1.2	Grilles fines	29
III.3.1.3	Filtres à cartouches.....	29
III.3.2	Conditionnement de l'eau	30
III.3.2.1	Coagulation.....	30
III.3.2.2	Inhibiteurs de Tartre	30
III.3.3	Filtration granulaire	31
III.3.3.1	Traitement de l'eau brute (Filtration)	32
III.3.3.2	Rétro lavage du média filtrant.....	33
III.3.3.3	Les cellules de filtration	33
III.3.3.4	Média Filtrant	34
III.3.3.5	Support des médias et système de drainage	35
III.3.3.6	Filtres à un ou deux étages.....	35
III.3.3.7	Performance d'un filtre granulaire	35
III.3.4	Prétraitement par les procédés membranaires	36
III.3.4.1	Les procédures de filtration.....	36
III.3.4.2	Types et Configurations des Filtres	38
III.3.5	Conclusion	39

CHAPITRE IV: PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE ET LA STATION DE DESSALEMENT MAGTAA

IV.1	Introduction.....	41
IV.2	La localisation géographique.....	41
IV.3	Aspect Administratif.....	42
IV.4	Situation climatique	42
IV.4.1	Pluviométrie.....	42
IV.4.2	Température	43
IV.4.3	Le vent.....	43
IV.5	Données naturelles du région	43
IV.5.1	Présentation géologique de la région	44
IV.5.2	Environnement hydrogéologique d'Oran	44
IV.5.3	Situation hydraulique.....	45
IV.5.3.1	Ressources conventionnelles	45
IV.5.3.2	Ressources non conventionnelles	45
IV.6	Présentation de la Station de Dessalement d'Eau de Mer de Magtaa	45
IV.6.1	Limites géographiques	45
IV.6.2	Proximité avec la zone industrielle	46
IV.7	Caractéristiques physico-chimiques de l'eau de mer Magtaa	48
IV.7.1	Le fonctionnement de la station de dessalement magtaa	48
IV.7.1.1	Prétraitement.....	49
IV.7.1.2	Traitement par Osmose Inverse(Reverse Osmosis-RO):.....	50
IV.7.1.3	Traitement complémentaire	51
IV.7.1.4	Stockage de l'eau produite.....	52
IV.7.1.5	Le Transport de l'eau potable	52
IV.8	Conclusion	52

CHAPITRE V: ESTIMATION DES BESOINS EN EAU DANS LA RÉGION D'ETUDE

V.1	Introduction.....	54
V.2	Estimation des besoins en eau dans la région	54
V.2.1	Evaluation de la population	54
V.2.2	Evaluation de la consommation moyenne journalière d'eau.....	54
V.2.2.1	Consommation moyenne journalière.....	55

V.2.3	Estimation des pertes	56
V.2.3.1	Pertes Administratives.....	56
V.3.2	Pertes Physiques.....	56
V.3	Estimation des besoins en eau dans les wilaya avoisinantes	57
V.4	Estimation des Pics de Consommation	59
V.7	Conclusion	60

CHAPITRE VI: LA QUALITÉ DES EAUX MARINS DE MAGTAA

VI.1	Introduction.....	62
VI.2	Données générales sur le golfe d'Arzew	62
VI.3.1	Les Courants marins	62
VI.2.2	Les vents	62
VI.3	Les Paramètres physico-chimiques	63
VI.3.1	La Température de l'eau de mer	63
VI.3.2	La Salinité	63
VI.3.3	L'oxygène dissous	64
VI.3.4	Variation du potentiel d'hydrogéné (PH)	64
VI.3.5	Répartition de la matière en suspension	64
VI.3.6	Distribution Granulométrique Des Particules En Suspension Dans Les Eaux De Mer Méditerranéennes	66
VI.3.7	Variation de la conductivité	67
VI.3.8	la Turbidité.....	67
VI.3.9	Total Des Matière Solides Dissoutes (TDS)	68
VI.3.10	Les Sels Nutritifs.....	68
VI.3.11	Chlorophylle	69
VI.4	Différents types de rejets et les teneur en hydrocarbure	69
VI.5	Qualité de l'eau de mer de de conception.....	70
VI.6	Conclusion	70

CHAPITRE VII: DIMENSIONNEMENT DU TECHNIQUE DE PRÉTRAITEMENT

VII.1	Introduction.....	72
VII.2	Techniques de prétraitement adéquat	72
VII.3	Dimensionnement de la Chain de prétraitement	73

VII.3.1	Dimensionnement de système d'ultrafiltration	73
VII.3.1.1	Calcul du débit de production nécessaire par l'ultrafiltration	73
VII.3.1.2	Choix de type des membranes d'ultrafiltration	73
VII.3.1.3	Dimensionnement de système de filtration.....	74
VII.3.1.4	Dimensionnement de système de retro lavage	76
VII.3.1.5	Dimensionnement du système de nettoyage en place NEP	77
VII.3.1.6	Dimensionnement du réservoir de retro lavage et de NEP	78
VII.3.1.7	Dimensionnement des conduite de système d'ultrafiltration	78
VII.3.2	Dimensionnement de système de filtre a cartouche	79
VII.3.2.1	Calcul les concentration des matières en suspension à éliminer.....	80
VII.3.2.2	Dimensionnement de filtres a cartouche	81
VII.3.2.3	Arrangement des unité de filtration.....	81
VII.3.2.4	Conception de système filtre a cartouche (FC)	83
VII.3.2.5	Dimensionnement des conduite de système filtre a cartouche (FC)	84
VII.3.2.6	Dimensionnement de réservoir d'eau filtré	84
VII.3.3	Dimensionnement de station de pompage d'eau de mer.....	85
VII.3.3.1	Calcul de la hauteur manométrique totale (HMT)	85
VII.3.3.2	Calcul des pertes de charges	86
VII.3.3.3	Arrangements des pompe d'eau de mer.....	89
VII.3.4	Dimensionnement de station de pompage intermédiaire	90
VII.3.4.1	Arrangements des pompe d'eau intermédiaire	92
VII.3.5	Conception de système de prétraitement.....	94
VII.3.6	Conclusion	94

CHAPITRE VIII:ETUDE TECHNICO ÉCONOMIQUES ET GESTION DE PRETRAITEMENT

VIII.1	Introduction	96
VIII.2	Prix de l'équipement principal et auxiliaire.....	96
VIII.3	Prix de l'équipement d'ultrafiltration et filtre a cartouche.....	96
VIII.4	Charges annuelles d'exploitation	97
VIII.4.1	Coût d'investissement indirect	97
VIII.4.2	Amortissement des ouvrages et équipements de Chain de prétraitement.....	98
VIII.4.3	Coût de l'énergie électrique.....	99

VIII.4.3.1	Calculer la puissance des pompe.....	100
VIII.4.3.2	Consommation spécifique d'énergie du système	100
VIII.4.4	Calcul du prix du m ³ d'eau produite par le prétraitement	100
VIII.5	Gestion.....	101
VIII.5.1	Surveillance de système.....	101
VIII.5.1.1	Maintenance des filtres à cartouche.....	101
VIII.5.1.2	Maintenance des membranes d'ultrafiltration	101
VIII.5.2	Apport d'un suivi à long terme	102
VIII.6	Conclusion	102
	Conclusion Générale.....	104
	Références Bibliographiques	105

Liste Des Tableaux

Tableau I.1: la concentration des TDS adéquat au chaque type d'installation	11
Tableau II.1 : Concentrations des éléments principaux pour une eau de mer de salinité	19
Tableau II.2: Salinité des eaux de mer	20
Tableau II.3: Principaux effets associés aux métaux lourds	22
Tableau III.1 : Rapports Molaires de Sulfate à Bicarbonate et Potentiel d'Entartrage.....	31
Tableau III.2: Caractéristiques typiques des médias filtrants	34
Tableau IV.1: les données de précipitations mensuelles en (mm) pour Oran en 2022.....	43
Tableau IV.2: les données de température mensuelles en (°C) pour Oran en 2023	43
Tableau IV.3 : Carte technique de la station TMM	46
Tableau V.1 : Evolution de la population à différents horizons.....	54
Tableau V.2 : Tableau récapitulatif des consommations journalières.....	55
Tableau V.3 : Tableau récapitulatif des consommations journalières.....	56
Tableau V.4 : Tableau récapitulatif des consommations journalières tenant compte des pertes wilaya de Mostaganem	57
Tableau V.5 : Tableau récapitulatif des consommations journalières tenant compte des pertes wilaya de Mascara	57
Tableau V.6 : Tableau récapitulatif des consommations journalières tenant compte des pertes wilaya de Relizane	57
Tableau V.7: Tableau récapitulatif des consommations journalières maximale	59
Tableau VI.1: les variation du pH de l'eaux de mer magtaa	64
Tableau VI.2 : les variation du turbidité en (NTU) de l'eaux de mer magtaa	67
Tableau VI.3 : paramètres de qualité de l'eau de mer de magtaa	70
Tableau VII.1 : paramètres de qualité de l'eau de mer de magtaa	74
Tableau VII.2 : Caractéristiques de perméateur K2000T	74
Tableau VII.3 : arrangement de système d'ultrafiltration pour une ligne de production	75
Tableau VII.4 : mode d'emploi de système retro lavage	76
Tableau VII.5 : nombre des train retro- lave simultanément et le débit de production	77
Tableau VII.6 : mode d'emploi de système NEP	77
Tableau VII.7 : volume de réservoir des systèmes RL et NEP	78
Tableau VII.8 : les conduites choisi pour unité d'ultrafiltration	79
Tableau VII.9 : la distribution granulométrie des eaux de mer de magtaa	79
Tableau VII.10 : spécifications filtre a cartouche Dutch filtration	80
Tableau VII.11 : les concentration des matière en suspension éliminer dans chaque étage.....	80
Tableau VII.12 : spécifications de l'unité de filtration combinée à double cuve.....	81

Tableau VII.13 : calcule de fréquence de nettoyage et les capacité de rétention	83
Tableau VII.14 : les conduites choisi pour unité de filtre a cartouche	84
Tableau VII.15 : volume de réservoir d'eau filtre par les filtre a cartouche	85
Tableau VII.16 : Calcul hydraulique partie refoulement.....	87
Tableau VII.17 : Calcul hydraulique partie aspiration.....	87
Tableau VII.18 : Calcul hydraulique des pertes charge singulier partie aspiration et refoulement	88
Tableau VII.19 : arrangement des pompes selon ANSI /HI.....	89
Tableau VII.20 : calcule hydraulique des perte charge linéaire dans les partie refoulement et aspiration.....	91
Tableau VII.21 : calcule hydraulique des perte charge singulaire dans les partie refoulement et aspiration.....	92
Tableau VII.22 : arrangement des pompes selon ANSI /HI.....	92
Tableau VII.23 : Capacité de l'Équipement de prétraitement	94
Tableau VIII.1 :Prix de la construction des unité de prétraitement	96
Tableau VIII.2 : Prix de l'équipement principal et auxiliaire	96
Tableau VIII.3 :Prix de l'équipement d'ultrafiltration et filtre a cartouche	97
Tableau VIII.4 : Amortissement des ouvrages et équipements de Chain de prétraitement	99

Liste Des Figures

Figure I.1 : Distillation à détente étagée.....	12
Figure I.2 : Principe de l'électrodialyse	13
Figure I.3 : échelle de taille et type de procédure.....	14
Figure I.4 :membrane de Carbon nanotubes	15
Figure I.5 : membranes enroulées en spirale (BeCloud.com, 2020.).....	16
Figure I.6 : Module à fibres creuses à peau interne (BeCloud.com, 2020.).....	16
Figure I.7 : Les Paramètres associés à la performance de l'osmose inverse	17
Figure II.1 : SDI issus d'essais d'eau de mer prétraitée de différentes qualités	28
Figure III.2 : évolution de la perte de charge	32
Figure III.3 : Schéma de principe d'un filtre continu. Exemple d'un filtre du sable	33
Figure III.4 : Schéma général d'un système de prétraitement à membrane immergée.....	39
Figure IV.1 : Carte de l'Algérie mettant en évidence Oran	41
Figure IV.2 : Découpage administratif de la ville d'Oran	42
Figure IV.4 : Photo aérienne de la présentation spatiale de TMM.....	47
Figure IV.5 : schéma de procédé de la station de Magtaa.....	48
Figure IV.7 : La zone de prétraitement (INTAKE).	49
Figure IV.8 : Ultrafiltration -UF.....	50
Figure IV.9 : Système de lavage chimique.....	50
Figure IV.10 : Bâtiments d'Osmose Inverse (RO).....	51
Figure IV.12 : Réservoir de stockage.....	52
Figure IV.13 : Les 3 lignes de Transport de l'eau potable	52
Figure V.1 : histogramme de consommation journalières des wilayas en m ³ /j.....	58
Figure V.2 : les besoins couverts par la station de dessalement jusqu'à l'horizon 2050.....	58
Figure V.3 : les besoins couverts par la station de dessalement jusqu'à l'horizon 2050 cas de pic de consommation.....	59
Figure VI.1 : le courant possible de golf d'Arzew et aux environs (JICA,1984)	62
Figure VI.2 : variation du température durant l'années 2023	63
Figure VI.3 : Variation spatiale de la matière en suspension du golfe d'Arzew (surface)	65
Figure VI.4 : Variation spatiale de la matière en suspension du golfe d'Arzew (fond).....	65
Figure VI.5 : Nombres de particules exprimés en pourcentages cumulés, en fonction du diamètre ..	66
Figure VI.6 : Variation de la conductivité de l'eau de mer magtaa en $\mu\text{S}/\text{cm}$	67
Figure VI.7 : Variation de TDS de l'eau de mer magtaa en mg/l.....	68
Figure VII. 1 : Plan diagramme de flux et de Fonctionnement de système de prétraitement	72

Figure VII.2 : implantation des unité des filtre a cartouche dans le bâtiment de FC	82
Figure VII.3 : Arrangements des pompe d'eau de mer	90
Figure VII.4 : Arrangements des pompe d'eau intermédiaire	93

Liste Des Planches

Planche N°01 : Plan de situation de la station de dessalement MAGTAA wilaya d'Oran

Planche N°02 : Plan de masse de la station de dessalement MAGTAA wilaya d'Oran

Planche N°03 : schéma de tuyauterie et instrumentation (p&id)

Planche N°04 : Plan d'implantation des unité des filtre a cartouche dans le bâtiment ligne 2

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Introduction Générale

L'eau est un élément essentiel à la vie et un facteur déterminant pour le développement économique de toute société. En Algérie, un pays majoritairement aride, la demande en eau pour l'alimentation en eau potable (AEP), l'agriculture et l'industrie augmente continuellement chaque année, rendant son approvisionnement de plus en plus difficile. Cette situation est exacerbée par la combinaison des multiples besoins croissants et la vulnérabilité des ressources hydriques face aux changements climatiques. Face à ces pénuries et déficits chroniques, les pouvoirs publics s'efforcent de capter et de mobiliser les ressources en eau pour les mettre à la disposition des usagers au moment opportun, en quantité suffisante et avec la qualité requise. Cela se traduit par une programmation rigoureuse visant à planifier et coordonner les actions nécessaires pour répondre à ces enjeux.

Le dessalement de l'eau de mer est devenu une solution essentielle pour répondre aux besoins en eau potable dans les régions souffrant de pénurie d'eau douce. La station de dessalement de Magtaa, située dans la wilaya d'Oran en Algérie, représente l'une des plus grandes installations de ce type dans le monde. Avec une capacité de production de plus de 500 000 m³ d'eau potable par jour, cette station est un pilier stratégique dans l'approvisionnement en eau pour les populations locales et les secteurs industriels environnants.

Ce travail porte sur le dimensionnement de la chaîne de prétraitement de cette station de dessalement, une étape cruciale pour garantir la fiabilité et l'efficacité du processus global de dessalement. Une conception et un dimensionnement optimaux de cette chaîne sont indispensables pour prévenir les problèmes de colmatage des membranes, assurer une efficacité maximale des processus de filtration, et garantir la durabilité des installations.

L'objectif de ce mémoire est de présenter une méthodologie de dimensionnement des différentes composantes du prétraitement, en tenant compte des spécificités hydrauliques, techniques et environnementales de la station de Magtaa, tout en proposant une solution pour améliorer la performance globale et réduire les risques de défaillance, notamment ceux liés au colmatage des membranes d'ultrafiltration.

CHAPITRE I:

APERÇU DU DESSALEMENT

I.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous allons examiner les méthodes de dessalement, un domaine essentiel de l'ingénierie environnementale et de la gestion des ressources hydriques. La transformation de l'eau de mer, saumâtre ou saumurée en eau douce utilisable

I.2 Définition de dessalement

Le dessalement est le processus de réduction du sel et d'autres composants minéraux de l'eau salée afin de la rendre propre à la consommation, à l'irrigation ou à l'utilisation dans les processus industriels. Ce processus est vital dans les régions qui manquent de sources d'eau douce ou dont les sources d'eau douce sont polluées. Il existe de nombreuses technologies de dessalement, notamment la distillation, l'osmose inverse, l'électrodialyse et la nanofiltration, qui sont utilisées pour réduire la consommation d'énergie de manière respectueuse de l'environnement et produire de l'eau propre pour les processus industriels (Voutchkov, 2012).

I.3 Les étapes de dessalement

Lorsqu'on aborde le fonctionnement d'une installation de dessalement, il est souvent utile de la subdiviser en quatre postes principaux pour mieux comprendre le processus global

I.3.1 Le captage d'eau de mer

L'objectif principal des prises d'eau de mer est de collecter une eau de source d'un débit et d'une qualité adéquats et constants pendant toute la durée de vie utile de l'usine de dessalement. Le type et la configuration d'admission choisis pour un projet de dessalement donné ont un impact significatif sur la nature et la quantité de matières contenues dans l'eau de source et sur la complexité du système de prétraitement

Deux technologies peuvent être utilisées :

- **Les forages côtiers (Subsurface Intakes)** collectent l'eau à partir d'un aquifère salin près du rivage (côtier), ou bien un aquifère offshore sous le plancher océanique. Les aquifères côtiers sont généralement une source d'eau salée dont la concentration totale en solides dissous est plus faible que celle de la prise d'eau de surface (SENHADJI, 2017)
- **La prise d'eau de surface (Open Intakes)** En fonction de l'emplacement de leur tour de prise, les prises d'eau de surface sont classées comme onshore et offshore, La première se compose généralement d'un grand canal d'admission profond se terminant par une structure de bassin avant en béton l'offshore est généralement soit une tour verticale en béton, cuivre-nickel ou acier, situé de 4 à 10 m au-dessus du plan d'eau et immergé entre 4 et 20 m sous la surface (Voutchkov, 2012). ce type de système de collecte d'eau de source le plus couramment utilisé pour les moyennes et grandes usines de dessalement.

I.3.2 Le prétraitement

Dans les usines de dessalement d'eau de mer par osmose inverse (OI), le prétraitement est essentiel pour garantir des performances stables sur le long terme. En effet, les membranes utilisées dans le processus d'osmose inverse sont très sensibles au colmatage. Pour maintenir une qualité d'eau adéquate en amont des modules d'osmose inverse, deux catégories de prétraitement sont couramment utilisées : les prétraitements physico-chimiques et les prétraitements chimiques (BOUKELLAL, ABDELGHAN, 2015)

- **Prétraitements physico-chimiques** : incluent les préfiltres mécaniques, la clarification, la décantation, la filtration et la microfiltration.
- **Le prétraitement chimique** : consiste en l'addition d'inhibiteurs d'entartrage, De désinfectants, acidification, injection de séquestrant et coagulation-floculation

I.3.3 les installation de dessalement (traitement)

deux types généraux de technologies de traitement de l'eau: l'évaporation thermique (distillation) et l'osmose inverse (RO) séparation membranaire. Outre la distillation thermique et la séparation par membrane d'osmose inverse, deux autres grands courants technologies de dessalement largement appliquées à l'heure actuelle sont l'électrodialyse (ED) et l'échange d'ions (IX).

Tableau I.1: la concentration des TDS adéquat au chaque type d'installation (Voutchkov, 2012)

Les installation de dessalement	Intervalle de concentration de TDS dans l'eau pour une application rentable, mg / L
distillation	20 000-100 000
l'osmose inverse	50 - 46 000
l'électrodialyse (ED)	200-3000
l'échange d'ions	1-800

I.3.3.1 Dessalement Thermique (distillation)

Toutes les technologies de dessalement thermique appliquent la distillation (c'est-à-dire qu'elles sont basées sur le chauffage de l'eau de source) pour produire de la vapeur d'eau, qui est ensuite condensée en une eau à faible salinité. Étant donné que l'énergie nécessaire à l'évaporation de l'eau ne dépend pratiquement pas de la concentration de salinité de la source d'eau, l'évaporation thermique est très appropriée pour le dessalement des eaux à haute salinité et de la saumure. (Voutchkov, 2012)

- **La distillation par détente à étages multiples MSF** : l'eau de source à haute salinité est chauffée à une température de 90 à 115°C dans un récipient dont la section de chauffage crée de la vapeur d'eau. La pression dans le premier étage est maintenue légèrement en dessous de la pression de vapeur saturante de l'eau. Ainsi, lorsque la

vapeur à haute pression créée dans la section de chauffage entre dans le premier étage, sa pression est réduite en vapeur.

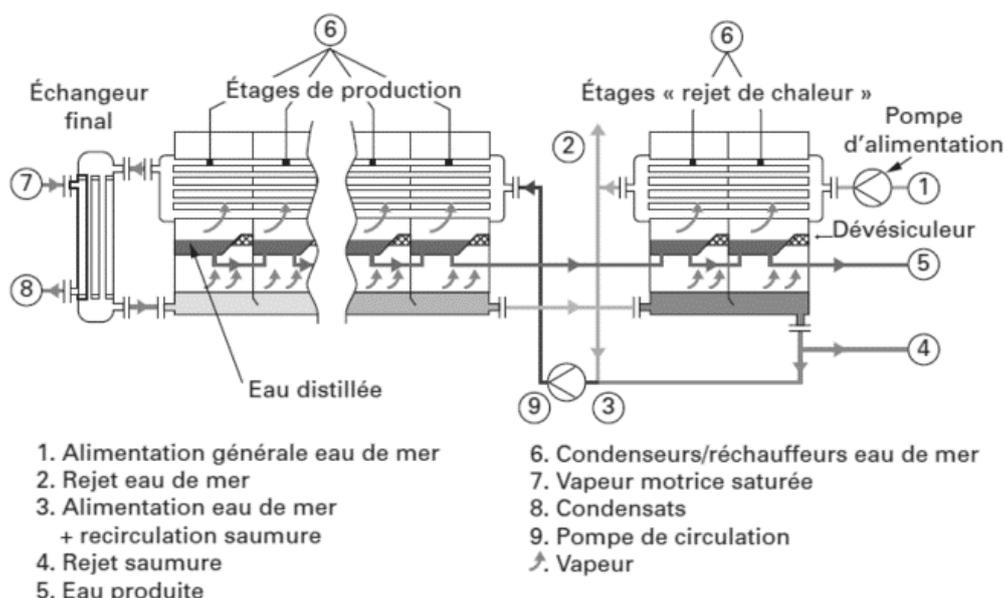


Figure I.1 : Distillation à détente étagée

- **distillation à multiples effets** : Dans les systèmes de distillation à effets multiples (MED), l'eau de source saline n'est généralement pas chauffé; l'eau de source froide est pulvérisée via des buses ou des plaques perforées sur des faisceaux de tubes d'échangeur de chaleur. Cette eau d'alimentation pulvérisée sur les faisceaux de tubes bout, et le généré la vapeur traverse des éliminateurs de brouillard, qui collectent les gouttelettes de saumure du vapeur. L'eau d'alimentation qui s'est transformée en vapeur dans la première étape (effet) est introduite dans les tubes d'échangeur de chaleur de l'effet suivant qui maintenu à pression légèrement inférieure, bien que la vapeur soit légèrement plus froide, elle se condense toujours en eau douce à cette température plus basse. Ce processus de réduction de la pression ambiante dans chaque étape successive permet à l'eau d'alimentation de subir de multiples bouillages successifs sans l'introduction d'une nouvelle chaleur. (Distillation À Effet Multiple, 2020.)
- **compression mécanique de vapeur** Le principe de la CMV est de comprimer mécaniquement les vapeurs à l'aide d'un compresseur afin d'augmenter leur niveau de pression et de température . Cela permet de réutiliser cette chaleur pour fournir l'énergie nécessaire à la vaporisation d'une nouvelle quantité de liquide . Les principaux avantages de la CMV sont la réduction du besoin en vapeur primaire, un faible encombrement et une réduction des volumes d'effluents . Les inconvénients incluent la conduite et la maintenance du compresseur ainsi que le risque de corrosion lié à la qualité des vapeurs (Cours En Ligne Et Simulateur De Thermodynamique Appliquée, 2024.)

I.3.3.2 Dessalement Membranaire

Le Dessalement membranaire est le processus de séparation des minéraux de la source d'eau par des membranes semi-perméables. Deux types généraux de technologies actuellement utilisées pour le Dessalement membranaire est l'électrodialyse (ED) et l'osmose inverse.

- L'électrodialyse (ED) :

dans les systèmes de Dessalement basés sur l'électrodialyse (ED), la séparation des minéraux et l'eau du produit est obtenue grâce à l'application d'un courant électrique continu à la source de l'eau. Ce courant entraîne les ions minéraux et d'autres ions avec une forte charge électrique qui sont contenus dans l'eau de source à travers des membranes sélectives d'ions jusqu'à une paire d'électrodes de charges opposées. Au fur et à mesure que les ions s'accumulent à la surface des électrodes, ils provoquent un encrassement et doivent être nettoyés fréquemment afin de maintenir un processus ED stable.

la solution pratique à ce défi consiste à inverser la polarité des charges opposées électrodes périodiquement (généralement deux à quatre fois par heure) afin d'éviter les fréquentes nettoyage des électrodes (processus d'inversion d'électrodialyse (EDR)).

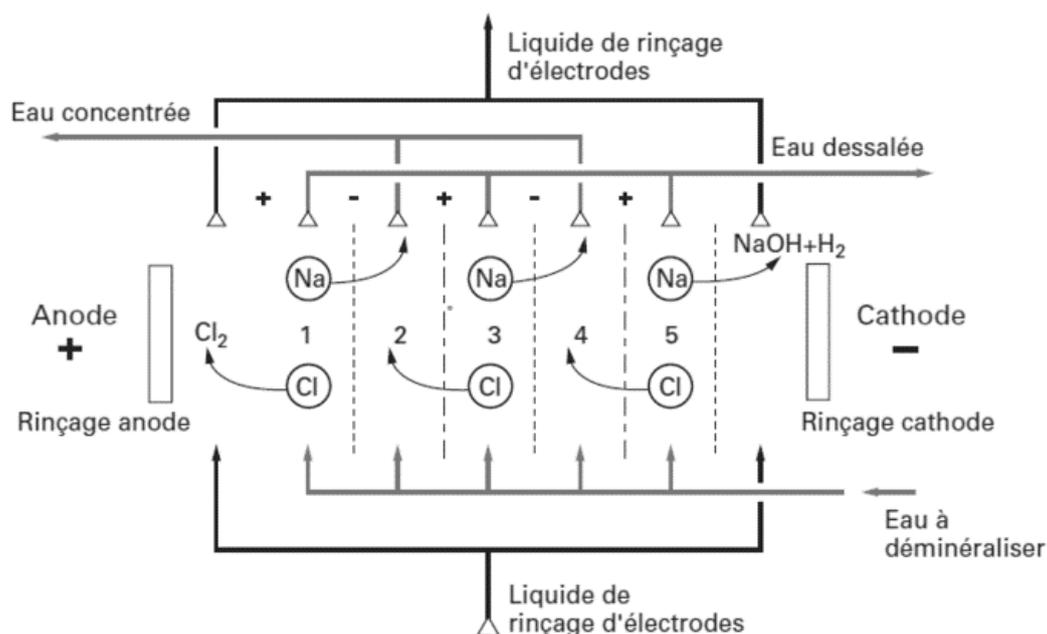


Figure I.2 : Principe de l'électrodialyse (BeCloud.com, 2020.)

Cependant, étant donné que la quantité d'électricité consommée par les systèmes EDR est directement proportionnelle à la salinité de l'eau de source, à des salinités de 2000 à 3000 mg/L, la consommation d'énergie des systèmes EDR dépasse généralement celle des systèmes BWRO ou de nanofiltration pour les eaux de source. Par conséquent, les systèmes EDR ne sont pas aussi couramment utilisés que les systèmes RO pour le Dessalement BWRO et ne sont jamais appliqués pour le Dessalement par osmose inverse de l'eau de mer (SWRO). (Panorama Des Mécanismes De Marché Gérés Par RTE - RTE Portail Services,)

- L'osmose inverse (OI)

L'osmose inverse (OI) est un processus dans lequel de l'eau contenant des sels inorganiques (minéraux), des solides en suspension, des matières organiques solubles et insolubles, des micro - organismes aquatiques et des gaz dissous (collectivement appelés constituants ou contaminants de l'eau de source) est forcée sous pression à travers une membrane semi-perméable. Semi perméable se réfère à une membrane qui permet sélectivement à l'eau de la traverser à un taux beaucoup plus élevé que le taux de transfert de tous les constituants contenus dans l'eau.

En fonction de leur taille et de leur charge électrique, la plupart des constituants de l'eau sont retenus (rejetés) du côté alimentation de la membrane d'osmose inverse pendant que l'eau purifiée (perméat) traverse la membrane.

Les membranes d'osmose inverse peuvent rejeter des particules et des solides dissous de pratiquement n'importe quelle taille. Cependant, ils ne rejettent pas les gaz de puits, en raison de leur petite taille moléculaire. Habituellement, les membranes d'osmose inverse éliminent plus de 90% des composés de 200 daltons (Da) ou plus. En termes de taille physique, les membranes d'osmose inverse peuvent rejeter des solides supérieurs à 1 Å (Angstrom). Cela signifie qu'ils peuvent éliminer pratiquement tous les solides suspendus, protozoaires, bactéries, virus et autres agents pathogènes humains contenus dans l'eau (Osmose Inverse - J. Huesa Water Technology - Tratamiento De Aguas, 2022).

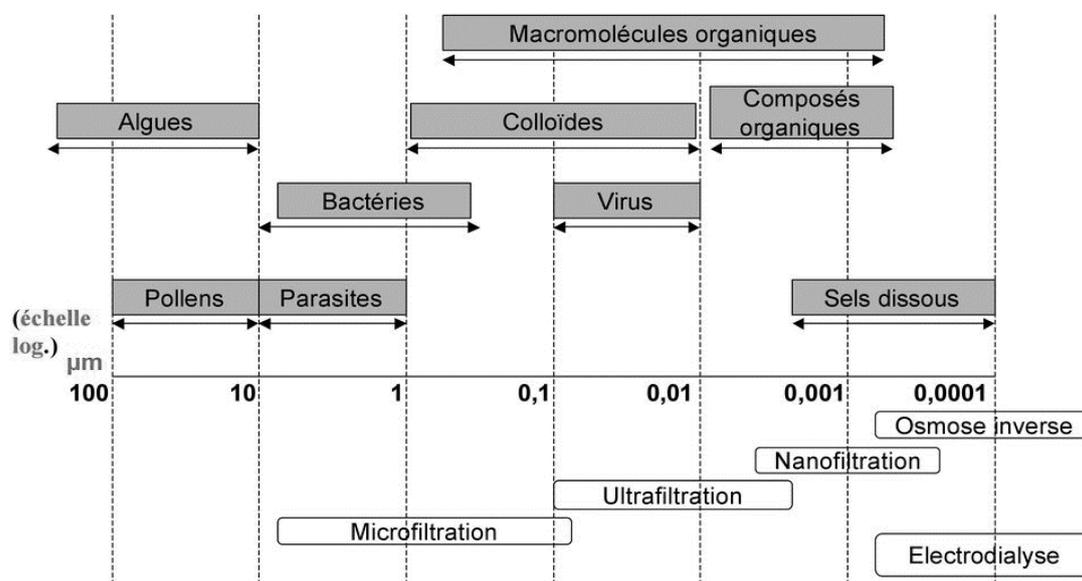


Figure I.3: échelle de taille et type de procédure (AWWA, 2011).

- Structures et matériaux des Membranes d'Osmose Inverse

En fonction de leur structure et matériau les membranes sont classées en deux groupes principaux: le polyamide et l'acétate de cellulose. En fonction de la configuration sont divisées en trois groupes principaux: enroulées en spirale, à fibres creuses et à feuilles plates(plaque et cadre).

Structures de membranes composites à couches minces : Les membranes d'osmose inverse les plus utilisées actuellement pour le dessalement sont constituées d'un film mince semi - perméable (0,2 μm), constitué soit de polyamide aromatique (PA), soit d'acétate de cellulose (CA), qui est supporté par une couche microporeuse de 0,025 à 0,050 mm qui à son tour est coulée sur une couche de tissu de renforcement (Voutchkov, 2012) .

Les membranes nano composites à couches minces : Les membranes nano composites incorporent des nanoparticules inorganiques dans les structures traditionnelles de membrane polymère et consistent en une membrane poreuse hautement structurée composée d'un réseau dense de nanotubes (Figure 4). Ces membranes auraient une perméabilité spécifique plus élevée que les membranes d'osmose inverse conventionnelles avec des sels comparables. rejeter. De plus, par rapport aux membranes d'osmose inverse composites à couches minces classiques, les membranes nano composites à couches minces ont des taux d'encrassement équivalents ou inférieurs à ceux des membranes d'osmose inverse composites à couches minces habituel.

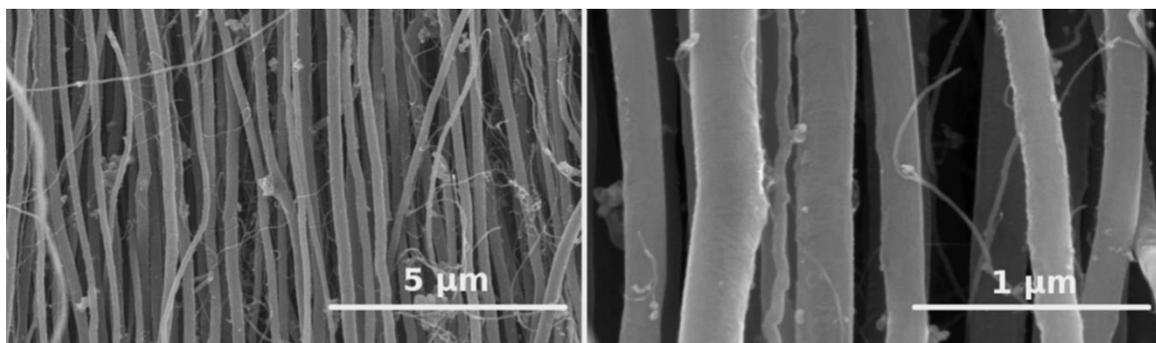


Figure 1.4: membrane de Carbon nanotubes (Voutchkov, 2012)

Membranes en acétate de cellulose : Les membranes CA ont une couche de film d'environ 0,2 μm d'épaisseur; mais l'épaisseur de la membrane entière (environ 100 μm) est inférieure à celle d'une membrane PA (environ 160 μm (AWWA, 2011).).

Un avantage important des membranes CA est que la surface a très peu de charge et est considérée comme pratiquement non chargée, par rapport aux membranes PA, qui ont une charge négative et peuvent être plus facilement encrassées par des polymères cationiques si de tels polymères sont utilisés pour le prétraitement de l'eau de source. De plus, les membranes CA ont une surface plus lisse que les membranes PA, ce qui les rend également moins sensibles à l'encrassement.

Membrane polyamide : Les membranes polyamide fonctionnent à des pressions plus basses et ont une productivité plus élevée (spécifique flux) et un passage plus faible du sel que les membranes CA, qui sont les principales raisons pour lesquelles elles ont trouvé une application plus large à l'heure actuelle. Alors que les membranes CA ont une charge neutre, ces membranes ont une charge négative lorsque le pH est supérieur à 5, ce qui amplifie répulsion des ions et entraîne un rejet global de sel plus élevé. Cependant, il convient de noter que lorsque le pH est inférieur à 4, la charge d'une membrane polyamide devient positive et

le rejet est réduit de manière significative, inférieur à celui d'une membrane CA.

Les membranes enroulées en spirale : L'élément de membrane enroulé en spirale est constitué de feuilles de membrane plates individuelles avec une structure à trois couches de film CA ou PA. support polymère microporeux; et tissu de renfort. Un module de 8 pouces

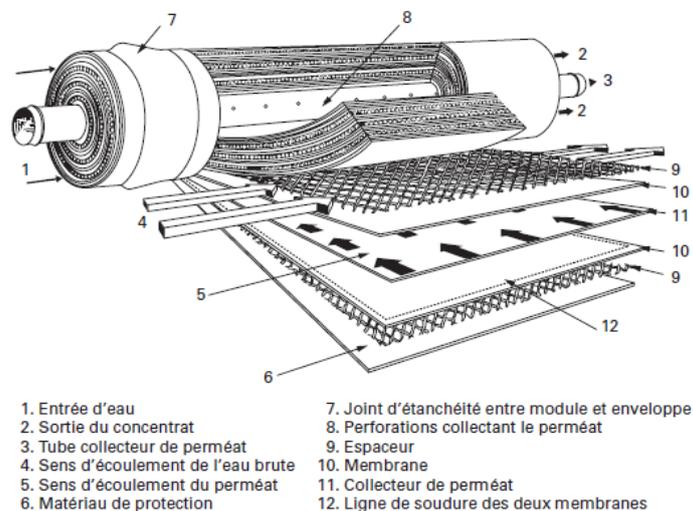


Figure I.5: membranes enroulées en spirale (BeCloud.com, 2020.)

De diamètre se compose de 40 à 42 feuilles de membrane plates, Chaque feuille est constituée de deux feuilles séparées par un mince treillis en plastique (appelé espaceur de perméat), formant un canal pour faciliter le drainage du perméat.

Les membranes à fibres creuses : Le faisceau de fibres creuses est de 4 à 8 pouces. 101,6 à 203,2 mm de diamètre et est situé à l'intérieur d'un boîtier cylindrique de 6 à 12 pouces. 152,4 à 307,2 mm de diamètre et. 1370 mm de long. Les deux extrémités du faisceau sont scellées à l'époxy pour encapsuler l'eau introduit dans le tube de manière à permettre la totalité du concentré généré dans le tube pour sortir d'un seul endroit—l'extrémité arrière de la membrane (AWWA, 2011).

L'eau d'alimentation est introduite dans le faisceau à travers un plastique tube perforé qui s'étend sur toute la longueur de la membrane et est situé au centre du faisceau. L'eau d'alimentation s'écoule radialement et imprègne à travers le mince film membranaire des fibres creuses; les sels et les impuretés contenues dans cette eau sont collectées sur la face externe des fibres et évacuées à travers le tuyau de concentré à l'extrémité arrière de l'élément membranaire. Le perméat est collecté dans les tubes intérieurs des fibres creuses et acheminé vers le raccord d'eau du produit, qui est situé à l'arrière ou à l'extrémité d'alimentation de la membrane élément.

Les membranes à plaques : dans ce cas, les éléments sont constitués de feuilles de membrane plates similaires à celles qui sont enroulées pour créer des éléments enroulés en spirale. Typiquement, deux membranes à feuilles plates sont placées dans des plaques de filtration avec le site de film membranaire vers l'extérieur de sorte qu'elles forment une enveloppe. Les plaques de filtration font partie intégrante du système d'osmose inverse empilées dans sa structure de cadre.

Des entretoises eau d'alimentation / saumure sont installées entre les enveloppes membranaires pour permettre à l'eau d'alimentation de s'écouler.

I.3.3.3 Système d'Osmose Inverse-Description Générale

Les membranes d'osmose inverse dans les installations à grande échelle sont assemblées en éléments membranaires (modules) installés dans des cuves en série de six à huit éléments par cuve, et l'eau d'alimentation est introduite dans les éléments membranaires avant et appliquée tangentiellement à la surface des membranes dans un sens d'écoulement transversal à une pression adéquate pour surmonter la pression osmotique de l'eau salée et les pertes d'énergie associées au processus de séparation (BeCloud.com, 2020.).

I.3.4 Le traitement Complémentaire

L'eau de produit par les usines de dessalement est typiquement faible en teneur en minéraux, dureté, alcalinité et pH. Par conséquent, l'eau dessalée doit être conditionnée (post - traitée) avant la distribution finale et l'utilisation.

En général, l'étape de post-traitement comporte deux phases principales : l'ajustement du pH et la chloration.

L'ajustement du pH : Le manque d'alcalinité carbonatée ainsi que la faible teneur en calcium et en magnésium (c'est-à-dire une très faible dureté) rendent l'eau dessalée instable et sujette à de fortes variations de pH en raison de son incapacité à former des carbonate de calcium sur les parois des tuyaux, ce qui la rend corrosive.

La chloration : le chlore sous diverses formes (p. ex., hypochlorite de sodium, hypochlorite de calcium et chlore gazeux) est le produit chimique de conditionnement typique utilisé pour la désinfection de l'eau désalinisée en raison de son efficacité reconnue d'inactivation des agents pathogènes et des niveaux raisonnablement faibles de sous-produits de désinfection qu'il génère dans l'eau dessalée. Cependant, d'autres désinfectants, tels que le dioxyde de chlore et les chloramines ainsi que l'irradiation aux rayons ultraviolets (UV), pourraient également être utilisés pour la désinfection de l'eau dessalée (AWWA, 2011).

I.4 Conclusion

Étant donné que l'eau de mer est un gisement important et une richesse presque inestimable.

La méthode de dessalement est une solution essentielle pour répondre aux besoins et à la satisfaction des exigences de développement durable, car elle est inépuisable.

Malgré le fait que le dessalement représente un peu moins de 1% de l'eau potable consommée dans le monde, les opportunités offertes par cette technologie ne cessent de croître. Effectivement, 40 % de la population mondiale réside sur les côtes, ce qui en fait une zone raisonnable pour l'utilisation du dessalement .

CHAPITRE II:

QUALITE DES EAUX DE MER

II.1 Introduction

La caractérisation et l'évaluation des sources d'eau sont un élément clé de la planification et de la conception des projets de dessalement.

Le type et le niveau de détection des polluants mesurés dans l'eau de source sont principalement déterminés par les réglementations applicables en matière de qualité de l'eau des produits et les exigences réglementaires régissant le rejet de l'usine de dessalement. De plus, la qualité de l'eau de source saline est généralement analysée pour des paramètres qui ne peuvent pas être réglementés, mais qui ont un impact sur l'utilisation finale de l'eau dessalée et sur les performances de l'usine de dessalement,

II.2 Propriétés de l'eau de mer

II.2.1 Eléments principaux

À mesure que la masse totale de sel dissous change, les rapports de concentration des différents éléments restent stables, Les éléments majeurs, ceux qui contribuent de manière significative à la masse de sel dissous dans l'eaux, représentent 11 éléments différents. Leurs concentrations sont indiquées dans le Tableau :

Tableau II.1 : Concentrations des éléments principaux pour une eau de mer de salinité de 35‰ (HENRI et KAMEL, 2008).

Eléments	Concentration (mg/kg)	Eléments	Concentration (mg/kg)
Chlorure (Cl ⁻)	19353	Sodium (Na ⁺)	10160
Sulfate (SO ₄ ²⁻)	2712	Magnesium (Mg ²⁺)	1249
Bicarbonate (HCO ₃ ⁻)	142	Calcium (Ca ²⁺)	413
Bromure (Br ⁻)	67	Potassium (K ⁺)	387
Fluorure (F ⁻)	1	Strontium (Sr ²⁺)	8
Bore	4		

L'eau de mer renferme une multitude d'autres composants présents à des concentrations bien moindres. Bien que leur concentration soit faible, ces éléments revêtent une certaine importance dans les processus biologiques et organiques

Un litre d'eau de mer contient généralement 30 à 40 grammes de sel, tandis que les matières en suspension représentent des dizaines de milligrammes par litre. Ces particules peuvent être finement dispersées, augmentant ainsi considérablement la surface de réaction, ce qui peut avoir un impact significatif sur les propriétés physico-chimiques de l'eau de mer (HENRI et KAMEL, 2008).

II.3 Caractéristiques physico-chimiques de l'eau de mer

La salinité des mers ouvertes telles que l'Atlantique, la Manche, la Mer du Nord et le Pacifique est généralement d'environ 35 grammes par litre

II.3.1.1 Salinité de l'eau de mer

la valeur standard de la salinité de l'eau de mer. Cependant, des variations plus ou moins importantes autour de cette valeur moyenne peuvent exister en fonction du bilan entre les précipitations et l'évaporation. Dans le cas des mers fermées ou peu ouvertes sur les masses océaniques, la salinité peut être très différente.

Tableau II.2: Salinité des eaux de mer

Mer	Salinité en g/l
Mer Méditerranée	36 à 39
Mer Rouge	~ 40
Mer Baltique	7
Mer Caspienne	13
Mer Morte	270
Golfe Arabo-Persique	40 à 70
Mer Noire	20

Toutefois, dans le cas des mers ouvertes, la proportion des différents sels en présence est relativement constante. En particulier, la somme des ions chlorures et sodium représente environ 85 % du poids total des sels. Par contre, dans les mers fermées ou les grands lacs salés, la concentration par évaporation à partir d'apports d'eaux de surface faiblement salées mais relativement différentes de celle de l'eau de mer, conduit quelquefois à des compositions ioniques très particulières (HAMANI,2013).

II.3.1.2 Sels minéraux

Certains exemples de sels minéraux couramment trouvés dans l'eau de mer :

NaCl	Chlorure de Sodium
CaSO ₄	Sulfate de Calcium
CaCO ₃	Carbonate de Calcium
MgCl ₂	Chlorure de Magnésium
NaNO ₃	Nitrate de Sodium
CaF ₂	Fluorure de Calcium

Les sels minéraux, qui demeurent sous forme de cendres après la calcination des tissus organiques, jouent un rôle essentiel dans l'organisme. Ils sont indispensables car ils :

- Contrôlent l'équilibre hydrique, notamment en régulant la pression osmotique ;
- Contribuent à maintenir l'équilibre acide-base en régulant le pH ;
- Font partie intégrante de certaines structures corporelles telles que les os et les dents
- Catalysent de nombreuses réactions métaboliques.

II.3.2 Température

L'eau de mer varie généralement en température selon la latitude. Elle est chaude près de l'Équateur, avec des températures de surface atteignant environ 26°C dans l'océan et dépassant les 30°C dans les mers intérieures pendant l'été. En revanche, elle est froide aux pôles, avec des températures de surface oscillant entre 1 et 3°C. L'océan Indien est généralement plus chaud que l'Atlantique à des latitudes équivalentes, et même à la même latitude dans un même océan, les températures peuvent varier.

Dans l'hémisphère Sud, le phénomène est inverse : les façades ouest des continents sont plus froides que les côtes est. De plus, les différences de température sont importantes en fonction de la profondeur.

Les échanges thermiques entre la surface de l'eau de mer et l'atmosphère sont cruciaux, influençant ainsi le climat. Les océans se réchauffent et se refroidissent moins rapidement que la terre, ce qui donne aux régions côtières un climat océanique plus tempéré, caractérisé par des conditions douces et humides (MOULIN, 2004).

II.3.3 pH

Le pH est une mesure de l'acidité de l'eau c'est -à-dire de la concentration en ions d'hydrogène (H⁺). L'échelle des pH s'étend en pratique de 0 (très acide) à 14 (très alcalin) ; la valeur médiane 7 correspond à une solution neutre à 25°C. Le pH d'une eau naturelle peut varier de 4 à 10 en fonction de la nature acide ou basique des terrains traversés. Des pH faibles (eaux acides) augmentent notamment le risque de présence de métaux sous une forme ionique plus toxique . (Djemmal,2005)

Le pH des eaux de mer diminue avec une augmentation de la température. Pour une eau ayant une salinité de 19,5‰ et un pH initial de 8, une élévation de température de 1°C, entre 10°C et 20°C, entraîne une diminution du pH de 0,0109.

De même, une augmentation de la pression de 100 bars produit une diminution du pH d'environ 0,02 (HABET, 2012).

II.3.4 Conductivité électrique

La conductivité électrique d'une eau représente la conductance d'une colonne d'eau située entre deux électrodes métalliques (en platine) d'une surface de 1 cm², séparées l'une de l'autre par 1 cm. L'unité de mesure de la conductivité est le Siemens par mètre (S/m). La

conductivité fournit une indication de la minéralisation de l'eau et est donc un bon indicateur de son origine (ATALLAH, 2014).

II.3.5 Turbidité

La turbidité de l'eau est principalement causée par la présence de particules en suspension, notamment colloïdales telles que des argiles, des limons, des grains de silice et des matières organiques. Ces éléments contribuent à rendre l'eau trouble. De plus, la pluviométrie joue un rôle crucial dans la turbidité des eaux superficielles et souterraines en fonction de leur origine, (SAVARY, 2010)

II.4 Pollution des eaux par l'hydrocarbures

Ce terme fait généralement référence aux huiles minérales qui contiennent des substances telles que les alcanes, les alcènes, etc. Outre leur toxicité, ces substances peuvent limiter l'apport d'oxygène dans les eaux de surface lorsqu'elles sont présentes en concentrations élevées. Ces polluants incluent également les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) ainsi que les hydrocarbures aromatiques monocycliques (HAM).

Les HAP sont des combinaisons organiques résultant de l'assemblage de plusieurs noyaux benzéniques. Ces composés sont relativement stables et peu solubles dans l'eau. Ils s'adsorbent fortement aux sols et aux matières en suspension, et sont également très solubles dans les graisses, ce qui favorise leur bioaccumulation dans les tissus humains et animaux. Plusieurs HAP sont classés comme agents cancérigènes possibles par l'OMS.

II.5 Présence de métaux lourds dans les eaux de mer

Parmi les métaux lourds les plus préoccupants, on trouve notamment le cadmium, le fer, le plomb, l'arsenic, le nickel et le bore. Les principaux effets associés à ces éléments sont présentés dans le tableau II.3:

Tableau II.3: Principaux effets associés aux métaux lourds (Le CALVÉ,2002) .

Métaux Lourds	Principaux Effets
Cadmium	Toxicité rénale, risques pour la santé osseuse, risques de cancer
Fer	Risques de troubles gastro-intestinaux en cas de concentration élevée
Plomb	Toxicité neurologique, risques de dommages au cerveau et au système nerveux
Arsenic	Risques de cancer, effets sur la peau et le système respiratoire
Nickel	Risques d'allergies cutanées, effets sur le système respiratoire

Effectivement, la pollution des eaux par des métaux lourds, souvent présents sous forme de traces, peut provoquer des intoxications chez l'homme si l'eau contaminée dépasse les limites fixées par la réglementation et l'OMS.

II.6 Paramètres et Méthodes de Mesure

Le SDI est un paramètre qui fournit une indication du potentiel d'encrassement particulaire de l'eau

II.6.1 L'indice de colmatage (SDI)

Si le système d'osmose inverse fonctionne à une pression transmembranaire constante, l'encrassement des membranes particulaires entraînera une baisse de la productivité du système (flux membranaire) au fil du temps. Le SDI donne une indication de la vitesse de diminution du flux à travers un filtre de taille et de diamètre standard fonctionnant à pression constante pendant une période de temps donnée.

$$SDI_{15} = \frac{1 - (t_0/t_n)}{n} 100$$

où t_0 et t_n = les temps respectifs en secondes nécessaires pour recueillir 500 ml d'eau filtrée au début de l'essai et après avoir fait passer l'eau à travers le filtre pendant la durée de l'essai sélectionné.

Il convient de souligner que, bien que le test SDI standard nécessite un temps de test de 15 min entre la première et la deuxième mesure, le test peut également être exécuté pendant 5 ou 10 min, en fonction de la concentration en solides. Sur la base de cette formule, la valeur maximale de SDI_{15} est de 6,7; cette condition se produirait si le temps de collecte de 500 ml après 15 min de filtration était infini.

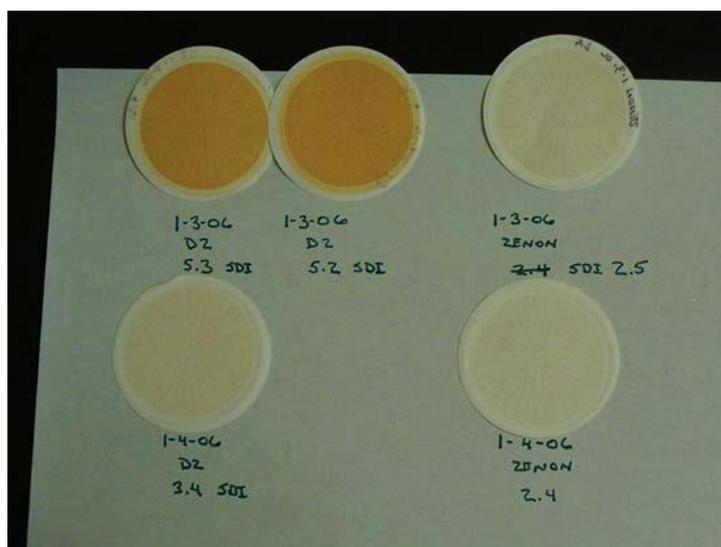


Figure II.1: SDI issus d'essais d'eau de mer prétraitée de différentes qualités (Voutchkov, 2012)

II.6.2 Matières En Suspension (MES)

Les matières en suspension (MES) se distinguent dans la colonne d'eau selon plusieurs critères : leur granulométrie, leurs propriétés physico-chimiques, ainsi que leur nature minérale et/ou organique. La taille des particules est souvent considérée comme le critère principal permettant de comprendre au mieux la dynamique des MES. Les matières en suspension sont définies comme des particules pouvant être naturellement transportées en suspension, avec une taille minimale fixée arbitrairement à $0,45\mu\text{m}$.

- **Composition des particules en suspension**

La répartition quantitative et qualitative des matières en suspension (MES) dépend des divers facteurs influençant le système. Ces MES, provenant à la fois du bassin versant, du milieu marin et de la production biologique associée à chacun des deux milieux, peuvent également être distinguées en fonction de leur nature. En effet, les MES se décomposent en fractions minérales et organiques.

Les particules minérales se distinguent par leur nature minéralogique et leurs propriétés physiques, telles que la taille et le poids. Elles se divisent en deux grandes catégories : (i) les sédiments vaseux, comme les silts et les argiles, et (ii) les sédiments sableux ou grossiers. La limite granulométrique entre ces catégories varie selon les auteurs, oscillant entre 40 et 100 μm (Poizot, 2009).

Les particules organiques peuvent provenir de trois sources principales : (i) débris végétaux et humiques du bassin versant, (ii) rejets anthropiques et animaux, et (iii) production biologique autochtone ou allochtone. Ces particules, dont la taille varie du μm (bactéries) à quelques dizaines de μm (phytoplancton), ont des vitesses de chute très faibles de 10^{-6} à 10^{-4} mm.s^{-1} et sont difficiles à décanter.

II.7 Conclusion

Sur la base de la discussion des facteurs influençant les performances du système d'osmose inverse, il est recommandé qu'au minimum, la source d'eau pour un projet de dessalement par osmose inverse donné soit analysée pour les paramètres mentionnés dans ce chapitre. En plus des minéraux et paramètres clés associés à divers types d'encrassement des membranes, contient également des caractéristiques de qualité de l'eau qui peuvent avoir un impact sur les performances, l'intégrité et la longévité des membranes d'osmose inverse, telles que le pH, le chlore libre, l'ammoniac et le potentiel redox ; des métaux qui, s'ils sont présents au-delà de certains seuils, pourraient induire une oxydation et une perte de l'intégrité des membranes.

CHAPITRE III :

TECHNIQUES DE PRÉTRAITEMENT

III.1 Introduction

Dans les stations de dessalement, bien que l'osmose inverse soit souvent considérée comme l'étape clé du processus, le prétraitement joue un rôle encore plus important. Il ne se contente pas de préparer l'eau pour l'osmose inverse, mais détermine directement la performance et la durabilité de l'ensemble du système. Un prétraitement efficace est indispensable pour gérer les variations souvent imprévisibles de la qualité de l'eau de mer, assurant ainsi la protection des équipements en aval et la qualité de l'eau produite. Par conséquent, l'efficacité du prétraitement est étroitement liée à la performance globale de la station.

III.2 Le prétraitement

Le but de la première étape-le prétraitement consiste à éliminer les solides en suspension de l'eau et à empêcher certains des solides solubles naturels de se transformer en forme solide et de précipiter sur les membranes d'osmose inverse (OI) pendant le processus de séparation des sels.

Idéalement, après le prétraitement, les seuls solides restants dans l'eau de source seraient les solides dissous minéraux, et tant que le système de dessalement est utilisé de manière à empêcher ces minéraux de précipiter à la surface de la membrane, les membranes d'osmose inverse pourraient fonctionner et produire de l'eau douce de qualité constante à un taux élevé sans qu'il soit nécessaire de nettoyer ces membranes pendant très longtemps. L'expérience pratique montre que pour les usines de dessalement avec une qualité d'eau de source élevée et un système de prétraitement bien conçu, les membranes d'osmose inverse peuvent ne pas avoir besoin d'être nettoyées pendant une ou plusieurs années et leur durée de vie utile pourrait dépasser 10 ans (Jamaly et al., 2014).

III.2.1 L'alimentation en eau de mer

L'objectif principal des prises d'eau saline est de collecter une eau de source d'un débit et d'une qualité adéquats et constants pendant toute la durée de vie utile de l'usine de dessalement. Le type et la configuration d'alimentation choisis pour un projet de dessalement donné ont un impact significatif sur la nature et la quantité des matières de colmatage contenues dans l'eau de source et sur la complexité du système de prétraitement nécessaire pour contrôler l'encrassement des membranes d'osmose inverse.

III.2.2 Station De Pompage d'eau De Mer

La fonction principale des stations de pompage est de fournir de manière fiable l'eau de source collectée aux installations de prétraitement en aval à une plage cible de débits et de pressions (le régime de distribution de l'eau de source). Les stations de pompage d'eau de mer comprennent les éléments clés suivants: le bassin de captage, les pompes, l'équipement et les installations de service et auxiliaires, la tuyauterie d'interconnexion et les systèmes d'alimentation en produits chimiques. (Voutchkov, 2012)

III.2.3 Protection contre la Corrosion

La partie immergée des structures de captage métalliques peut être protégée contre la corrosion en utilisant un système de protection cathodique contre la corrosion. Typiquement, le système de protection contre la corrosion contient une anode sacrificielle qui est consommée à la place de l'équipement auquel elle est connectée. Afin de minimiser la corrosion et ses impacts négatifs sur les opérations d'alimentation, les pièces de la pompe d'admission en contact direct avec l'eau saline sont en acier inoxydable super duplex pour les installations maritimes et en acier inoxydable duplex pour les usines de dessalement saumâtre à haute salinité.

De nombreuses usines de dessalement ont une connexion directe de l'entrée de l'usine de dessalement au rejet, ce qui leur permet de rejeter une partie ou la totalité de l'eau de prise en cas de contamination de l'eau de source par des niveaux excessifs d'hydrocarbures ou de solides de prolifération d'algues (Baudish et al., 2011) .

III.2.4 Systèmes d'alimentation en produits chimique

III.2.4.1 Hypochlorite de Sodium

La plupart des usines de dessalement sont équipées de systèmes d'alimentation chimique pour ajouter de l'hypochlorite de sodium à l'eau dessalée. Pour les usines de dessalement avec des entrées ouvertes en mer, l'hypochlorite de sodium est généralement injecté au niveau de la structure d'admission afin de supprimer la croissance biologique dans le pipeline reliant la structure de la station de pompage. De plus, de l'hypochlorite de sodium est ajouté pour minimiser la croissance biologique dans les systèmes de prétraitement et d'osmose inverse et les canaux d'interconnexion. Le dosage de l'hypochlorite de sodium dans l'eau de source est réglé de manière à ce que le chlore injecté soit consommé presque complètement au moment où l'eau quitte le système de prétraitement de l'usine.

III.2.4.2 Acide Sulfurique

L'acide sulfurique (ou tout autre acide) qui réduit le pH de l'eau de mer à 4 ou moins peut dissoudre les liaisons calcium-organiques entre les mollusques, le biofilm et les parois des tuyaux, empêchant ainsi les mollusques de se fixer de façon permanente à la surface des tuyaux. L'ajout d'hypochlorite de sodium supprime la formation de biofilm bactérien sur les parois des pipelines et la croissance du plancton des mollusques et des organismes adultes.

Dans le cadre de cette approche de gestion de la bio croissance, de l'acide sulfurique et de l'hypochlorite de sodium sont ajoutés en aval du point où la structure d'entrée d'admission se connecte à la canalisation d'admission. La conduite d'hypochlorite de sodium doit être rincée après addition chimique, puis le même tuyau peut être utilisé pour alimenter l'acide sulfurique. Alternativement, une ligne séparée peut être installée pour ajouter de l'acide sulfurique au même endroit (Clean Water Intake - Pump Stations - Romtec Utilities, 2023) .

III.3 Prétraitement conventionnel

Les processus de prétraitement conventionnel dans les usines de dessalement comprennent généralement les étapes suivantes :

III.3.1 Dégrillage et filtrage de l'eau

Les installations de tamisage constituent la première étape de traitement de toute station de dessalement. Selon le type de captage et de prétraitement, le tamisage peut être aussi simple qu'une filtration par cartouches ou aussi sophistiqué qu'une série de tamis mécaniques, conçus pour éliminer séquentiellement les gros débris et les organismes marins, et des micro-tamis, conçus pour retenir le limon, le plancton, le sable, les particules de coquillages et autres débris solides présents dans l'eau salée source. L'objectif principal des tamis est de protéger les installations de prétraitement ou d'osmose inverse (OI) en aval contre les dommages aux équipements et aux structures, l'encrassement et le colmatage accélérés des médias filtrants, ainsi que la réduction de la capacité de traitement de l'eau produite.

Les prises d'eau en pleine mer sont généralement équipées de grilles à barreaux grossiers, suivies de grilles plus fines avec des ouvertures de 1 à 10 mm, qui empêchent la majorité des organismes aquatiques (poissons, crabes, etc.) de pénétrer dans la station de dessalement. Alors que les grilles grossières sont toujours stationnaires, les grilles fines peuvent être de deux types : stationnaires (passives) ou mobiles périodiquement (rotatives).

III.3.1.1 Grilles à barreaux grossiers (barreaux de filtration)

Les barreaux de filtration (bar racks) ont généralement une distance de 50 à 300 mm (2 à 12 pouces) entre les barreaux).

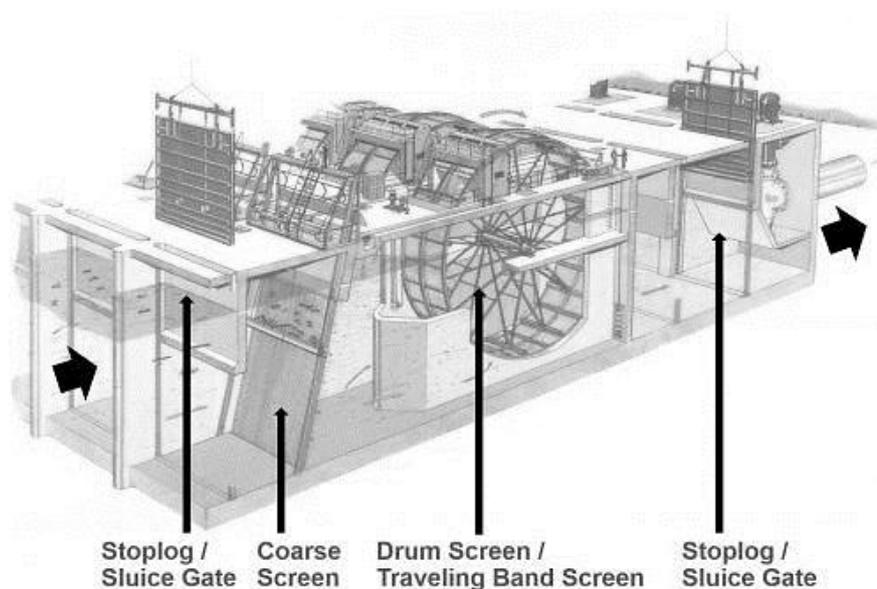


Figure III.1 : Installation de Dégrillage et Tamisage

leur objectif est d'empêcher les gros débris et la faune aquatique de pénétrer dans la prise d'eau de l'installation.

III.3.1.2 Grilles fines

Les grilles fines auto-nettoyâtes rotatives ont généralement des ouvertures de 3 à 10 mm. Elles sont installées verticalement dans les canaux de prise d'eau en aval des grilles grossières et sont équipées d'un dispositif de nettoyage rotatif, souvent combiné avec des buses de pulvérisation d'eau pour éliminer les débris de la surface de la grille. Ces buses sont alimentées en eau de nettoyage par des pompes dimensionnées pour un débit de 45 à 68 m³/h et une pression de 4 à 7 bars. Étant donné que l'une des fonctions principales des grilles fines est de protéger les pompes d'admission des dommages, les ouvertures des grilles doivent être plus petites que la distance entre les aubes des pompes d'admission (1h2o3 GmbH, 2024).

Deux types de grilles fines rotatives qui sont largement utilisées dans les usines de dessalement sont les grilles à bandes et les tamis tambours :

Les grilles à bandes : Ces grilles verticales mobiles se composent de panneaux de tamis individuels avec des ouvertures de mailles fines, qui sont fixés sur des chaînes à rouleaux de support, elles-mêmes installées sur des rails de guidage encadrés en métal. Lorsque l'eau de source traverse les grilles de prise, les débris contenus dans l'eau sont retirés et s'accumulent sur les panneaux de tamis. La maille des panneaux de tamis est généralement fabriquée en polyamide, en polyester, en acier inoxydable super duplex pour les applications en eau de mer, ou en acier inoxydable duplex pour les prises d'eau saumâtre. L'accumulation de débris provoque une augmentation progressive de la perte de charge à travers la grille (1h2o3 GmbH, 2024).

les tamis tambours : Le modèle de circulation de l'eau le plus couramment utilisé pour ces grilles est de l'intérieur vers l'extérieur (également appelé entrée double), où l'eau de source pénètre à l'intérieur du cylindre et se déplace radialement vers l'extérieur, créant un flux convergent hydrauliquement avantageux. Les débris déposés sur la surface intérieure de la grille sont éliminés par un jet d'eau situé au sommet de la grille et collectés dans un bac à eau. Les tamis tambours sont disponibles avec des capacités unitaires allant jusqu'à 3 000 000 m³/jour. À l'instar des grilles à bandes, ils sont également disponibles en configurations à entrée unique, double sortie (de l'extérieur vers l'intérieur), et entrée double, sortie unique (de l'extérieur vers l'intérieur), ainsi que selon le modèle de circulation double entrée, sortie unique (de l'extérieur vers l'intérieur) (Rogers, 2009).

III.3.1.3 Filtres à cartouches

Les filtres à cartouches sont des micro filtres fins de taille nominale de 1 à 25 µm, fabriqués à partir de fibres plastiques fines ou d'autres supports de filtration fine, installés autour d'un tube central pour former des cartouches de taille standard. Souvent, ce sont les seuls dispositifs de filtration entre les puits de captage et le système d'osmose inverse (OI) dans les usines de dessalement d'eau saumâtre et d'eau de mer avec des prises d'eau de puits produisant une eau de source de haute qualité. Les filtres à cartouches sont davantage des installations de protection des membranes d'OI que des dispositifs de filtration ; leur principal objectif est de capturer les particules dans l'eau de source prétraitée qui peuvent avoir

traversé les systèmes de prétraitement en amont afin de prévenir les dommages ou le colmatage prématuré des membranes d'OI.

III.3.2 Conditionnement de l'eau

Afin de réduire le potentiel d'encrassement, l'eau saline source est conditionnée avant la séparation par osmose inverse (OI) en utilisant divers produits chimiques : coagulants, flocculants, inhibiteurs de tartre, oxydants et composés de réduction des oxydants (comme le bisulfite de sodium et l'acide sulfurique). Les coagulants et flocculants sont ajoutés pour améliorer l'élimination des contaminants particulaires et colloïdaux dans les installations de prétraitement de l'eau saline. Les inhibiteurs de tartre sont introduits dans l'eau saline source après la filtration de prétraitement pour empêcher la cristallisation des contaminants minéraux incrustants sur la surface des membranes d'OI.

III.3.2.1 Coagulation

L'ajout de coagulant est effectué avant les bassins de sédimentation de prétraitement, les unités de flottation à air dissous ou les filtres. Les coagulants les plus fréquemment utilisés pour le conditionnement de l'eau source des usines à membranes avant la sédimentation ou la filtration sont les sels ferriques (sulfate ferrique et chlorure ferrique). (Coagulation and Flocculation in Water and Wastewater Treatment | IWA Publishing, n.d.)

Le dosage optimal du coagulant dépend du pH et doit être déterminé sur la base d'un test de floculation en laboratoire (test en jarre) ou d'un essai pilote adapté aux conditions spécifiques du site concerné. L'expérience pratique montre que le pH optimal pour la coagulation des particules dans les eaux salines dépend fortement de la température. À mesure que la température diminue, le pH optimal pour la coagulation augmente, et inversement. Par exemple, le pH optimal à une température de 10°C est de 8,2, tandis qu'à une température de l'eau source de 35°C, le pH optimal diminue à 7,4 (Edzwald and Haarhoff, 2012).

III.3.2.2 Inhibiteurs de Tartre

La formation de dépôts minéraux (tartre) sur la surface des membranes d'OI est causée par la précipitation de sels de faible solubilité tels que le carbonate de calcium, le carbonate de magnésium, le sulfate de baryum, le sulfate de strontium et la silice. La stabilité de ces composés dépend de leur concentration dans le flux de concentré, de la température de l'eau, du pH, de la récupération de l'usine de dessalement et d'autres facteurs.

Certains composés naturellement présents dans l'eau de mer, tels que les acides humiques, peuvent agir comme agents éclatants naturels et inhibiteurs de tartre. En raison de la présence de ces composés, l'acidification de l'eau de mer avant la séparation des sels par membrane est généralement inutile et rarement pratiquée. L'acidification de l'eau de mer n'est pas recommandée lorsque l'objectif est un niveau élevé d'élimination du bore, car elle peut avoir un impact négatif sur le rejet du bore par les membranes d'osmose inverse (OI). Un surdosage

en acide peut entraîner la corrosion des tuyauteries et de l'équipement, ainsi que la formation d'encrassements colloïdaux à base de fer sur les membranes d'OI. Par conséquent, les avantages potentiels de l'ajout d'acide et de son dosage doivent être soigneusement évalués par rapport aux problèmes éventuels que peut introduire l'acidification (Yoo et al., 2011)

Tableau III.1 : Rapports Molaires de Sulfate à Bicarbonate et Potentiel d'Entartrage (Voutchkov, 2012)

Rapport molaire de SO ₄ / HCO ₃	Concentration de Chlorure mg/L	Potentiel de tartrage au sulfate	Potentiel de tartrage au Carbonate
> 15	≥ 20,000	Élevé	Faible
10–15	≥ 10,000	Moyen à élevé	Moyen
1–10	≥ 3000	Moyen	Moyen à élevé
< 1	< 3000	Faible	Élevé

L'hexa métaphosphate du sodium a été l'un des inhibiteurs de tartre les plus couramment utilisés par le passé, mais ces dernières années, il est souvent remplacé par des formulations chimiques propriétaires en raison de leur efficacité améliorée, de leur longue durée de stockage sans perte d'efficacité, de leur résistance à la croissance microbienne dans le réservoir d'alimentation, de leur facilité de manipulation, et d'autres raisons. Le sodium hexa métaphosphate peut servir de nutriment bactérien, et parce qu'il contient des phosphates, son utilisation excessive pourrait entraîner un rejet de concentré avec une teneur élevée en phosphore, ce qui pourrait à son tour déclencher des proliférations d'algues dans la zone de rejet. Par conséquent, l'utilisation de cet inhibiteur de tartre par ailleurs populaire et efficace est limitée.

Il est important de sélectionner le bon inhibiteur de tartre pour l'application spécifique. Par exemple, la présence de fer dans l'eau source peut entraîner la précipitation et l'encrassement des membranes avec certains types d'antitartres (Z.Amjad , 1993)

III.3.3 Filtration granulaire

La filtration sur médias granulaires est le procédé de prétraitement de le plus couramment utilisé aujourd'hui pour les installations de dessalement par osmose inverse (RO). Ce procédé inclut la filtration de l'eau à travers une ou plusieurs couches de médias granulaires tels que le charbon d'antracite, le sable de silice et le grenat.

Les filtres conventionnels utilisés pour le prétraitement de l'eau salée sont généralement des unités rapides à un seul étage et à double média (anthracite et sable). Cependant, dans certains cas où l'eau de mer contient des niveaux élevés de matières organiques (concentration en carbone organique total supérieure à 6 mg/L) et de solides en suspension

(turbidité moyenne mensuelle supérieure à 20 NTU), des systèmes de filtration à deux étapes sont appliqués. Dans cette configuration, la première étape de filtration est principalement conçue pour éliminer les solides grossiers et les matières organiques en suspension. Les filtres de la deuxième étape sont configurés pour retenir les fines solides et le limon et pour éliminer une partie (20 à 40 pour cent) des matières organiques solubles contenues dans l'eau salée par biofiltration (Traitement De L'eau - Filtration Sur Lit Granulaire, 2019.).

La filtration sur médias granulaires est un processus cyclique qui intègre deux modes de fonctionnement séquentiels, la filtration et le retro lavage .

III.3.3.1 Traitement de l'eau brute (Filtration)

Au fur et à mesure que l'eau d'alimentation passe à travers le média filtrant, la teneur en solides et en limon de l'eau diminue. En général, des filtres fonctionnant correctement éliminent 90 à 99 % des solides et du limon contenus dans l'eau brute. Une partie des micro-organismes aquatiques présents dans l'eau brute est également retenue sur le média filtrant. Ces micro-organismes consomment une partie des matières organiques dissoutes dans l'eau brute (Kastl et al., 2020).

L'élimination des matières organiques par les filtres augmente avec la profondeur et la température, et diminue avec la baisse du taux de charge de surface.

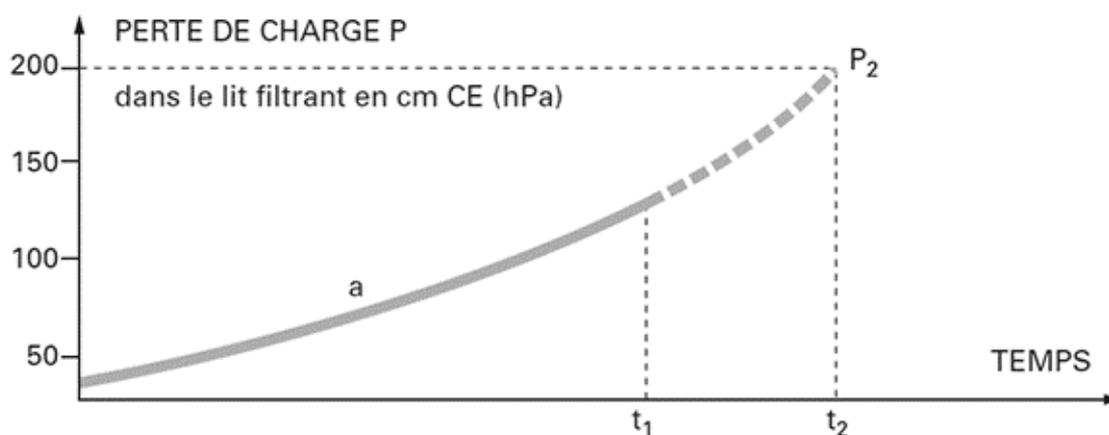


Figure III.2 : évolution de la perte de charge
(Traitement De L'eau - Filtration Sur Lit Granulaire, 2019.)

On établit le graphique donnant l'évolution de la perte de charge P en fonction du temps (courbe a sur la figure 14). Par construction, il existe une perte de charge maximale que le filtre ne pourra dépasser : par exemple $P_2 = 200$ hPa (2,00 m CE). Cette perte de charge est atteinte après un temps t_2 . (Traitement De L'eau - Filtration Sur Lit Granulaire, 2019.)

La plupart des filtres utilisés pour le prétraitement de l'eau salée fonctionnent à un débit de filtration constant, ce qui signifie que la pression d'alimentation de ces filtres augmente au

cours du cycle de filtration pour compenser les pertes de charge dans le lit filtrant causées par l'accumulation de solides, et une fois que les pertes de charge dans le lit filtrant atteignent le niveau maximum, le filtre est mis hors service et un rétro lavage du média filtrant est activé. Un cycle de filtration typique dure de 24 à 48 heures. Les filtres plus profonds, avec une plus grande surface, ont une capacité supérieure à retenir les solides et, par conséquent, ont généralement des cycles de filtration plus longs (Kastell et al., 2020).

III.3.3.2 Rétro lavage du média filtrant

Lors du rétro lavage, l'eau de lavage remonte à travers les filtres, nettoie les grains du média filtrant, élimine les solides accumulés sur ceux-ci, dilate le lit filtrant et transporte les solides éliminés vers les rigoles de rétro lavage. D'après l'expérience, il est connu qu'il est difficile de rétro laver les grains de média filtrant de taille inférieure à 0,8 mm avec de l'eau uniquement. Par conséquent, à l'heure actuelle, un rétro lavage typique comprend une combinaison ou une séquence de lavage à l'air et à l'eau.

L'air crée une turbulence plus importante et améliore le nettoyage des particules. La durée des cycles de rétro lavage à l'eau et à l'air dépend de la teneur en solides de l'eau brute et est généralement comprise entre 5 et 8 minutes (Backwash Water Filter System, Backwashing Filters, Multimedia Filters – Intec America, 2022)

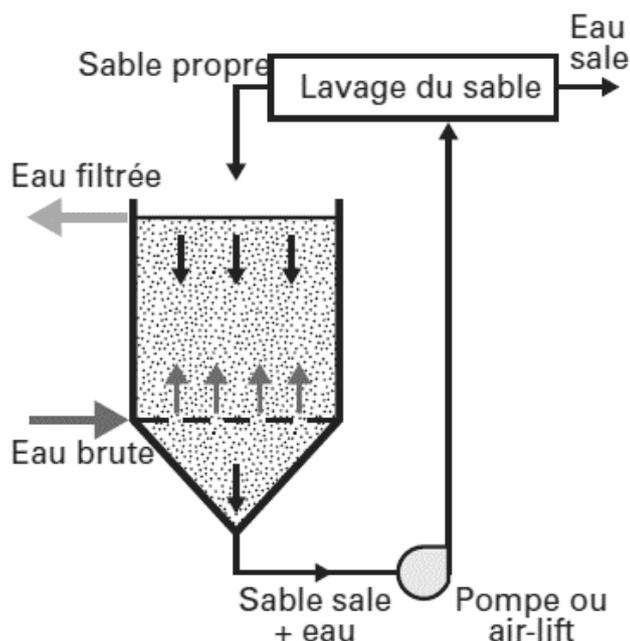


Figure III.3 : Schéma de principe d'un filtre continu. Exemple d'un filtre à circulation extérieure du sable (Kastl et al., 2020)

III.3.3.3 Les cellules de filtration

Un système de filtration sur médias granulaires typique se compose d'un certain nombre d'unités individuelles (cellules ou cuves) qui fonctionnent en parallèle. Le nombre de cellules

de filtration dépend principalement du débit total que les filtres sont conçus pour gérer. Le coût de construction du système de filtration est généralement réduit lorsque moins de cellules individuelles sont utilisées (Cescon & Jiang, 2020) .

Cependant, le nombre minimum de filtres est limité par les facteurs clés suivants :

- la taille maximale pratique du lit filtrant individuel 100 à 150 m² ,des lits plus grands risquent de donner lieu à un rétro lavage non uniforme
- l'augmentation de la vitesse de filtration des filtres restant en fonctionnement lorsqu'un ou deux filtres sont en mode de rétro lavage
- la configuration du système d'osmose inverse, c'est-à-dire le nombre de trains individuels et le mode de fonctionnement prévu de l'usine de dessalement.

III.3.3.4 Média Filtrant

Le type, l'uniformité, la taille et la profondeur du média filtrant sont d'une importance pour les performances des filtres de prétraitement. Les filtres à double média comportent deux couches de média filtrant - un design typique comprend 0,4 à 0,8 m d'antracite ou de ponce sur 0,4 à 2 m de sable.

Et pour les filtres à tri-média, ils ont de 0,45 à 0,60 m d'antracite ou de ponce comme couche supérieure, de 0,2 à 0,4 m de sable comme couche intermédiaire, et de 0,10 à 0,15 m de grenat ou de limonite comme couche inférieure. Ces filtres sont utilisés si l'eau source contient une grande quantité de limon fin ou subit des proliférations algales dominées par des pico plantes et des microalgues (0,5 à 20 µm). La densité du média filtrant varie comme indiqué dans le tableau.

Tableau III.2: Caractéristiques typiques des médias filtrants (Voutchkov, 2012)

Type de grain	Taille de grain effective mm	Densité spécifique, tonnes/m ³	Coefficient d'uniformité
Ponce	0.8–2.0	1.2	1.3–1.8
Antracite	0.8–2.0	1.4–1.7	1.3–1.8
Sable de silice	0.4–0.8	2.60–2.65	1.2–1.6
Grenat	0.2–0.6	3.5–4.3	1.5–1.8

La profondeur du lit filtrant est généralement fonction de la taille du média et suit le rapport entre la profondeur du lit filtrant (en millimètres) et la taille effective de particule de média

filtrant de (en millimètres) devrait être dans une plage de 1000 à 1500. Par exemple, si la taille effective du média d'antracite est choisie pour être de 0,65 mm, la profondeur du lit d'antracite devrait de préférence être de $0,65 \times 1500 = 975$ mm, soit environ 1 m (MECC, Lenntech,).

III.3.3.5 Support des médias et système de drainage

système de drainage inférieur du filtre. Il existe actuellement deux types de systèmes de drainage inférieur largement utilisés : les drains inférieurs en bloc et les drains inférieurs à faux fond avec buses.

Le type de drain inférieur à buses est largement utilisé pour les applications de dessalement. Dans ce système, les buses pénètrent dans le fond du drain inférieur et leur fonction principale est de collecter uniformément l'eau filtrée pendant le cycle de filtration et de distribuer plus uniformément l'eau de lavage pendant le cycle de lavage. Les systèmes de drain inférieur en bloc sont construits à partir de blocs en plastique moulés légers (généralement en polyéthylène haute densité) (Water Technologies; Westech Engineering Inc).

III.3.3.6 Filtres à un ou deux étages

Les filtres à deux étages sont généralement utilisés lorsque l'eau brute contient des niveaux élevés de turbidité (généralement supérieurs à 20 NTU) et de matières organiques (TOC > 6 mg/L) pendant de longues périodes (semaines ou des mois). De telles conditions se produisent dans les zones d'admission des usines de dessalement exposées à des épisodes prolongés de prolifération d'algues (qui peuvent parfois durer plusieurs mois) ou situées dans des estuaires de rivière exposés à des niveaux élevés de turbidité pendant la saison des pluies de l'année (Kim et al., 2020).

Les avantages des filtres à deux étages c'est qu'ils peuvent gérer des fluctuations plus importantes de la turbidité de l'eau brute d'admission en raison du volume total plus important du média filtrant et de la capacité de rétention des solides ; et lorsque les filtres de deuxième étage sont conçus comme des filtres à lit profond (plutôt que des filtres à lit peu profond), ils peuvent permettre une élimination améliorée du TOC par biofiltration. Alors que les filtres à lit double simple de profondeur typique peuvent généralement éliminer 20 à 30 % du TOC contenu dans l'eau de mer brute, les systèmes à deux étages avec des filtres de deuxième étage profonds peuvent atteindre 40 à 60 % d'élimination du TOC, principalement grâce à une coagulation améliorée des particules fines et à la biofiltration.

III.3.3.7 Performance d'un filtre granulaire

Élimination des solides : L'objectif de ces filtres n'est pas seulement de retirer plus de 99 % de tous les solides en suspension dans l'eau brute, mais aussi de réduire considérablement la quantité de particules de silt beaucoup plus fines, souvent de plusieurs ordres de grandeur. Par conséquent, la conception de ces installations est généralement dictée par la valeur cible

de l'indice de saleté colloïdale (SDI) de l'effluent du filtre, plutôt que par des objectifs de turbidité ou de taux de suppression des agents pathogènes (Kim et al., 2020).

Élimination des matières organiques : Les filtres à double média à gravité et sous pression typiques, avec une profondeur de lit filtrant conventionnelle de 1,0 à 1,4 mètre, ont un taux d'élimination des matières organiques relativement faible, de 15 à 20%. Cependant, ce taux d'élimination augmente considérablement avec la profondeur et peut atteindre 25 à 35% pour les filtres avec une profondeur totale de lit filtrant de 2 mètres ou plus. Si une couche de charbon est installée sur le dessus du lit filtrant (au-dessus de la couche d'antracite), le taux d'élimination des COV du filtre peut être augmenté à 40 à 50% (GHERAIRI et al., 2011).

Élimination des microorganismes : Les algues ne sont pas bien éliminées par les médias filtrants de sable conventionnels d'une taille de 0,4 à 0,6 mm (400 à 600 μm) et nécessitent l'installation d'une troisième couche de médium filtrant plus fin. Selon la taille du médium et les algues dominantes dans l'eau source, l'élimination des algues peut généralement varier entre 20 % - 90% (GHERAIRI et al., 2011).

III.3.4 Prétraitement par les procédés membranaires

Les polluants particuliers, colloïdaux et certains polluants organiques contenus dans l'eau peuvent être éliminés avec succès en utilisant un prétraitement par microfiltration (MF) ou ultrafiltration (UF). Selon la force (pression ou vide) qui entraîne le processus de filtration, les systèmes de prétraitement par membrane sont classés comme pressurisés (entraînés par pression) ou immergés (entraînés par vide). Selon la taille des pores de la membrane, les systèmes de membranes utilisés pour le prétraitement sont classés comme microfiltration (pores de 0,04 μm) ou ultrafiltration (pores de 0,02 μm) (Membracon, 2024).

III.3.4.1 Les procédures de filtration

Tous les processus de prétraitement par membrane ont quatre modes opérationnels :

1. La filtration : La filtration membranaire de l'eau de mer se déroule pendant la phase de filtration. Selon le produit et la configuration spécifiques de la membrane, le processus de filtration peut se dérouler en mode flux direct ou en mode flux tangentiel (cross-flow). En mode flux direct, toute l'eau de source passe à travers les membranes. En mode flux tangentiel, seule une partie du flux (typiquement 90 à 95 %) passe à travers les membranes, tandis que le flux restant (rejet) circule le long du côté alimentation des membranes; son mouvement le long de la surface de la membrane génère une vitesse de qui évacue les solides retirés de l'eau salée hors de la membrane

Les deux paramètres de performance des membranes les plus importants associés au cycle de filtration des systèmes de prétraitement par membrane sont le flux de membrane et la pression transmembranaire (PT)

- **Le flux de membrane :** c'est le volume d'eau prétraitée produit par une unité de surface de membrane. Ce paramètre est généralement mesuré en ($\text{L}/\text{m}^2\cdot\text{h}$).

L'accumulation de solides sur la surface de la membrane et dans les pores (encrassement de la membrane) augmente avec l'augmentation du flux.

- **la pression transmembranaire** : c'est la différence entre la pression d'alimentation et la pression du filtrat du système de prétraitement. Cette pression entraîne le flux à travers les membranes et est donc directement liée au flux de membrane. La PT a également un impact sur l'encrassement des membranes et la durée du cycle de filtration (Moresoli, 2000).

Tout comme pour les membranes d'osmose inverse, un autre paramètre de performance important associé au cycle de filtration est la perméabilité de la membrane, qui est définie comme le rapport entre le flux de la membrane et la pression transmembranaire. La perméabilité de la membrane est mesurée en Lmh/bar (litres par mètre carré par heure par bar). La plupart des éléments de membranes de microfiltration (MF) et d'ultrafiltration (UF) utilisés pour le prétraitement de l'eau salée fonctionnent avec une perméabilité de membrane comprise entre 75 et 500 Lmh/bar (Huisman et al., 1997) .

2. Le retro lavage : Pendant le mode de filtration, les solides filtrés s'accumulent sur le côté alimentation de la surface de la membrane. Ces solides sont périodiquement éliminés du système de filtration par un retro lavage avec de l'eau filtrée ou du concentré. qui généralement déclenché par une minuterie et se produit toutes les 30 à 120 minutes pendant environ 30 à 60 secondes. Il peut également être initié lorsque la pression transmembranaire atteint un certain seuil maximum, au-delà duquel le système de membranes ne peut plus fonctionner au flux cible et à la qualité de l'eau filtrée. Si le seuil de PT est dépassé, la capacité de production du système de membranes diminue généralement, la qualité de l'eau filtrée se détériore et les membranes peuvent être exposées à un colmatage irréversible.

Le retro lavage air-eau est principalement destiné à éliminer les particules du système de prétraitement des membranes et n'implique pas l'utilisation de produits chimiques de nettoyage. Cependant, au fil du temps, la surface de la membrane accumule également des dépôts organiques et des biofilms. Ce type d'encrassement des membranes est contrôlé par un retro lavage chimiquement amélioré, également appelé lavage de maintenance, qui est généralement pratiqué une ou deux fois par jour, les membranes sont trempées pendant plusieurs minutes dans du chlore et parfois d'autres produits chimiques de nettoyage (acides, alcalis ou bisulfite de sodium) puis retro lavées (Voutchkov, 2012).

3. Le nettoyage : Le nettoyage des membranes est généralement nécessaire tous les 1 à 3 mois et s'effectue en utilisant une combinaison de solution à pH bas de l'acide citrique ou sulfurique, suivie d'une solution à pH élevé d'hydroxyde de sodium et d'hypochlorite de sodium. Les produits chimiques de nettoyage sont recirculés à travers les membranes pendant une période de 8 à 24 heures, puis les membranes sont rincées et remises en

fonctionnement normal. Selon la nature de l'encrassement, d'autres produits chimiques de nettoyage (biocides) peuvent être utilisés pour traiter des composés spécifiques d'encrassement (par exemple, huile et graisse, croissance biologique excessive, etc.) (Jirjis & Luque, 2010) .

4. Test d'intégrité : Tous les systèmes de prétraitement par membrane sont équipés de fonctionnalités de test d'intégrité qui permettent de détecter les ruptures occasionnelles ou les perforations dans les fibres ou feuilles de membrane ; les fissures dans les modules de membrane, les tuyauteries et les raccords ; et d'autres problèmes qui pourraient survenir pendant la production, l'installation ou le fonctionnement de la membrane. Le test d'intégrité du système de membrane le plus largement utilisé est un test de maintien de pression et de visualisation effectué lorsque le système est hors ligne (Jirjis & Luque, 2010) .

La méthode la plus populaire pour la surveillance en ligne de l'intégrité est la mesure continue de la turbidité de l'effluent pour les modules de membrane individuels (trains) composant le système de membrane. Habituellement, une rupture d'intégrité dans un train ou un module donné dans un système de prétraitement par membrane est identifiée en comparant la turbidité de l'effluent de ce train ou module à la turbidité moyenne des autres modules (Guo et al., 2010) .

III.3.4.2 Types et Configurations des Filtres

Selon le type de force de filtration motrice, les filtres de prétraitement par membrane sont divisés en deux catégories : pressurisés et immergés.

- **Systèmes de Membranes Pressurisés**

Les systèmes de MF et UF pressurisés comprennent des éléments de membrane installés dans des cuves sous pression, regroupées dans des racks (trains) similaires à ceux des systèmes RO.

Actuellement, pratiquement tous les principaux fournisseurs de membranes proposent des systèmes de MF et UF pressurisés. Selon la direction de l'écoulement de l'alimentation à travers la membrane, les systèmes à commande par pression sont divisés en systèmes à flux extérieur et à flux intérieur, l'eau de source est distribuée autour des fibres du filtre, et après avoir traversé la membrane, l'eau filtrée est collectée à travers le lumen de la fibre. Dans les systèmes intérieur, l'eau de source est introduite dans le lumen du filtre et est collectée à l'extérieur des fibres (Pressure-Driven Membrane Filtration Processes, 2020).

En général, les systèmes extérieur sont plus difficiles à nettoyer avec un lavage à l'eau uniquement, nécessitant un lavage à l'air pour atteindre le même niveau de récupération de productivité que les systèmes intérieur. De plus, les systèmes extérieur fonctionnent soit à

des pressions d'alimentation plus élevées pour le même flux de conception que les systèmes intérieur, soit à des flux plus bas à la même PT de conception.

- Systèmes de Membranes Submergées

Tous les systèmes submergés sont des systèmes à flux extérieur, dans lesquels l'eau filtrée est transportée dans les fibres par le vide appliqué. Les modules de membrane sont généralement installés dans des cuves en béton ou en métal et sont conçus pour être relativement faciles à retirer pour inspection. Chaque cuve peut être exploitée individuellement et retirée du service pour nettoyage, inspection et maintenance. Habituellement, les cuves sont ouvertes à l'air ; elles peuvent être installées sous un abri léger pour protéger directement les membranes et l'équipement contre la lumière du soleil.

Les systèmes de membranes submergées sont généralement plus avantageux pour traiter l'eau de mer de source présentant une turbidité variable, telle que les eaux de surface d'admission qui subissent des fluctuations de turbidité fréquentes de 20 NTU ou plus .

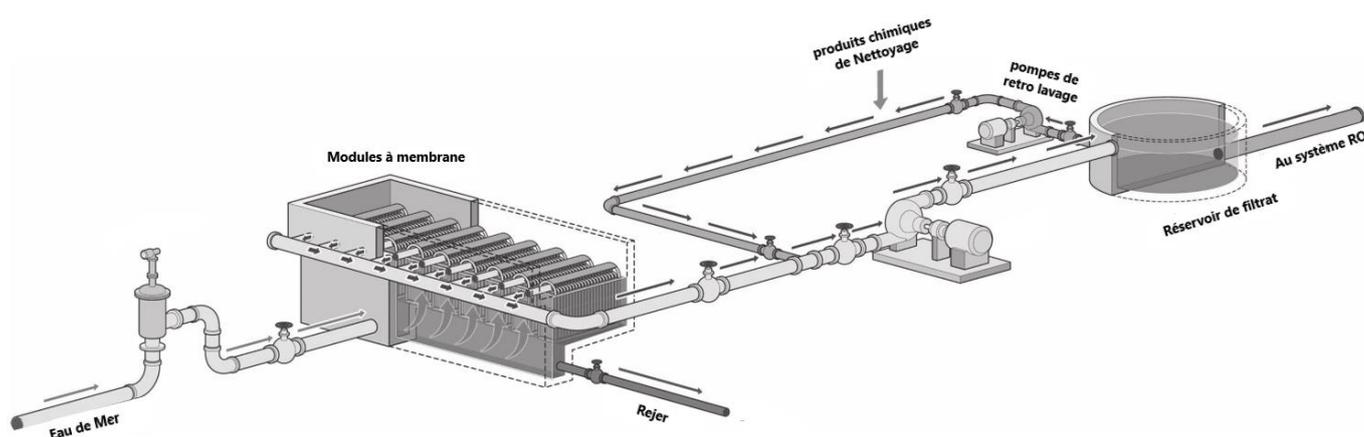


Figure III.4 : Schéma général d'un système de prétraitement à membrane immergée(Voutchkov, 2012).

III.3.5 Conclusion

Les technologies de filtration par membrane présentent de nombreux avantages par rapport aux systèmes de filtration par média granulaire conventionnels. Cependant, la filtration par média granulaire est une technologie de prétraitement bien comprise et largement utilisée, avec un historique prouvé, et elle possède un certain nombre de caractéristiques qui peuvent la rendre compétitive en termes de coûts dans des circonstances spécifiques. Par conséquent, le choix de la technologie de filtration pour le prétraitement de l'eau salée devrait être basé sur une analyse coûts-avantages sur le cycle de vie.

CHAPITRE IV:
PRÉSENTATION DE LA ZONE
D'ÉTUDE ET LA STATION DE
DESSALEMENT MAGTAA

IV.1 Introduction

Ce chapitre présente la zone d'étude . Il décrit la localisation géographique, les conditions climatiques et hydrologie , ainsi les principales caractéristiques techniques de la station de dessalement de MAGTAA ces installation, son organisation et ses procédés.

IV.2 La localisation géographique

La wilaya d'Oran est une des plus importantes métropoles du Maghreb et constitue la deuxième ville d'Algérie, géographiquement située au nord-ouest de l'Algérie, Oran se trouve au fond d'une baie ouverte au nord sur le golfe d'Oran. Son relief est composé d'une bordure côtière, de collines, d'une basse plaine littorale et d'un plateau, à une altitude moyenne d'environ 60 mètres .

Voici un aperçu de sa localisation et de ses caractéristiques géographiques :

Situation géographique : Oran est située au nord-ouest de l'Algérie, à 432 km de la capitale, Alger, et en bordure du golfe d'Oran. Elle s'étend sur une superficie de 2 114 km².

Bordures :

Au nord : Mer Méditerranée

Au sud : Wilaya de Mascara

À l'ouest : Wilaya d'Aïn Témouchent

Au sud-ouest : Wilaya de Sidi Bel Abbés

À l'est : Wilaya de Mostaganem

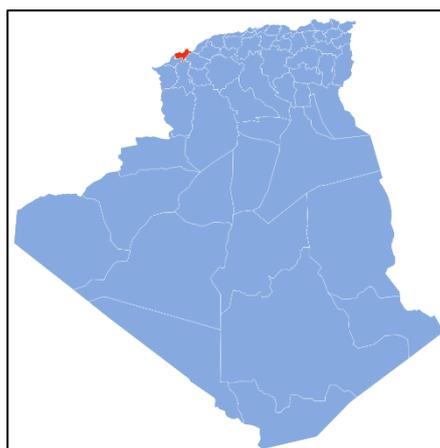


Figure IV.1 : Carte de l'Algérie mettant en évidence Oran
Coordonnées: 35 ° 42'N 0°38'O

Magtaa est une zone géographique se trouve à environ 50 km à l'est d'Oran et à 40 km à l'ouest de Mostaganem , La région est connue pour ses marais, notamment les marais de la Macta, qui sont une zone humide importante sur le littoral algérien. Le cours d'eau qui traverse cette région, l'oued Macta, est formé par la confluence de deux rivières, le Sig et l'Habra, et se jette dans la mer Méditerranée (Ghodbani & Amokrane, 2013) .

IV.3 Aspect Administratif

La wilaya d'Oran est structurée en neuf daïras, qui regroupent un total de vingt-six communes. Elle est également intégrée dans l'agence de bassin de la région de l'Oranie. Voici le découpage administratif :

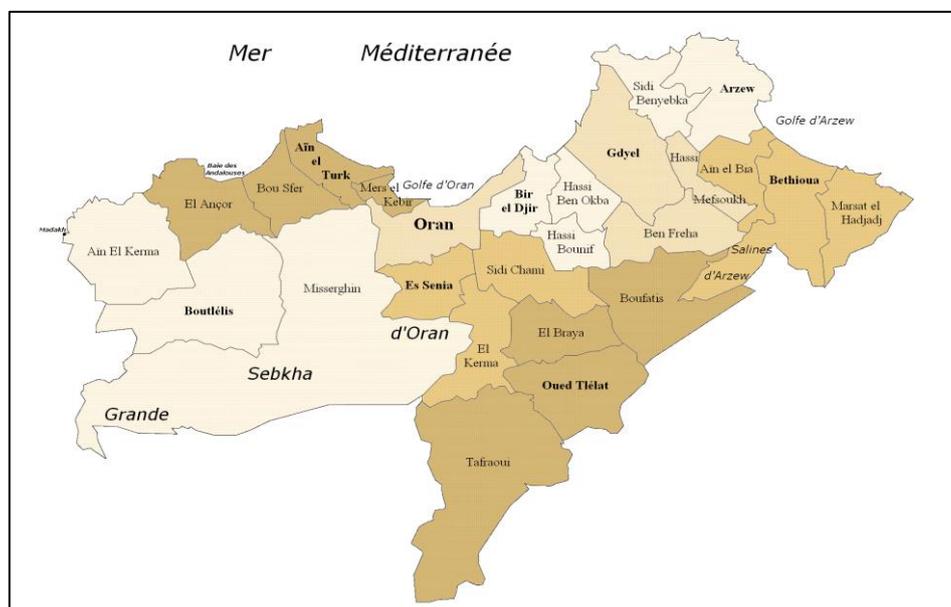


Figure IV.2: Découpage administratif de la ville d'Oran

IV.4 Situation climatique

Oran bénéficie d'un climat méditerranéen marqué par une sécheresse estivale, des hivers doux, un ciel lumineux et dégagé. Pendant les mois d'été, les précipitations deviennent rares voire inexistantes. L'anticyclone subtropical recouvre la région oranaise pendant près de quatre mois, avec une température moyenne de 25°C. En revanche, la région est bien arrosée en hiver, les pluies pouvant être abondantes voire torrentielles .

Le climat à Oran tend à être tempéré, avec de longs étés chauds et humides. L'hiver concentre les 3/4 des précipitations annuelles .

Cependant, les prévisions climatiques supposent que la température de la région méditerranéenne pourrait augmenter de 4°C vers la fin de ce siècle, avec une diminution des précipitations annuelles . Oran devra donc faire face à d'importants changements climatiques dans les prochaines années (Benabdeli, K. 2018).

IV.4.1 Pluviométrie

Le tableau présente les données de précipitations mensuelles pour Oran en 2022. Les colonnes montrent le cumul des précipitations (en mm), le maximum des précipitations en 24 heures, le maximum des précipitations en 5 jours consécutifs, et la moyenne des jours avec des précipitations supérieures ou égales à 1 mm (Climatologie De L'année 2022 À Oran / Es Senia - Infoclimat,2022.)

Tableau IV.1: les données de précipitations mensuelles en (mm) pour Oran en 2022 (Climatologie De L'année 2022 À Oran / Es Senia - Infoclimat,2022.)

	Jan-2022	Feb-22	Mar-22	Apr-22	May-22	Jun-22	Jul-22	Aug-22	Sep-22	Oct-22	Nov-22	Dec-22
Cumul Précips	9,9	10,6	77,5	21,4	28,0	8,1	0,0	0,6	2,3	0,5	11,4	17,1
Max en 24h de précips	7	7	18	6	18	7	0.1	0.6	0.9	0.3	9	12
Max en 5j de précips	7,9	7,9	37,2	11,0	28,0	8,0	0.1	0,6	1,3	0,3	11,2	13,4
Moyenne ≥ 1 de précips	4,5	3,0	7,6	2,9	9,3	4,0					5,5	4,0

L'année 2022 à Oran a montré une répartition inégale des précipitations, avec des mois d'hiver et de printemps pluvieux et des mois d'été très secs

IV.4.2 Température

Selon la classification de Köppen, la wilaya d'Oran présente un climat méditerranéen chaud, caractérisé par des étés secs et des hivers doux. La température moyenne du mois le plus chaud, en juillet, atteint 32 °C, tandis que celle du mois le plus froid, en janvier, descend à 5.8 °C

Tableau IV.2: les données de température mensuelles en (°C) pour Oran en 2023 (Climatologie De L'année 2023 À Oran / Es Senia - Infoclimat,2022.)

	Jan-2023	Feb-23	Mar-23	Apr-23	May-23	Jun-23	Jul-23	Aug-23	Sep-23	Oct-23	Nov-23	Dec-23
Tempé. Maxi	17,3	18,8	22,9	26,0	25,8	32,4	35,5	33,9	29,2	28,1	23,3	19,7
Tempé. Moy	11,6	13,2	16,0	18,7	20,3	25,8	29,3	27,3	24,1	22,1	16,9	13,2
Tempé. Mini	5,8	7,6	9,1	11,4	14,7	19,1	23,0	20,8	18,9	16,2	10,4	6,8

IV.4.3 Le vent

Le régime climatique se caractérise aussi par des vents qui n'apportent généralement que peu d'humidité. Lors de leur passage sur les reliefs marocains et espagnols, ces vents perdent une grande partie de leur humidité.

Les vents ont une vitesse moyenne de 16,65 Km/h. Cette dernière est plus élevée en mois de (Mai, Juin, Juillet) avec plus de 18,5 Km/h et moins élevée durant les mois d'hiver avec 12,95 à 16,65 Km/h. La direction dominante des vents est Ouest-Sud-Ouest(Benabdeli, K. 2018).

IV.5 Données naturelles du région

La ville d'Oran, située au nord-ouest de l'Algérie, présente un relief varié avec une altitude moyenne d'environ 109 mètres. Elle est dominée à l'ouest par la montagne de l'Aïdour, qui

atteint 420 mètres d'altitude, et est bordée au sud par le plateau de Moulay Abdelkader al-Jilani.

Relief et Altitude

- Altitude moyenne : 109 mètres
- Secteur Sud-Ouest : altitude moyenne de 116 mètres, légèrement inclinée vers le centre, où l'altitude descend à environ 100 mètres.
- Secteur Nord-Est : commence à une altitude d'environ 135 mètres, se dirigeant vers le centre-ville avec des pentes variées.

Oran est également caractérisée par sa position géographique au fond d'une baie, ouverte au nord sur le golfe.

IV.5.1 Présentation géologique de la région

La zone d'étude mentionnée est intégrée dans la chaîne côtière, une entité géographique qui s'étend le long de la côte méditerranéenne. Cette région est délimitée au sud par des hautes plaines et des hauts plateaux, et elle fait partie de l'orogénèse alpine, caractérisée par la présence de nappes d'âge Miocène.

Morphologie régionale

La morphologie de cette région présente deux sillons distincts :

- **Sillon littoral septentrional** : Ce sillon est situé dans la plaine des Andalouses. Il est étroit et a été disloqué par des effondrements quaternaires, notamment le graben de Mers El Kebir. Ce sillon se prolonge vers l'est par les plateaux de Mostaganem.
- **Sillon médian** : Ce plateau, qui inclut le plateau d'Oran et la Grande Sebka, prolonge vers l'ouest le sillon du bassin du Chellif. Ce sillon médian est un élément clé de la morphologie régionale, influençant les caractéristiques géologiques et hydrologiques de la zone.

IV.5.2 Environnement hydrogéologique d'Oran

Les principales formations aquifères de la région d'Oran, des plus récentes aux plus anciennes, sont (Bellaredj, 2016) :

- **Dépôts du Mio-Pliocène, Calabrien et Quaternaire** : Ensemble des dépôts situés au sud d'Oran, comprenant des formations aquifères du Mio-Pliocène, du Calabrien (Pléistocène inférieur) et du Quaternaire.
- **Calcaires du Miocène supérieur** : Calcaires du Miocène supérieur du massif du Murdjadjo, présentant des faciès variés (schistes altérés, calcschistes et calcaires marmoréens) et passant d'est en ouest à des formations de plus en plus carbonatées.
- **Formations du Calabrien** : Zones d'affleurement du Calabrien (Pléistocène inférieur) à l'est et au sud-est d'Oran.

La nappe phréatique dans la région d'Oran est de type libre. Elle peut être semi-captive dans les zones de recouvrement argileux présent au toit de la nappe.

Les alluvions quaternaires de la Grande Sebkha d'Oran renferment des nappes phréatiques alimentées par leur propre impluvium et par les infiltrations des oueds.

Les variations brusques des valeurs de résistivités ont montré que la zone est affectée par de nombreux accidents qui seraient le siège de venues d'eau souterraine. Il existerait un système de failles profondes, associé à une fissuration intense, favorisant des échanges verticaux avec l'aquifère multicouche du Plio-Quaternaire (Foukrache & Mansour, 2017).

IV.5.3 Situation hydraulique

IV.5.3.1 Ressources conventionnelles

La région d'Oran présente un réseau hydrographique peu développé, en grande partie en raison de son appartenance au bassin endoréique de la Sebkha d'Oran, qui possède une ressource en eau riche mais salée. Pour répondre aux besoins en eau de la ville, plusieurs transferts régionaux sont mis en place, notamment (Barrage de Fergoug , Barrage de Beni Bahdel ,Prise de Chellif (Couloir MAO) transfert d'eau. capable de fournir 350 000 m³/j)

IV.5.3.2 Ressources non conventionnelles

En plus des ressources conventionnelles, la région utilise des ressources non conventionnelles, notamment des stations de dessalement. Par exemple, la station de dessalement Kahrama a une capacité de 90 000 m³/j , la station de dessalement el magtaa d'une capacité de 500 000 m³/j , et d'autres stations comme celle de Chatt El Hillah peuvent produire jusqu'à 70 000 m³/j.

IV.6 Présentation de la Station de Dessalement d'Eau de Mer de Magtaa

Le site de la station de dessalement d'Eau de Mer de Magtaa (SDEMM) est stratégiquement situé sur la côte méditerranéenne, dans la wilaya d'Oran, précisément dans la Daïra de Béthioua et la Commune de Mers El Hadjadj. Il se trouve à environ 3 km du centre de Mers El Hadjadj, 48 km à l'est d'Oran, et 30 km à l'ouest de Mostaganem.

IV.6.1 Limites géographiques

Le site est délimité par plusieurs caractéristiques géographiques :

- Au Nord : La voie ferrée et le Lac Magtaa
- À l'Est : Domaine forestier
- À l'Ouest : Terrains agricoles non cultivés et habitations
- Au Sud : Route nationale N°11 et conduite d'eau potable reliant Oran à Mostaganem

IV.6.2 Proximité avec la zone industrielle

La SDEMM est également située à seulement 5 km de la zone industrielle d'Arzew, qui est un pôle industriel majeur dans la région, englobant plusieurs communes, dont Arzew, Ain El Bia, Béthioua et Mers El Hadjadj. Cette zone est connue pour sa forte activité industrielle, notamment dans le secteur pétrolier et chimique, et a vu l'implantation de plusieurs stations de dessalement à proximité.

Tableau IV.3 : Carte technique de la station TMM (Annexe 2A ,TMM)

Société de projet	TMM SPA TahlyatMyah Magtaa
Capacité	500.000m ³ par jours
Localisation	Commune de Mers El Hadjadj Wilaya d'Oran
Terrain d'assiette de l'usine	25,81ha
Base logistique	13ha
Destination de l'eau produite	<ul style="list-style-type: none"> - Wilaya d'Oran - Wilaya de Mascara - Wilaya de Mostaganem - Wilaya de Relizane
Coût de l'investissement	492millionsUSD
Structure capitale (Actionnaires)	<p>43% AEC</p> <p>47% Hyflux</p> <p>10% ADE</p>
Acheteur de l'eau produite	<p>SONATRACH et ADE</p> <p>(Avec un contrat de 25ans)</p>
Constructeur	HYFLUX ENGINEERING ALGERIA EURL
Equipement	HYDROCHEM(S)PTELTD (HYFUX)
Exploitant	TMM SPA depuis AVRIL 2021
Prêteur	BNA (Banque Nationale d'Algérie)
Date de commencement des travaux	Avril 2009
Essais de mise en service	Du 30/10/2014 au 07/05/2015
Prix dem³ de l'eau	0,5577USD(≈35DZD)
Capacité d'électricité	220Kv



Figure IV.4: Photo aérienne de la présentation spatiale de TMM(google earth)

Légende :

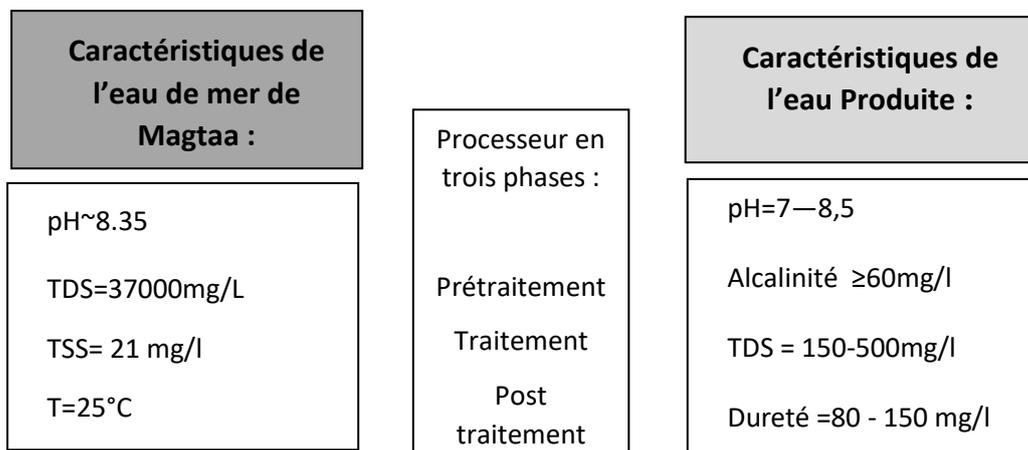
1. Zone de captage d'eau d' mer
2. Station de pompage d'eau d' mer
3. Ultrafiltration (UFStream2)
4. Ultrafiltration (UF Stream 1)
5. Bâtiment d'osmose inverse (RO Stream 2)
6. Bâtiment d'osmose inverse (RO Stream 1)
7. Réservoir d'ultrafiltration (UFtank1)
8. Station de pompage d'eau filtré (ROFeed1)
9. Réservoir d'ultrafiltration (UFtank2)
10. Station de pompage d'eau filtré (ROFeed2)
11. Zone de production de fleur de chaux et dioxyde de carbone
12. Réservoir d'eau potable (O2tank Stream 1)
13. Réservoir d'eau potable (O2tank Stream 2)
14. Zone de pompage d'eau produite

La station de dessalement d'eau de mer de Magtaa (SDEMM) est conçue pour produire jusqu'à 500 000 m³/jour d'eau potable, répartis en quatre unités de production indépendantes de 125 000 m³/jour chacune. Chaque unité est divisée en deux lignes de production similaires, appelées Stream 1 (côté sud) et Stream 2 (côté nord), qui fonctionnent de manière autonome avec quelques systèmes communs (Khareze & Sabrine, 2021)

La SDEMM utilise un système d'exploitation de type "N+1", où "N" représente le nombre de machines nécessaires au fonctionnement et "+1" une machine de réserve en cas de panne. Ce système redondant garantit une production continue même en cas de défaillance d'un équipement, assurant ainsi une fiabilité optimale.

IV.7 Caractéristiques physico-chimiques de l'eau de mer Magtaa

L'eau produite par la station de dessalement d'eau de mer de Magtaa (SDEMM) doit répondre à des normes de qualité strictes pour être considérée comme potable. Ces normes incluent les recommandations de l'Organisation mondiale de la santé (OMS) ainsi que la Norme Algérienne NA6360. Voici les exigences qualitatives essentielles pour l'eau potable :



IV.7.1 Le fonctionnement de la station de dessalement magtaa

La chaîne de traitement de l'eau de mer dans la station de dessalement de Magtaa repose sur trois étapes principales. Elle débute par un prétraitement, comprenant une filtration grossière et des membranes d'ultrafiltration basse pression. L'eau est ensuite traitée par osmose inverse, avant de passer par un post-traitement

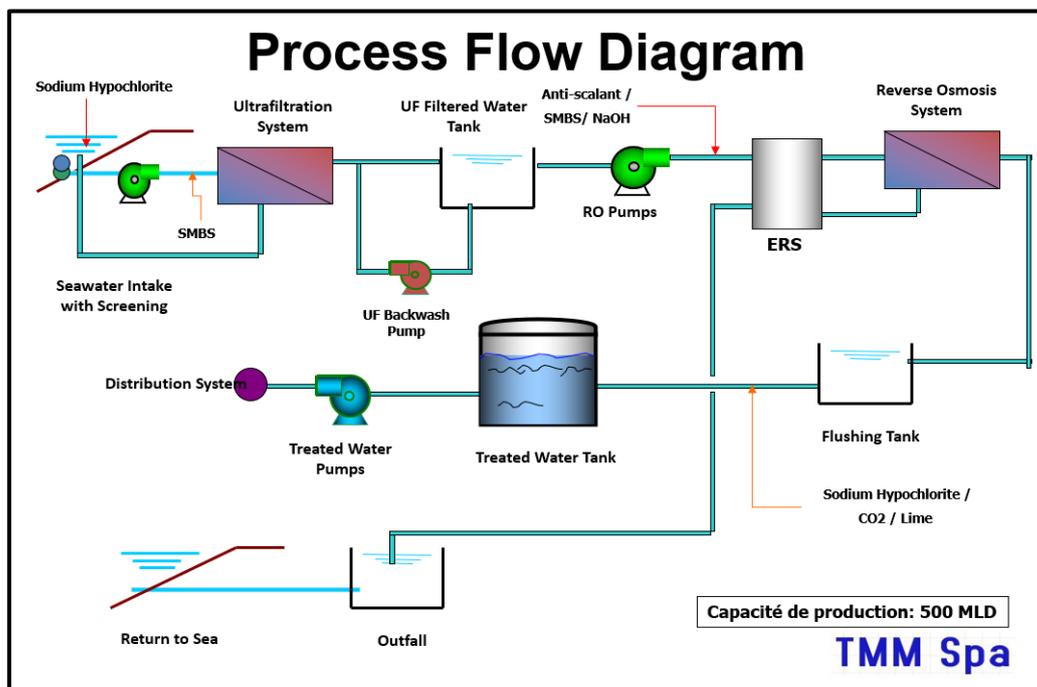


Figure IV.6 : schéma de procédé de la station de Magtaa(Annexe 2A ,TMM)

IV.7.1.1 Prétraitement

La première étape du prétraitement dans l'usine repose sur le dégrillage et le tamisage. L'eau de mer est captée à partir de trois tours situées à 1,200 km de la station

A. Dégrillage/Tamisage :

le dégrillage et le tamisage. est acheminée par gravité via trois pipelines en béton de 2,5 m de diamètre jusqu'à un bassin de 11 m de hauteur. La filtration débute par quatre grilles grossières (Coarse Bar Screens - CBS) qui éliminent les grosses impuretés, telles que les coquillages et crustacés de plus de 1 cm. Ensuite, quatre grilles fines (Travelling Band Screens - TBS) retiennent les impuretés moyennes de plus de 0,2 mm (Khareze & Sabrine, 2021) .

B. Pompage d'eau de mer :

Le système de dégrillage et tamisage est connecté à une station de pompage d'eau de mer équipée de cinq pompes. Chaque pompe à une pression maximale de 7 bars et un débit nominal de 15 900 m³/h. Deux pompes sont dédiées à la ligne de production Stream 1, deux autres à Stream 2, et une cinquième pompe est en réserve (stand-by) pour assurer la continuité en cas de défaillance.



Figure IV.7 : La zone de prétraitement (INTAKE).

- **Ultrafiltration -UF:**

L'ultrafiltration est une méthode de séparation des particules présentes dans un liquide à l'aide de membranes semi-perméables, dont les pores mesurent entre 0,001 et 0,1 micromètre. Dans le cadre du traitement de l'eau de mer, celle-ci est acheminée vers les bâtiments d'ultrafiltration (UF) grâce à une station de pompage. Chaque bâtiment d'ultrafiltration comporte 5 ensembles (Banks), chaque ensemble étant composé de 10 trains. Ainsi, Stream 1 et Stream 2 comptent respectivement 50 trains de membranes UF chacun. La filtration s'effectue verticalement, du bas vers le haut, nécessitant une pression de fonctionnement comprise entre 2 et 2,5 bars pour garantir son efficacité.

Pour prévenir le colmatage des membranes, un système de nettoyage automatique des trains d'ultrafiltration (UF) est activé toutes les 12 heures, avec une durée de 25 minutes par train.



Figure IV.8 : Ultrafiltration -UF

- **Lavage chimique (CIP - Cleaning In Place) :**

Le processus de nettoyage chimique (CIP) consiste en un nettoyage automatique des membranes à l'aide de produits chimiques et de solutions de rinçage, visant à éliminer les impuretés telles que les matières en suspension fines (MES) et les colloïdes. Ce processus est contrôlé automatiquement depuis une salle de commande via un programmateur central. Le nettoyage CIP utilise de l'acide chlorhydrique (HCl) ou un mélange d'hypochlorite de sodium et d'hydroxyde de sodium ($\text{NaClO} + \text{NaOH}$), une réaction qui nécessite une température élevée pour être efficace.

L'eau filtrée est ensuite dirigée par des conduites vers les réservoirs d'ultrafiltration (UF Tank).

IV.7.1.2 Traitement par Osmose Inverse(Reverse Osmosis-RO):

L'osmose inverse (RO) est une technologie avancée de purification de l'eau, utilisée pour éliminer les matières dissoutes à travers un processus de filtration extrêmement fin, ne laissant passer que les molécules d'eau. Dans la station, il y a 25 trains de membranes d'osmose inverse répartis en deux flux : 13 trains dans le RO Stream 1 et 12 dans le RO Stream 2. Chaque train est constitué de portes-membranes, chaque porte-membrane contenant 7 membranes d'osmose inverse. Ainsi, un seul train de RO comprend 216 portes-membranes. La filtration à ce stade se déroule de manière horizontale.

- **Système de pompage d'osmose inverse et récupération d'énergie**

Le système d'alimentation en osmose inverse est doté de 5 pompes, dont 4 en fonctionnement et une en réserve (stand-by). Chaque pompe d'alimentation RO fournit une pression d'environ 6,4 bars. En complément, chaque train RO est équipé d'une pompe haute pression (HP) et d'un turbo chargeur pour la récupération d'énergie. Les pompes HP fournissent une pression initiale de 30 bars qui, en passant par le turbo chargeur, récupère l'énergie de la pression de rejet et augmente la pression jusqu'à 59 bars avant d'entrer dans le train RO.

L'eau traitée est ensuite dirigée par des conduites vers les réservoirs RO Tank avant d'être soumise au post-traitement. Les rejets, quant à eux, sont envoyés vers le bassin de reminéralisation et de neutralisation.



Figure IV.9 : Bâtiments d'Osmose Inverse (RO).

- **Nettoyage chimiques des trains RO**

Système de lavage chimique des trains de RO, pour éviter le colmatage des membranes d'Osmose Inverse.

IV.7.1.3 Traitement complémentaire

La dernière étape du processus de dessalement d'eau de mer vise à rendre l'eau traitée, ou osmosée, apte à la consommation potable et à des usages spécifiques.

- **Reminéralisation**

L'eau produite par osmose inverse est très déminéralisée et agressive, ce qui nécessite un procédé de reminéralisation pour rétablir son équilibre calco-carbonique. Ce processus utilise du lait de chaux (lime milk) comme réactif pour augmenter la dureté de l'eau et la rendre potable, avec l'ajout de dioxyde de carbone (CO₂). Cette étape, appelée carbonatation, consiste à injecter du CO₂ dans l'eau afin de stabiliser son pH et ses propriétés minérales.

- **Prévention de la contamination microbienne**

L'eau osmosée est stockée avant distribution. Dans ces conditions, il existe un risque de prolifération microbienne. La désinfection prévient cette contamination et garantit que l'eau reste potable jusqu'à sa distribution. Cette opération est assurée par l'injection d'hypochlorite de sodium (NaOCl, eau de Javel), un produit couramment utilisé pour éliminer les bactéries, microbes, virus, et autres micro-organismes dangereux.

IV.7.1.4 Stockage de l'eau produite

L'eau traitée est stockée dans quatre réservoirs, chacun ayant une capacité de 10 000 m³, pour une capacité totale de 40 000 m³.



Figure IV.10 : Réservoir de stockage

IV.7.1.5 Le Transport de l'eau potable

L'eau potable est ensuite transportée par trois lignes distinctes : la ligne 01 pour Oran, la ligne 02 pour Mostaganem et Relizane, et la ligne 03 pour Mascara et Oran.



Figure IV.11 : Les 3 lignes de Transport de l'eau potable

Une station de pompage assure la pression nécessaire pour ces lignes, avec 22 bars pour la ligne 01 et environ 17 bars pour la ligne 02. La société SEOR est responsable de la distribution de l'eau aux consommateurs finaux, ainsi qu'aux autres secteurs utilisateurs.

IV.8 Conclusion

Cependant, malgré ces performances, la station rencontre des défis opérationnels qui affectent son rendement. L'un des principaux problèmes est le colmatage fréquent des membranes de prétraitement d'ultrafiltration (UF), causé par l'accumulation de matières en suspension et de micro-organismes présents dans l'eau de mer. Ce phénomène entraîne une réduction de l'efficacité des membranes, une augmentation des cycles de nettoyage, et par conséquent une baisse du rendement global de production.

CHAPITRE V:

ESTIMATION DES BESOINS EN EAU DANS LA RÉGION D'ETUDE

V.1 Introduction

Conçue pour une capacité de production de 500 000 m³/jour, la station de Magtaa constitue un maillon essentiel dans l'approvisionnement en eau potable de plusieurs wilaya avoisinantes. ce chapitre se concentre sur l'analyse des besoins en eau dans la région d'étude, en tenant compte des prévisions de population, des variations de consommation et des tendances futures.

V.2 Estimation des besoins en eau dans la wilaya d'Oran

V.2.1 Evaluation de la population

Le nombre d'habitants total estimé en 2020 des différentes communes est de 1 577 556 habitants, soit une densité de 746 habitants par Km², et suivant un taux d'accroissement de la population de 1,9 %.

L'évolution démographique à différents horizons est calculée par rapport à celle de l'année de recensement par la relation :

$$P_x = P_0 \times (1 + \alpha)^n$$

P_x: Population à l'horizon actuel ;

P₀: Population à l'année de recensement 2020.

α : Taux d'accroissement démographique, α moyen de la wilaya est estimé à 1.9 % ;

n : Nombre d'années séparant l'année de référence et l'horizon d'étude (30 ans).

Tableau V.1 : Evolution de la population à différents horizons

Population à différents horizons				
2020	2024	2030	2040	2050
1577556	1700911	1904262	2298627	2774663

A l'horizon **2050** le nombre d'habitants de la wilaya d'Oran atteindra les **2 774 663** habitants Avec une densité de 1 313 habitants par Km²

V.2.2 Evaluation de la consommation moyenne journalière d'eau

Pour déterminer la consommation moyenne journalière d'eau, on commence par identifier les différents besoins spécifiques auxquels l'eau sera utilisée. Voici les catégories typiques de besoins qui peuvent être pris en compte pour une telle estimation :

Besoins domestiques

- Boisson et cuisine : Quantité d'eau nécessaire pour boire et préparer les repas.
- Hygiène personnelle : Eau utilisée pour la douche, le bain, le lavage des mains et des dents.
- Nettoyage domestique : Eau utilisée pour laver la vaisselle, le linge, nettoyer les sols, etc.

- Sanitaires : Eau utilisée pour les toilettes et les autres installations sanitaires.

Besoins industriels

- Processus de production : Eau nécessaire pour les processus industriels spécifiques.
- Refroidissement : Eau utilisée pour le refroidissement des machines et des processus industriels.
- Nettoyage : Eau utilisée pour le nettoyage des équipements industriels.

Besoins agricoles

- Irrigation : Quantité d'eau nécessaire pour arroser les cultures.
- Élevage : Eau utilisée pour abreuver les animaux et nettoyer les installations d'élevage.

Besoins publics et municipaux

- Entretien des espaces verts : Eau utilisée pour l'arrosage des parcs, jardins publics, etc.
- Services publics : Eau utilisée pour les bâtiments publics, écoles, hôpitaux, etc.
- Incendies et urgence : Eau stockée ou réservée pour les interventions d'urgence comme les incendies.

Pertes et fuites

- Perte dans le réseau : Eau perdue à cause des fuites dans les canalisations ou les installations.
- Événements inattendus : Consommation due à des événements inhabituels ou des usages exceptionnels.

Pour la production d'eau potable, en particulier pour l'alimentation de l'est de la ville d'Oran à partir de l'eau provenant de la station de dessalement TMM d'El Magtaa, la dotation actuelle est égale à 150 l/j/hab. .

V.2.2.1 Consommation moyenne journalière

La consommation moyenne journalière de la zone étudiée est calculée en multipliant la dotation par le nombre total d'habitants.

$$Q_{\text{moy},j} = \frac{1}{1000} \times \text{Dot} \times N \left(\frac{\text{m}^3}{\text{jr}} \right)$$

Q_{moy,j} : débit moyen journalier (m³/j)

Dot: dotation moyenne en (l/j/hab)

N: nombre d'habitants

Les résultats de l'évaluation des besoins moyens journaliers sont donnés pour chaque horizon dans le tableau V.2 :

Tableau V.2 : Tableau récapitulatif des consommations journalières

Q moy j (m ³ /j) à différents horizons				
2020	2024	2030	2040	2050
236633	255137	285639	344794	416200

A l'horizon **2050**, les besoins sont estimés à **416200 m³/j**

V.2.3 Estimation des pertes

Les pertes d'eau dans les réseaux de distribution se divisent en deux catégories principales les pertes administratives et les pertes physiques.

V.2.3.1 Pertes Administratives

Ces pertes concernent principalement :

- Prélèvements non comptabilisés : Cela inclut les branchements domestiques sans compteurs, ce qui empêche une mesure précise de la consommation.
- Système de facturation au forfait : Ce système peut entraîner des inexactitudes dans le calcul de la consommation réelle d'eau.
- Prélèvements illégaux : Cela englobe les branchements non autorisés et les manipulations de compteurs qui ne sont pas enregistrées dans le système de facturation.

V.2.3.2 Pertes Physiques

Ces pertes sont liées aux aspects matériels du réseau de distribution :

- Fuites dans le réseau : Cela inclut les joints défectueux, les conduites perforées, les réservoirs non étanches, et d'autres défaillances techniques qui entraînent des pertes d'eau.
- Autres prélèvements non rémunérés : Cela comprend l'eau utilisée pour la lutte contre les incendies, ainsi que l'eau prélevée pour des travaux d'inspection, d'entretien du réseau, et le rinçage des conduites.

Le calcul de la quantité d'eau nécessaire pour répondre à la demande en eau des divers secteurs est réalisé de la manière suivante :

Prévoir une perte de **20%** en se basant sur une estimation de **DRE** de l'état futur du réseau

$$\text{Les pertes} = 20 \% \times \text{les besoins totale (m}^3\text{/j)}$$

Tableau V.3 : Tableau récapitulatif des consommations journalières tenant compte des pertes

Q moy j (m ³ /j) + 20% de pertes à différents horizons				
2020	2024	2030	2040	2050
283960	306164	342767	413753	499439

Le débit moyen journalier de la wilaya d'Oran total tenant compte des pertes A l'horizon **2050** est égale à **499439 m³/j** .

V.3 Estimation des besoins en eau dans les wilaya avoisinantes

La station de dessalement d'eau de mer de Magtaa distribue de l'eau potable à plusieurs wilayas : la ligne 1 dessert la wilaya d'Oran, la ligne 2 alimente les wilayas de Mostaganem et Relizane, et la ligne 3 approvisionne la wilaya de Mascara.

Les tableaux ci-dessous présente la population des différentes wilayas à chaque horizon ainsi que la consommation quotidienne correspondante pour chaque période.

Tableau V.4 : Tableau récapitulatif des consommations journalières tenant compte des pertes wilaya de Mostaganem

Mostaganem									
population					Densité (hab/km ²)				
2020	2024	2030	2040	2050	2020	2024	2030	2040	2050
746947	805353	901637	1088362	1313758	329	355	397	480	579
Q moy j (m ³ /j)					Q moy j (m ³ /j) + 20% de pertes				
2020	2024	2030	2040	2050	2020	2024	2030	2040	2050
112042	120803	135246	163254	197064	134450	144964	162295	195905	236476

Tableau V.5 : Tableau récapitulatif des consommations journalières tenant compte des pertes wilaya de Mascara

Mascara									
population					Densité				
2020	2024	2030	2040	2050	2020	2024	2030	2040	2050
784073	845382	946451	1142458	1379056	132	142	159	192	232
Q moy j (m ³ /j)					Q moy j (m ³ /j) + 20% de pertes				
2020	2024	2030	2040	2050	2020	2024	2030	2040	2050
117611	126807	141968	171369	206858	141133	152169	170361	205642	248230

Tableau V.6 : Tableau récapitulatif des consommations journalières tenant compte des pertes wilaya de Relizane

Relizane									
population					Densité				
2020	2024	2030	2040	2050	2020	2024	2030	2040	2050
733060	790381	884874	1068128	1289333	151	162	182	219	265
Q moy j (m ³ /j)					Q moy j (m ³ /j) + 20% de pertes				
2020	2024	2030	2040	2050	2020	2024	2030	2040	2050
109959	118557	132731	160219	193400	131951	142269	159277	192263	232080

Comme l'illustre le graphique V.1, la wilaya d'Oran présente la plus forte consommation moyenne journalière à tous les horizons, en raison de l'augmentation rapide de sa population par rapport aux autres wilayas.

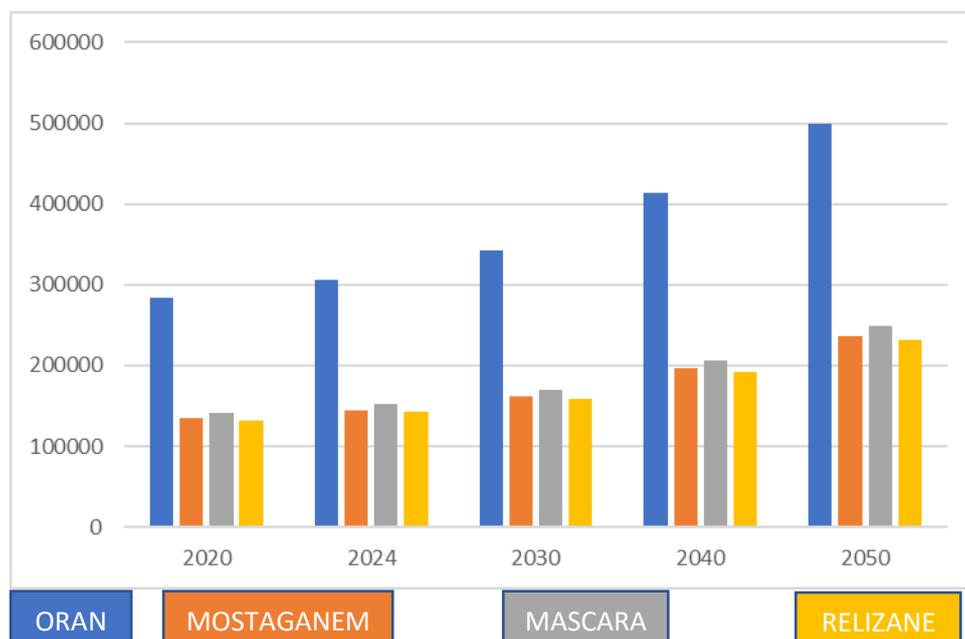


Figure V.1: histogramme de consommation journalières des wilayas en m³/j

Le graphique V.7 présente la consommation totale de l'eau potable pour l'ensemble des wilayas desservies, ainsi que le pourcentage des besoins couverts par la station de dessalement jusqu'à l'horizon 2050, avec une production optimale de 500 000 m³/jour.

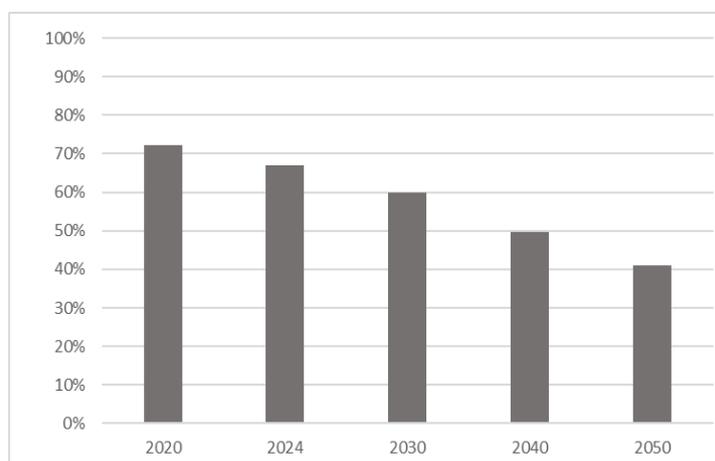


Figure V.2 : les besoins couverts par la station de dessalement jusqu'à l'horizon 2050

une diminution progressive de la couverture des besoins en eau potable assurée par la station de dessalement, passant de 72 % en 2020 à 67 %, puis à 41 % en 2050. Cela indique un risque croissant de pénurie d'eau potable. Il est donc essentiel de maintenir la station de dessalement à son niveau de performance optimal afin de ne pas aggraver le problème de pénurie d'eau.

V.4 Estimation des Pics de Consommation

Au cours de l'année, la consommation d'eau varie par rapport à la consommation moyenne journalière, avec des journées où la demande en eau atteint un pic maximal.

Consommation maximale journalière :

Le débit correspondant au jour de consommation la plus élevée de l'année sert de référence pour les calculs. Il est déterminé à l'aide de la relation suivante :

$$Q_{\max,j} = K_{\max,j} \times Q_{\text{moy},j}$$

Q_{min.j} : Consommation maximale journalière (m³/j) ;

Q_{moy.j} : Consommation moyenne journalière (m³/j) ;

K_{max j} : Coefficient d'irrégularité journalière maximum, **K_{max.j}** = (1.1 – 1.3)

On prend K_{max j} = 1.3

Le tableau ci-dessous présente la consommation journalière maximale de l'ensemble des wilayas à différents horizons.

Tableau V.7: Tableau récapitulatif des consommations journalières maximale

Q max j (m ³ /j)				
2020	2024	2030	2040	2050
898943	969234	1085110	1309832	1581094

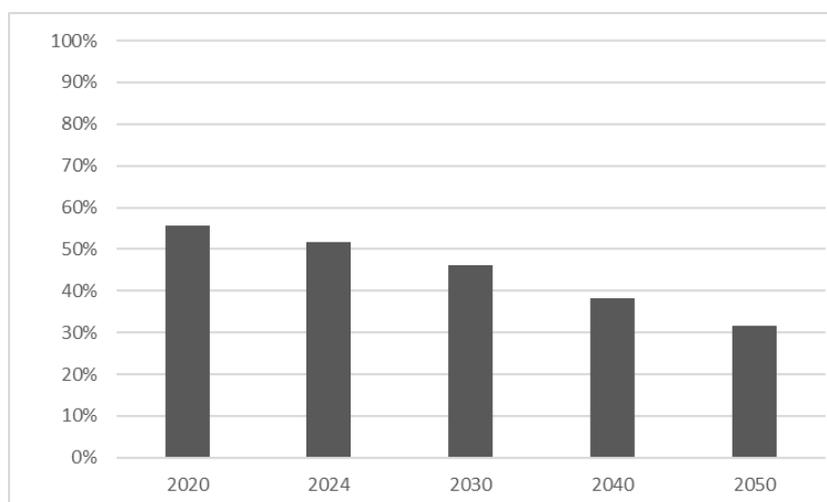


Figure V.3 : les besoins couverts par la station de dessalement jusqu'à l'horizon 2050 cas de pic de consommation

Cette progression constante de besoin met en évidence l'importance croissante de garantir un approvisionnement adéquat en eau, ce qui nécessite une capacité de production et de distribution optimale par la station de dessalement. Les besoins en infrastructure et en gestion des ressources hydriques devront donc évoluer pour éviter les pénuries dans les décennies à venir.

V.5 Conclusion

Les prévisions indiquent une hausse constante et notable de la demande en eau, avec une consommation journalière maximale estimée à passer de 898 943 m³/j en 2020 à 1 581 094 m³/j en 2050. Cette forte croissance souligne la nécessité d'anticiper les besoins futurs pour assurer une gestion efficace des ressources en eau. En conséquence, une production de 500 000 m³/j par la station de dessalement pourrait devenir insuffisante au fil du temps. Il est donc impératif de maintenir la production de la station à son niveau optimal pour répondre adéquatement à l'augmentation de la demande.

CHAPITRE VI:
LA QUALITÉ DES EAUX MARINS
DE MAGTAA

VI.1 Introduction

La compréhension détaillée des paramètres de qualité de l'eau de mer est essentielle pour optimiser les procédés de traitement, minimiser les coûts opérationnels, et garantir une production d'eau douce conforme aux standards sanitaires. Ce chapitre examine les différents aspects de la qualité de l'eau de mer de magtaa, en mettant l'accent sur les paramètres critiques tels que la turbidité, le contenu en matières organiques, la concentration en solides en suspension

VI.2 Données générales sur le golfe d'Arzew

VI.2.1 Les Courants marins

L'eau de l'Océan Atlantique s'introduit dans la Méditerranée par le Déroit de Gibraltar pour s'acheminer vers l'est le long des côtes nord du Continent africain. Les courants superficiel et intermédiaire de la Méditerranée sont circulaires, tous les deux en sens inverse des aiguilles d'une montre

Vu les conditions topographiques, les eaux devant le site forment un contre-courant par rapport audit écoulement vers l'est au large.

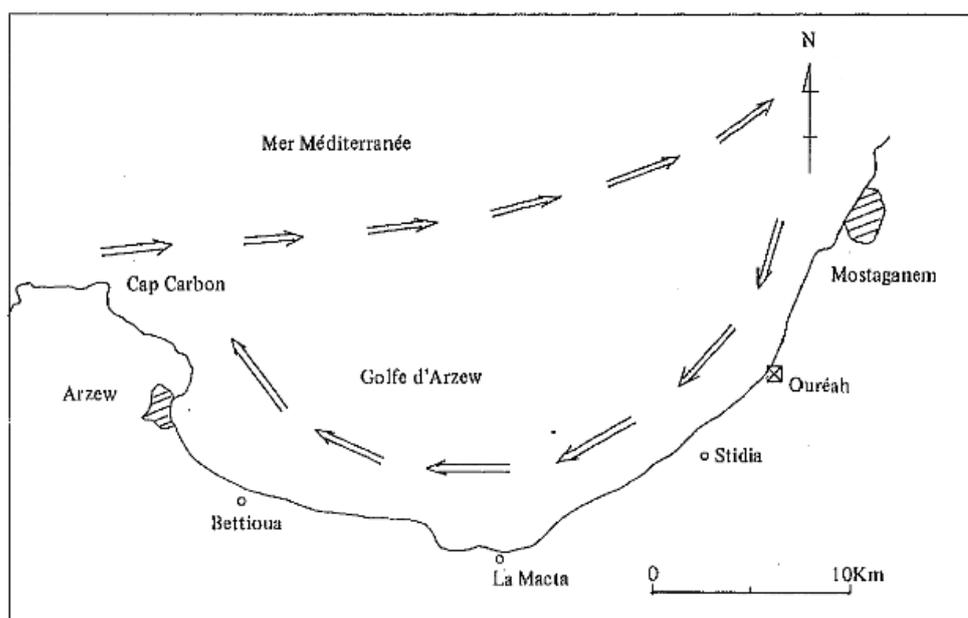


Figure VI.1 : le courant possible de golf d'Arzew et aux environs (JICA,1984)

VI.2.2 Les vents

Cette zone est marquée par la prédominance des vents d'Ouest à Sud-Ouest de Novembre à Avril et des vents d'Est à Nord-Est de Mai à Octobre. Les vents d'Ouest sont les plus fréquents.

VI.3 Les Paramètres physico-chimiques

Les caractéristiques physico-chimiques sont des paramètres facilement mesurables d'une façon continue par des sondes installées dans des stations d'observation des qualités des eaux

VI.3.1 La Température de l'eau de mer

La température de l'eau de mer constitue une condition importante pour le planning de dessalement et doit donc être bien examinée sur toute l'année. Les valeurs mesurées lors de l'investigation sur la station de dessalement durant l'année 2023 sont reprises dans le graphe suivant :

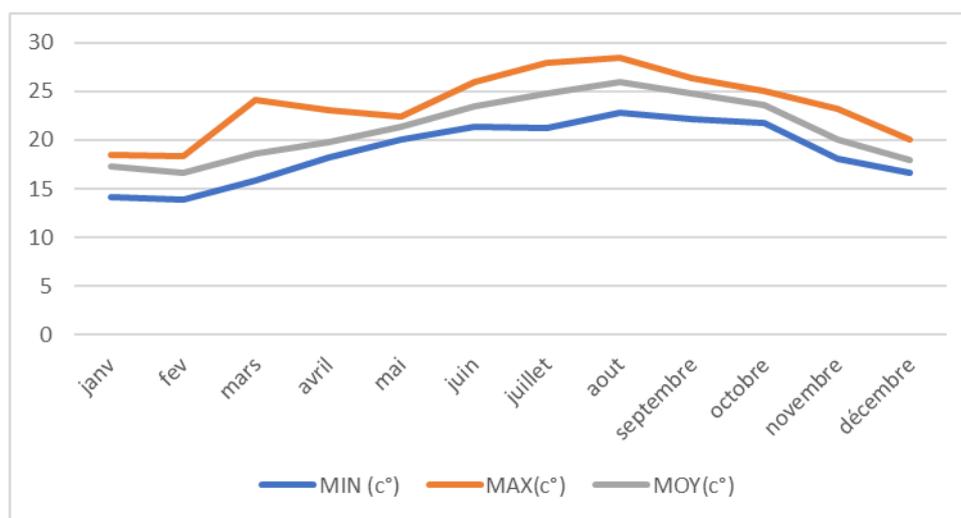


Figure VI.1 : variation du température durant l'années 2023

Les mois de juillet et août sont les plus chauds, avec des températures moyennes respectivement de 25 et 26°C. Les mois les plus froids sont janvier et février, avec des températures moyennes de 17°C.

Transition saisonnière : Les températures commencent à augmenter à partir de mars pour atteindre leur maximum en été (juillet-août), puis commencent à diminuer en septembre pour atteindre leur minimum en hiver (décembre-janvier).

VI.3.2 La Salinité

Des prélèvements de salinité on était fait dans le golfe d'Arzew exact au 3 station dans le complexe GL2 situé 10 km est ou station de dessalement montre que les valeurs de la salinité de l'eau de mer sont importante au niveau des trois station de la zone selon la norme qui est 35 (g/kg), la valeur la plus importante est de 32,03 notée au niveau de la 1 station en Juin, et la plus basse est de 28,82 en Juillet au niveau de la 3ème station donc on peut dire que l'eau de mer est trop chargée en sels (B.samira ,2019)

VI.3.3 L'oxygène dissous

La dynamique de l'oxygène dissous (OD) le long d'une colonne d'eau littorale diffère de celle observée dans une colonne d'eau au large. Cette différence s'explique par plusieurs facteurs : en plus des processus d'échange air-mer et de photosynthèse, la variation de l'oxygène dissous dépend également de son utilisation pour l'oxydation de la matière organique présente dans la colonne d'eau de mer. Dans les environnements littoraux, la matière organique a tendance à sédimenter rapidement avant de subir une oxydation complète, entraînant ainsi une déposition accrue de matière organique non oxydée sur le fond marin.

Les mesures d'oxygène dissous dans le Golfe d'Arzew montrent des concentrations variant de 9 à 12,4 mg/L en surface, et de 8,3 à 10,8 mg/L en profondeur. Ces observations indiquent une diminution relative de l'oxygène dissous avec la profondeur, reflet des processus biologiques et chimiques actifs dans la colonne d'eau (B.samira ,2019)

VI.3.4 Variation du potentiel d'hydrogéné (pH)

Le tableau suivant représente la variation du pH de l'eau de mer au station de dessalement magtaa

Tableau VI.1: les variation du pH de l'eaux de mer magtaa

	Jan-2023	Feb-2023	Mar-23	Apr-23	May-23	Jun-23	Jul-23	Aug-23	Sep-23	Oct-23	Nov-23	Dec-23
MIN	7.9	7.9	8.0	7.6	7.7	8.0	8.0	8.0	8.2	8.3	8.1	8.1
MAX	8.4	8.3	8.4	8.3	8.3	8.4	8.3	8.3	8.5	8.5	8.5	8.2
MOY	8.2	8.1	8.1	8.1	8.0	8.2	8.2	8.2	8.3	8.4	8.3	8.2

Les valeurs moyennes du pH fluctuent légèrement autour de 8.0 à 8.4 tout au long de l'année.

On observe une tendance générale à l'augmentation du pH moyen à partir de mai jusqu'à octobre, culminant à 8.4 en octobre, avant de redescendre légèrement à 8.2 en décembre. Cette tendance pourrait indiquer une saisonnalité dans la production primaire et la minéralisation des matières organiques.

Les données du pH de l'eau de mer en 2023 montrent des variations typiques en fonction des saisons et des processus biologiques marins. Les fluctuations du pH sont influencées par des facteurs tels que la photosynthèse, la respiration, la décomposition de la matière organique, et les échanges air-mer. Les valeurs restent globalement dans une plage relativement neutre à légèrement basique (7.6 à 8.5), ce qui est attendu pour des eaux de mer typiques.

VI.3.5 Répartition de la matière en suspension

La répartition de la matière en suspension dans l'eau de mer, dépend des paramètres physicochimiques et de facteurs hydrodynamiques.

les teneurs en matière en suspension sont beaucoup plus élevées, au niveau de l'oued El Magta que ce matériel biogène en suspension, est important et s'élève jusqu'à 25 mg/l en profondeur avec quelques variations de l'ordre de 20 mg/l face à l'unité Sonic et 21 mg/l au niveau de l'oued Cheliff (Eddalia .N, 1990).

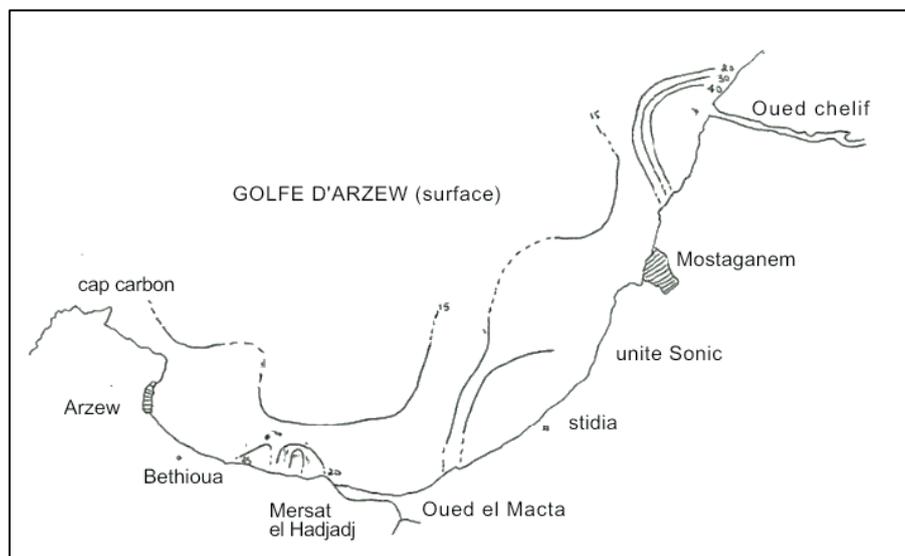


Figure VI.3: Variation spatiale de la matière en suspension du golfe d'Arzew (surface) (Eddalia .N, 1990)

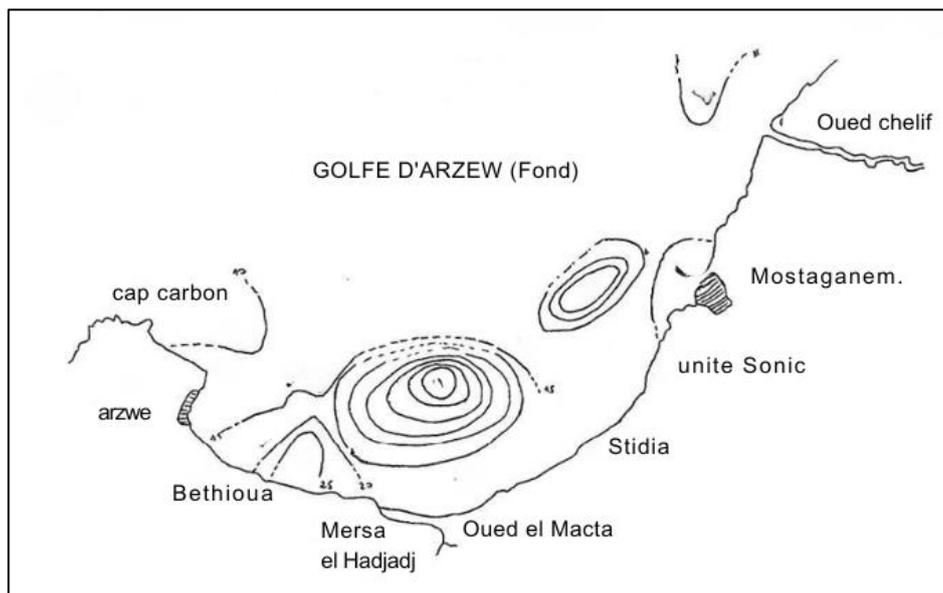


Figure VI.2: Variation spatiale de la matière en suspension du golfe d'Arzew (fond) (Eddalia .N, 1990)

Ainsi donc, ces teneurs élevées en matière en suspension sont due aux apports urbains et industriels au niveau des côtes et sont à l'origine des périodes hivernale et de crues

VI.3.6 Distribution Granulométrique Des Particules En Suspension Dans Les Eaux De Mer Méditerranéennes

La composition chimique des particules en suspension en Méditerranée occidentale est similaire à celle des particules océaniques, bien que leur teneur en matière terrigène soit 3 à 4 fois plus élevée. Environ 90 % des particules en surface et 70 % de celles de la zone subeuphotique sont d'origine biogène. La teneur en particules est étroitement liée à la production primaire, sauf en cas d'apports côtiers importants. Les particules profondes sont enrichies en matière terrigène en raison de la dégradation des particules organiques près de la couche euphotique. La production de diatomées, qui nécessite beaucoup de silicates dissous, est plus efficace en Mer d'Alboran que dans le nord de la Méditerranée occidentale. Le calcium dans les particules est très variable et moins corrélé avec d'autres éléments majeurs, étant plus faible dans les particules riches en silice biogène. (Copin-Montégut, 1980)

D'après une étude fait par Patrick Geistdoerfer en 1973 sur L'analyse granulométrique des particules en suspension dans les eaux méditerranéennes, réalisée avec un analyseur de particules pour des tailles de 0,8 à 50 μm , a révélé des distributions similaires dans les échantillons provenant du canal de Sicile et des régions centrales et orientales de la Méditerranée. La majorité des particules mesurait entre 1,3 et 1,6 μm , avec 50 % des particules mesurant 1,6 μm ou moins et 90 % mesurant 4 μm ou moins. Une courbe moyenne de répartition des particules a été établie. Les eaux du large ont montré une prédominance de petites particules par rapport aux eaux côtières de la rade de Villefranche-sur-Mer, où 50 % des particules mesuraient 5 μm ou moins et 90 % mesuraient 20 μm ou moins. La quantité de grosses particules diminue avec la profondeur. (Patrick Geistdoerfer.1973) .

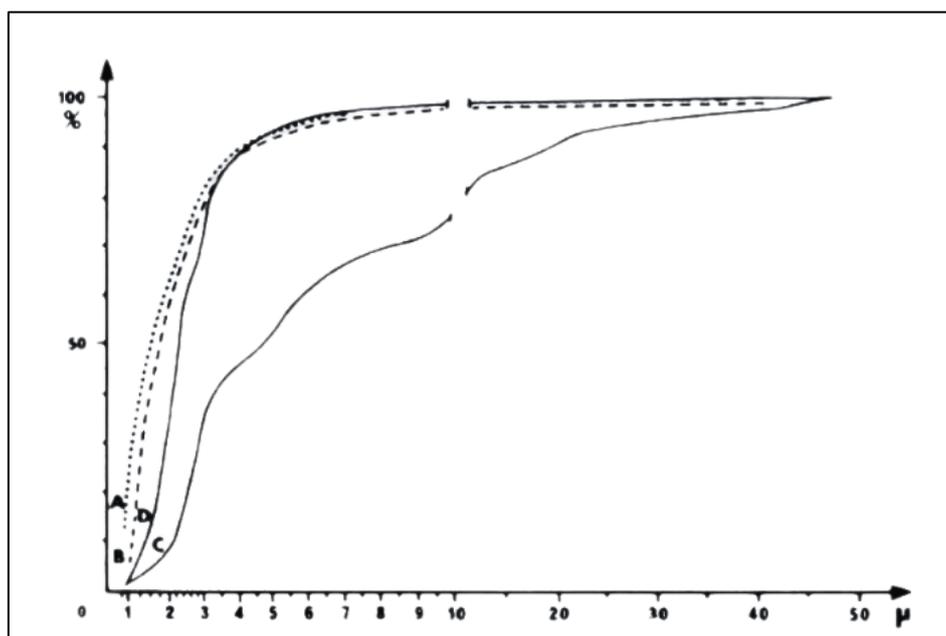


Figure VI.4 : Nombres de particules exprimés en pourcentages cumulés, en fonction du diamètre (Patrick Geistdoerfer.1973)

Courbe A : mission Calypso courbe moyenne; courbe B : mission Amalthée courbe moyenne; courbe C : eau de la rade de Villefranche-sur-Mer avril 1966; courbe D : eau de la rade de Villefranche-sur-Mer août 1967.

VI.3.7 Variation de la conductivité

Les valeurs de conductivité montrent une augmentation notable de mars à mai, suivie d'une période relativement stable de juin à décembre. Les valeurs les plus basses de conductivité se trouvent en janvier et février, avec un minimum en février à 45.30 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Les valeurs les plus élevées de conductivité sont observées en août et décembre, avec un maximum en décembre à 58.60 $\mu\text{S}/\text{cm}$

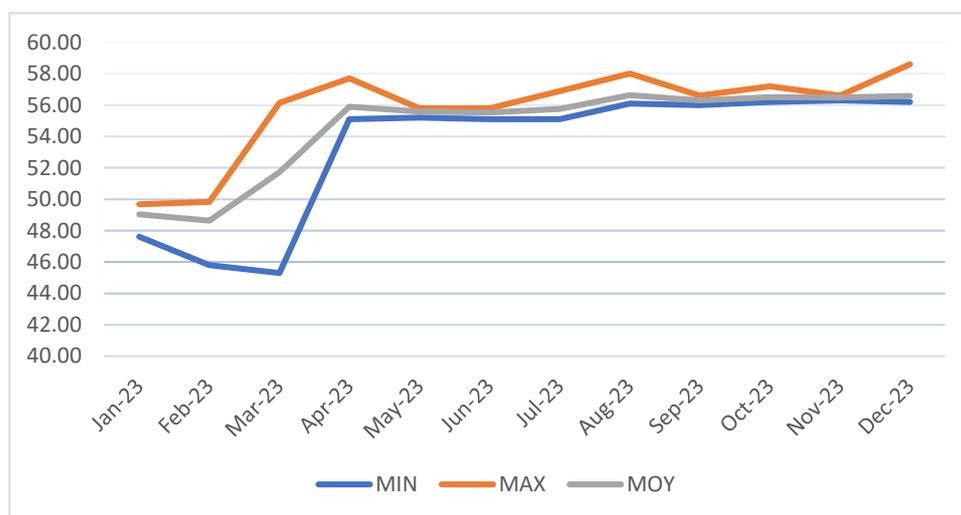


Figure VI.5: Variation de la conductivité de l'eau de mer magtaa en $\mu\text{S}/\text{cm}$

L'augmentation de la conductivité de mars à août peut être attribuée à des changements saisonniers affectant la composition ionique de l'eau, possiblement en raison de l'évaporation, du ruissellement ou d'autres facteurs environnementaux.

on remarque que la conductivité moyenne mensuelle de l'eau de mer est dans la norme qui est 56 (ms/cm), l'augmentation de la conductivité d'une solution est due à la forte concentration en sels tel que les chlorures.

VI.3.8 la Turbidité

Le tableau suivant représente la variation de la turbidité de l'eau de mer au station de dessalement magtaa

Tableau VI.2 : les variation de la turbidité en (NTU) de l'eau de mer magtaa

	Jan-2023	Feb-23	Mar-23	Apr-23	May-23	Jun-23	Jul-23	Aug-23	Sep-23	Oct-23	Nov-23	Dec-23
MIN	0.10	0.26	0.30	0.01	0.25	0.12	0.23	0.20	0.25	0.20	0.24	0.27
MAX	4.36	4.50	1.80	1.54	1.48	1.60	0.77	0.98	1.24	0.96	1.70	2.38
MOY	1.17	1.18	0.74	0.71	0.72	0.65	0.47	0.50	0.59	0.52	0.66	0.62

La turbidité semble être plus élevée en hiver et en début de printemps (janvier à mars), diminuant ensuite pendant l'été (juin à août), avant d'augmenter à nouveau à l'approche de l'hiver (novembre et décembre). Des niveaux élevés de turbidité augmentent la charge de travail des systèmes de

prétraitement .Les mois avec une turbidité maximale élevée (janvier, février) nécessiteront une attention particulière .

VI.3.9 Total Des Matière Solides Dissoutes (TDS)

Le TDS représente la concentration totale de solides dissous dans l'eau, y compris les minéraux, les sels et autres substances.

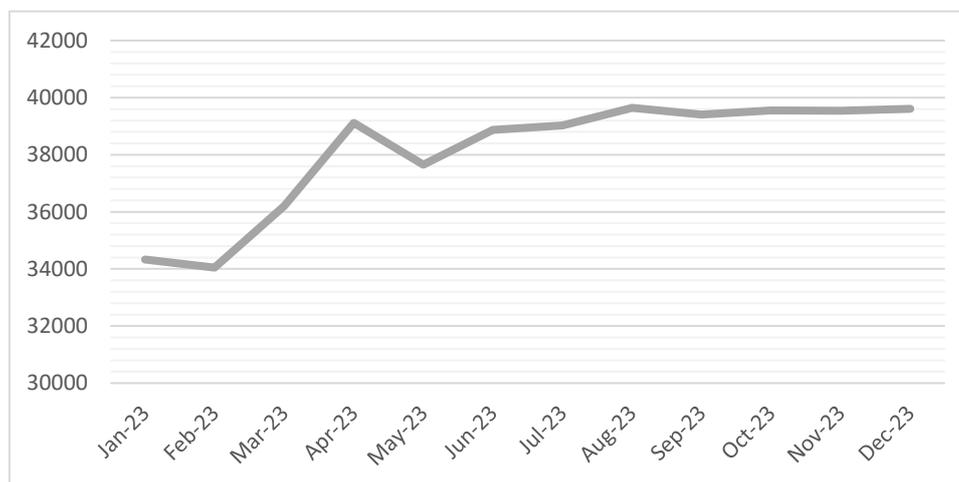


Figure VI.6: Variation de TDS de l'eau de mer magtaa en mg/l

On observe une tendance générale à l'augmentation des valeurs de TDS du début à la fin de l'année. Les valeurs de TDS sont relativement plus élevées vers la fin de l'année comparées au début. Il y a un pic notable des valeurs de TDS en août et septembre, avec des valeurs maximales atteignant leurs sommets à ces moments-là .

Les variations de TDS affectent directement l'efficacité des processus de dessalement. Des niveaux plus élevés de TDS nécessitent généralement plus d'énergie et de ressources pour le processus de dessalement, car la concentration plus élevée de solides dissous rend le traitement plus complexe.

VI.3.10 Les Sels Nutritifs

les concentrations en sels nutritifs semblent varier d'une région à une autre et le long de la colonne d'eau de mer. Dans la zone euphotique, le cycle biologique agit sur leur réserves d'une part et d'autre part dans une moindre mesure agit sur leur régénération(Eddalia .N ,1990).

Les Phosphates : Dans le Golfe d'Arzew, les teneurs en phosphates sont comprises entre 0.72 à 0.83 mg/l en surface. cette région semble avoir une certaine augmentation en phosphate, les valeurs maximales en phosphates semblent évoluer au niveau de Bethioua. Ceci peut s'expliquer par les divers rejets surtout, industriels qui engendrent cette région, les concertation sont importantes selon la norme qui de 0.005 a 0.8 mg/l

Les Nitrites: Les teneurs en nitrites au niveau du Golfe d'Arzew, sont comprises entre 0.38 à 0,45 mg/l en surface, Les variations des concentrations des nitrites au niveau de l'eau de mer sont fortement liées à l'activité bactérienne et à la température.

Les Nitrates : En ce qui concerne les ions nitrates, la valeur moyenne est de 0.02 mg/l la partie ouest du golfe est caractérisée par des teneurs très élevées en comparaison avec la partie Est. Ceci peut être expliqué par la présence des terres agricoles et leur lessivage dans cette région qui pollue le milieu en ces éléments nutritifs, comme elle peut aussi être liée à une oxydation des nitrites en nitrates par les bactéries et les rejets urbains aussi.

L'ammoniaque : Les concentrations d'ammonium de cette zone varient de 0,09 à 0,15 mg/L, demeurant en deçà de la plage normative établie, qui s'étend de 0,1 à 5 mg/L. Toutefois, il est important de souligner que l'ammoniaque, à des niveaux élevés, est extrêmement toxique pour les humains, pouvant provoquer des lésions des muqueuses pulmonaires ou des brûlures alcalines.

Le Silice : Par rapport aux phosphate et nitrites, les teneurs en silicates sont beaucoup plus importantes dans la colonne d'eau. Elles varient: entre 1.2 et 1.57 mg/l en surface et entre 2.9 à 14.08 mg/l en profondeur .

VI.3.11 Chlorophylle

Les concentrations de la chlorophylle trouvées au niveau de toutes les stations du golfe d'Arzew sont faibles, allant d'une valeur minimale de 0,06 µg/l à une valeur maximale de 0.24 µg / L avec une moyenne de 0.16 µg / l . (Fouad .C ,Hafida.Y ,2020)

VI.4 Différents types de rejets et les teneur en hydrocarbure

La région connaît un développement urbain assez important du fait de l'expansion industrielle. Les principales sources d'apports de pollutions sont , les eaux usées domestiques et industrielles. Et les eaux usées résiduelles et les apports des cours d'eaux continentaux.

La zone industrielle qui s'étend sur une superficie de 2800 hectares, comprend deux ports spécialisés et une plateforme industrielle. Tous les rejets d'eaux usées, de refroidissement des différentes unités industrielles, se déversent dans le milieu marin. Les eaux usées, de toutes les villes, installées le long du Golfe d'Arzew, se déversent directement avec un traitement inadéquat. Le volume de ces eaux usées domestiques a augmenté considérablement, avec la croissance des populations (BAGHDAD K., BENDRAOUA A. ,2010)

le golfe d'Arzew est affecté par la contamination des sédiments et des plages par les hydrocarbures, notamment à cause des activités industrielles et portuaires. Les niveaux de contamination peuvent varier selon les zones, avec des impacts significatifs sur la faune et la flore locales (Bendraoua, 2015; Springer, 2023).

VI.5 Qualité de l'eau de mer de de conception

Tableau VI.3 : paramètres de qualité de l'eau de mer de magtaa

paramètre	unités	valeur
Température	C°	25
les matières en suspension MES	mg/l	21
Total des matières solide Dissoutes TDS	mg/l	39000
pétrole et hydrocarbures	mg/l	<0.05
pH		8.2
Carbone organique total COT	mg/l	0.5
Turbidity	NTU	4.5
Calcium Ca+(2)	mg/l	490
Magnésium Mg+(2)	mg/l	1550
Sodium Na+	mg/l	11960
Potassium K+	mg/l	535
Strontium Sr+(2)	mg/l	10
Bor B+(3)	mg/l	5
Chlorures Cl-	mg/l	22000
Sulfate SO4(2)-	mg/l	3200
Bicarbonate HCO(3)-	mg/l	135

l'emplacement de l'amenée d'eau est localisé là où la profondeur d'eau de mer est au minimum de 8 à 10 m à basse marée. L'admission de l'eau dans la structure d'amenée d'eau de mer est environ 4 à 5 mètres au-dessus du fond de la mer et en dessous de la surface de l'eau.

VI.6 Conclusion

Les variations des paramètres physico-chimiques, tels que la teneur en matières en suspension (MES) et les fluctuations saisonnières, influencent directement l'efficacité des procédés de prétraitement et de dessalement. Ces variations peuvent poser des défis, notamment en matière de colmatage des membranes d'ultrafiltration.

CHAPITRE VII:
DIMENSIONNEMENT DU
TECHNIQUE DE PRÉTRAITEMENT

VII.1 Introduction

Ce chapitre explore la Chain prétraitement adéquat , les critères de sélection adaptés aux caractéristiques de l'eau source, ainsi que les méthodologies employées pour dimensionner ces équipements en fonction des besoins spécifiques du projet.

VII.2 Technique de prétraitement adéquat

Le filtre à sable, ou prétraitement conventionnel, est la méthode la plus couramment utilisée dans les stations de dessalement. Cependant, cette approche nécessite une grande surface d'implantation, surtout lorsqu'il s'agit de produire de grands débits, comme c'est le cas pour la station de Magtaa avec une capacité de 500 000 m³/j. De plus, en tenant compte des caractéristiques spécifiques et de la qualité de l'eau de mer dans cette région, où 50 % des particules sont inférieures à 3 µm,

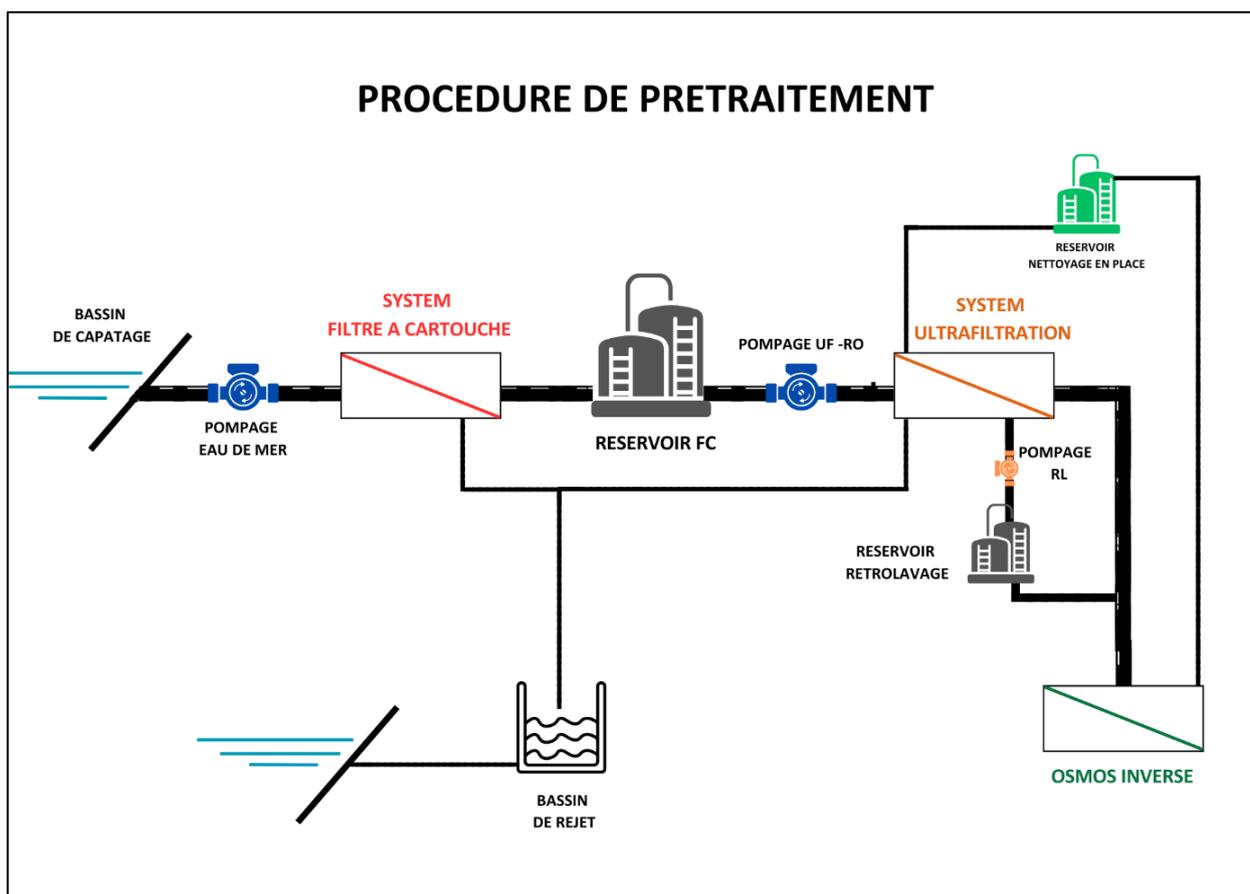


Figure VII. 1 : Plan diagramme de flux et de Fonctionnement de système de prétraitement

Il est préférable d'opter pour un prétraitement membranaire tel que l'ultrafiltration. Cette solution est particulièrement avantageuse en raison du manque d'espace disponible et de protéger ce système avec une filtration à cartouche.

VII.3 Dimensionnement de la Chain de prétraitement

VII.3.1 Dimensionnement de système d'ultrafiltration

Le système d'ultrafiltration fonction en 3 étape ou bien 3 mode , mode de filtration , mode de retro lavage et mode de nettoyage en place alors le dimensionnement de système doit être pour garantir le bon fonctionnement des 3 étapes .

VII.3.1.1 Calcul du débit de production nécessaire par l'ultrafiltration

La station de dessalement de Magtaa est conçue pour produire un grand débit de 500 000 m³/j avec un taux de Conversion de 42 % du système d'osmose inverse. Par conséquent, pour déterminer le débit de production requis pour l'ultrafiltration, il est essentiel de calculer le débit d'alimentation nécessaire pour l'osmose inverse par la relation suivant .

$$Q_{AL} \left(\frac{m^3}{j} \right) = \frac{Q_P \left(\frac{m^3}{j} \right)}{Y \%} \cong 1\,200\,000 \left(\frac{m^3}{j} \right)$$

Avec

Q_{AL} : débit d'alimentation en m³/j

Q_P : débit de perméat en m³/j

Y : taux de conversion en %

Le débit de production de l'ultrafiltration est de 1 200 000 m³/j, avec un fonctionnement de la station réparti sur deux lignes de production, chacune indépendante de l'autre. Cette configuration garantit la continuité partielle de la production en cas d'arrêt ou de problème sur l'une des lignes. Par conséquent, tous les calculs de dimensionnement doivent être effectués pour une seule ligne, avec un débit de production d'ultrafiltration de 600 000 m³/j par ligne.

VII.3.1.2 Choix de type des membranes d'ultrafiltration

Le dimensionnement des unités d'ultrafiltration est réalisé en utilisant les modules de membranes UF Kristal™ fabriqués par l'entreprise singapourienne Hyflux, disponibles sur le marché algérien et déjà employés dans les stations de dessalement de Magtaa et Souk Tleta à Tlemcen.

Le choix de module d'ultra filtration est basé sur le module qui convient à la qualité de l'eau de mer de conception mentionnée dans le tableau suivant

Tableau VII.1 : paramètres de qualité de l'eau de mer de magtaa

paramètre	unités	valeur
Température	C°	25
Total des matières solide en suspension MES	mg/l	21
Total des matières solide Dissoutes TDS	mg/l	39000
pétrole et hydrocarbures	mg/l	<0.05
pH		8.2
Carbone organique total COT	mg/l	0.5
Turbidity	NTU	4.5
Calcium Ca+(2)	mg/l	490
Magnésium Mg+(2)	mg/l	1550
Sodium Na+	mg/l	11960
Potassium K+	mg/l	535
Strontium Sr+(2)	mg/l	10

Les paramètres essentiels pour choisir un module d'ultrafiltration adapté incluent la turbidité, la teneur en carbone organique total, ainsi que le débit spécifique du module, qui doit répondre aux exigences de production. Selon la fiche technique des membranes fournie par le fabricant Hyflux, le modèle le plus approprié pour le dimensionnement est le Kristal K2000T, présentant les caractéristiques suivantes tableau VII.2 :

Tableau VII.2 : Caractéristiques de perméateur K2000T

Modèles	Hyflux K2000T
Taille nominale des pores (DA)	150 000
debit de conception (L/m ² .h)	75
Surface de filtration du module (m ²)	60
Pression de fonctionnement max(bar)	2.5

VII.3.1.3 Dimensionnement de système de filtration

Dans le dimensionnement du système de filtration la première étape est de déterminer le nombre des module d'ultra filtration nécessaires pour le production d'un débit horaire de 25 000 m³/h .

Le nombre des modules est calculer par la relation suivante :

$$Nm = \frac{At (m^2)}{Am (m^2)}$$

Avec

Nm : nombre des modules

At : Surface de filtration total en m²

Am : Surface de filtration de module en m²

La surface de filtration est la surface totale disponible sur un filtre pour permettre le passage du fluide à travers le matériau filtrant. Cette surface est généralement exprimée en mètres carrés (m²) et représente l'aire effective du matériau filtrant, comme une membrane, un tissu ou un lit de sable, qui entre en contact avec le fluide pour retenir les particules indésirables.

La surface de filtration est simplement le rapport entre le de débit de production et le débit spécifique d'un module :

$$At \text{ (m}^2\text{)} = \frac{Qpr \text{ m}^3\text{/h}}{Qc \text{ (spécifique) (L/m}^2\text{.h)}}$$

Avec

At : Surface de filtration total en m²

Qpr : débit de production d'une ligne en m³/h

Qc : débit de conception (spécifique) d'une membrane en (L/m².h)

La surface de filtration total dans une ligne de production est de 333 333 m²

Le nombre des modules d'ultrafiltration dans ligne de production est 5556

Pour des raisons d'implantation des unité d'ultra filtration en va rendre le nombre des membrane jusqu'à 6000 membrane .

Les modules Kristal® sont généralement disposés en rangées parallèles et connectés par des collecteurs pour former un train. L'ensemble du train est exploité, rincé en contre-courant, nettoyé et testé pour son intégrité comme une entité unique. Les modules Kristal® peuvent être installés dans des trains de tailles variées pour s'adapter aux différentes capacités des installations , le model des train adéquat au notre besoin c'est le MK-40 .

Le modèle Mk40 peut alimenter jusqu'à 40 membranes K2000T. La configuration des trains et des unités d'ultrafiltration est indiquée dans le tableau au-dessus

Tableau VII.3 : arrangement de système d'ultrafiltration pour une ligne de production

Nombre des uniter de filtration	5
Nombre des train	150
Nombre des modules	6 000
Surface du filtration total (m²)	360 000
Débit produit par ce arrangement m³/h	27 000

pour une ligne de production de 25 000 m³/j en ultrafiltration, le bâtiment UF comprendra 5 unités de filtration, avec un total de 150 trains, soit 30 trains par unité, chaque train étant équipé de 40 membranes.

VII.3.1.4 Dimensionnement de système de retro lavage

Lors du dimensionnement de ce système, il est essentiel de déterminer le débit requis pour le rétro lavage, la fréquence de nettoyage de chaque train, ainsi que le nombre de trains soumis au rétro lavage simultanément, tout en respectant les instructions fournies par le fabricant des membranes.

Le mode d'emploi donné pour le constructeur sur le système retro lavage et mention dans le tableau suivant :

Tableau VII.4 : mode d'emploi de système retro lavage

Fréquence de retrolavage (min)	30-45
Duration de procédure (seconde)	90-120
Debit de retrolavage par module (m³/h)	5-7

Pour déterminer le débit nécessaire pour retro lave un train en prend en considération le cas défavorable de 7 m³/h de débit pour retro lave un module alors le débit de retro lavage d'un train est :

$$Q_{RM} (m^3/h) \times N_{/T} = 280 m^3/h$$

Avec

Q_{RM} : Débit de retro lavage par module (m³/h)

N_{/T} : nombres des module par train

La fréquence de retro lavage adéquat au système d'ultra filtration dépend sur le durée de procédure en va prendre le cas défavorable qui est 120 seconde de nettoyage , le nombre de trains subit au retro lavage au même temps et le débit de production de système avec l'arrangement de dimensionnement .

Avec la relation suivante en peut déterminer le nombre des trains retro lavé simultanément et la fréquence de procédure .

$$\frac{N_{TT}}{N_{TR}} \times T_R$$

Avec

N_{TT} : nombre des trains total

N_{TR} : nombre des train retro lave simultanément

T_R : duration de procédure

Le tableau VII.5 présente les itérations effectuées pour déterminer la valeur qui respecte la fréquence de rétro lavage recommandée par le fabricant, tout en maintenant le débit de production de l'unité.

Tableau VII.5 : nombre des train retro- lave simultanément et le débit de production

nombre des train retro-lave simultanément	Fréquence de procédure (min)	débit de retro lavage (m ³ /h)	débit de production nécessaire (m ³ /h)
1	300	280	25280
2	150	560	25560
3	100	840	25840
4	75	1120	26120
5	60	1400	26400
6	50	1680	26680
7	43	1960	26960
8	38	2240	27240

Le choix de rétro laver simultanément 7 trains permet de respecter la fréquence de procédure, qui doit être comprise entre 30 et 45 minutes, tout en maintenant un débit de production de 27 000 m³/h , et un débit de retro lavage de 1960 m³/h .

VII.3.1.5 Dimensionnement du système de nettoyage en place NEP

Le dimensionnement du système NEP (Nettoyage en Place) se réalise en déterminant la fréquence de nettoyage chimique des trains, le nombre de trains à nettoyer simultanément, ainsi que le débit requis pour la procédure, tout en respectant les instructions du fabricant des membranes.

Le mode d'emploi donné pour le constructeur sur le système NEP et mention dans le tableau suivant :

Tableau VII.6 : mode d'emploi de système NEP

Fréquence de NEP chaque (jour)	7-10
Duration de procédure (heurs)	1-2
Debit de NEP par module (m ³ /h)	3-6

En fonction du nombre de trains retenu lors du dimensionnement (150 trains), la fréquence de nettoyage en place (NEP) adéquate est déterminée par le nombre de trains nettoyés chaque jour de production.

$$F_{NEP} = \frac{N_{TT}}{N_{NEP}}$$

Avec

N_{TT} : nombre des trains total

F_{NEP} : fréquence de nettoyage en place

N_{NEP} : nombre des train subit au nettoyage en place

Après plusieurs itération le nombre des train NEP qui respecte le mode d'emploi c'est 20 train par jour avec une fréquence de 8 jours .

Pour calculer le débit nécessaire au NEP, il est essentiel de déterminer le nombre de trains soumis au nettoyage simultanément, en tenant compte du nombre total de trains à nettoyer

$$\text{Debit pour NEP m}^3/\text{h} = \text{Debit de NEP par module} \times \text{Nombre de trains NEP}$$

Avec

Q_{NEP} : débit de nettoyage en place en m^3/h

$Q_{\text{NEP/M}}$: débit de nettoyage en place pour un module en m^3/h

N_{NEP} : nombre des train subit au nettoyage en place

Le nombre de trains nettoyés simultanément, en tenant compte des heures requises pour la procédure, est de 2 trains à la fois. Cela implique que le débit nécessaire pour le NEP est de $480 \text{ m}^3/\text{h}$.

VII.3.1.6 Dimensionnement du réservoir de retro lavage et de NEP

Ces réservoirs doivent être dimensionnés de manière à garantir un approvisionnement en eau suffisant pour les cycles de rétro lavage et de nettoyage chimique, tout en respectant les contraintes opérationnelles telles que le débit nécessaire et le temps de rétention.

$$V(\text{m}^3) = Q\left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}}\right) \times T_s(\text{h})$$

V : volume de réservoir en m^3

Q : Débit requis (m^3/h)

T_s : temps de rétention

Le temps de rétention doit être le temps nécessaire pour accomplir efficacement chaque phase du rétro lavage ou du nettoyage chimique.

Les résultat du calcul sont mentionné dans le tableau suivant :

Tableau VII.7 : volume de réservoir des systèmes RL et NEP

réservoir	Débit requis (m^3/h)	temps de rétention (h)	volume de réservoir (m^3)
Retro lavage	1960	1	1960
NEP	480	2	960

VII.3.1.7 Dimensionnement des conduite de système d'ultrafiltration

Les conduites doivent être dimensionnées pour garantir un débit uniforme, minimiser les pertes de charge, et prévenir les risques de colmatage ou de déséquilibre hydraulique , dans les trois phase (filtration , retro lavage , nettoyage en place NEP) .

La vitesse admissible de dimensionnement doit être entre 2 et 3 m/s alors pour déterminer le diamètre calculé des conduites en se base sur les relations suivantes :

$$S = \frac{Q}{V_a} = \Pi \times \frac{D_c^2}{4} \rightarrow D_c = \sqrt{\frac{S \times 4}{\Pi}}$$

V_a : Vitesse admissible (m/s)

Q : Débit (m³/h)

S : section de conduite

D_c : Diamètre calculé des conduites (mm)

$$V_c = \frac{4 \times Q}{\Pi \times D^2}$$

V_c : Vitesse des conduites corrigées (m/s)

D : Diamètre choisi des conduites (mm)

Les résultats des calculs et les diamètre des conduites choisi dans le tableau au-dessous :

Tableau VII.8 : les conduites choisi pour unité d'ultrafiltration

Conduite		UF - UNITE	UF-TRAIN	UF-retro lavage	UF-NEP
Densité eau de mer (kg/m ³)	ρ	1035	1035	1036	1036
Débit (m ³ /h)	Q	6750	180	1960	960
Vitesse admissible (m/s)	V_a	3	3	3	3
Diamètre calculé des conduites (mm)	D_c	798	146	481	337
Diamètre sélectionné (mm)	D	900	150	500	400
Vitesse des conduites corrigées (m/s)	V	3.0	2.8	2.8	2.1
Matériau		FRP-GRP	PEHD	FRP-GRP	FRP-GRP

VII.3.2 Dimensionnement de système de filtre a cartouche

Le choix des filtres a cartouche dépend sur deux paramètres les distribution granulométrique des matières en suspension et le débit de filtration .

Tableau VII.9 : la distribution granulométrie des eaux de mer de magtaa

diamètre des particules (μm)	% cummle
15	98%
10	97%
8	96%
7	95%
6	94%
5	90%
4	84%
3	64%
2	42%
1	12%

Le tableau VII.9 mentionner la distribution granulométrique des eaux de mer de cette région et comme indiqué le tableau la majorité des diamètre des particules en suspension sont entre 10 et 1 um

Pour le dimensionnement des filtres à cartouche, nous opterons pour les filtres de la marque Dutch Filtration, réputés pour leur haut débit et leur capacité de rétention élevée. Ces filtres assurent une élimination des particules à hauteur de 99,98%, offrant ainsi une performance optimale pour les applications de prétraitement dans les systèmes de filtration.

Tableau VII.10 : spécifications filtre a cartouche Dutch filtration

Spécifications	Détails
Classement micronique	0,5 - 100 microns
Rapport bêta	5000 (efficacité de 99,98%)
Média filtrant	Fibre de verre ou polypropylène plissé
Couvercles et média du noyau	Polypropylène
Matériau du joint	BUNA (autres sur demande)
Longueur	20-80 pouces
Diamètre extérieur	6 pouces (152 mm)
Température maximale de fonctionnement	85°C (185°F) / Haute température 135°C (275°F)
Pression différentielle maximale	5,5 bars à 25°C (80 psi à 77°F)
Débit maximal recommandé	80 m ³ /h pour 40 pouces (352 GPM) / 114 m ³ /h pour 60 pouces (502 GPM)
Pression différentielle recommandée	2,5 bars (37 psi)

VII.3.2.1 Calcul les concentration des matières en suspension à éliminer

Avec une filtration en série de 4 étages, utilisant des filtres de diamètres successifs de 10 µm, 4 µm, 2 µm, et enfin 1 µm, il est possible de calculer la concentration des MES (matières en suspension) éliminées à chaque étape. En prenant en compte que la concentration initiale des MES dans l'eau de mer de Magtaa est de 21 mg/L, chaque étage de filtration permettra de réduire progressivement cette charge, en fonction de l'efficacité spécifique de chaque filtre.

Tableau VII.11 : les concentration des matière en suspension éliminer dans chaque étage

(D) µm	Model FC	longeur (pouce)	Diameter (pouce)	C MES elimine (mg/l)	C MES rest (mg/l)
10	e DHFPAP10-80	80	4	0.63	20.37
4	e DHFPAP4-80	80	4	2.73	17.64
2	e DHFPAP2-80	80	4	8.82	8.82
1	e DHFPAP1-80	80	4	6.30	2.52

$$C_{MES \text{ eliminer}} = C_{MES \text{ initiale}} \times \% \text{ cummuler des particule} \times \tau\%$$

C_{MES} : concentration des matière en suspension initial en mg/l

C_{MES} : concentration des MES éliminer par étage en mg/l

τ : taux de filtration des cartouche

VII.3.2.2 Dimensionnement de filtres a cartouche

Le dimensionnement des filtres à cartouche est déterminé par le taux de charge hydraulique appliqué à un filtre de 10 pouces de longueur. Pour un dimensionnement optimal, ce taux de charge hydraulique doit se situer entre 0,7 et 0,9 m³/h.

Pour déterminer le nombre de filtres à cartouche en fonction des dimensions sélectionnées, il est nécessaire de calculer d'abord le nombre requis pour un filtre standard de 10 pouces, en utilisant la charge hydraulique défavorable maximale de 0,9 m³/h. Ensuite, ce nombre est ajusté en fonction des dimensions spécifiques du filtre choisi.

$$\text{NCR} = \frac{Q_{PE}}{\text{THR} \times \frac{L_c}{L_d}}$$

NCR : nombre des filtres a cartouche par étage

THR : taux de charge hydraulique en (m³/h)

Lc : longueur de filtre a cartouche choisi

Ld : longueur de filtre a cartouche de dimensionnement (10 pouce)

Q_{PE} : débit produit par chaque étage en (m³/h)

Le nombre de cartouches de 80 pouces requis pour un débit de 27 500 m³/h est estimé à 3 819 cartouches par étage. Ce nombre peut varier en fonction de la configuration des unités de filtration, tout en maintenant la charge hydraulique appliquée sur chaque filtre.

VII.3.2.3 Arrangement des unité de filtration

L'installation des filtres à cartouche sera réalisée avec des cuves, chaque cuve abritant 25 cartouches. Chaque unité de filtration comprendra deux cuves, pour un total de 50 cartouches par unité. Les unités de filtration **DFCB24** sont dimensionnées et certifiées conformément à la norme **DNV 2.7-1**.

Tableau VII.12 : SPÉCIFICATIONS DE L'UNITÉ DE FILTRATION COMBINÉE À DOUBLE CUVE

Spécifications	Détails
Débit maximal recommandé	18 BPM (172 m ³ /h)
Pression de conception	145 psi (10 bar)
Température maximale de fonctionnement	212 °F (100 °C)
Code de conception du cadre	Certifié DNV 2.7-1 / ISO10855 / EN12079
Code de conception des cuves	Certifié PED 2014/68/EU, Module A, Groupe de fluides 1 (fluides dangereux)
Point de consigne de la soupape de sécurité	145 psi (10 bar)
Fermeture de la cuve	Fermeture rapide Rudi 24" (sans outils ni boulons) / Fermeture à boulons oscillants

Levage	Élingues de levage (certifiées) et poches pour chariot élévateur
Diamètre de la cuve	24" (600 mm)
Nombre de cartouches/sacs	50 cartouches ou 4 sacs
Diamètre des cartouches	2,5"
Type de joint pour les sacs	Anneau rigide
Longueur des cartouches/sacs	40" plug-in type 222 / longueur 2
Diamètre	4"
Poids (à vide)	3417 lbs (1550 kg)
Dimensions (L x l x H)	7,55 x 4,3 x 7,2 ft (2,3 x 1,3 x 2,2 m)
Entrée/Sortie	Union 4" fig. 206 pouce à 4" NPT-M
Vidange	Vanne à bille 1" SS316 avec filetage BSP-F 1"
Évent	Vanne à bille 1" SS316 avec filetage BSP-F 1"
Vannes principales	Vanne papillon 4" avec corps en fonte, siège en NBR et disque en SS316
Instruments	2 manomètres ; jauges de pression entrée/sortie 0-150 psi (0-10 bar)
Matériau des cuves et tuyauterie	SS316 (toutes les parties en contact avec le fluide)
Matériau du cadre	Acier au carbone, revêtement époxy RAL 6017 (autres couleurs sur demande)

Pour l'agencement des unités de filtration dans le bâtiment de filtration à cartouche, nous allons organiser une ligne de production, avec une disposition identique pour l'autre ligne. Chaque bâtiment sera divisé en 4 blocs, séparés par un espacement de 3 mètres. Chaque bloc contiendra 80 unités,

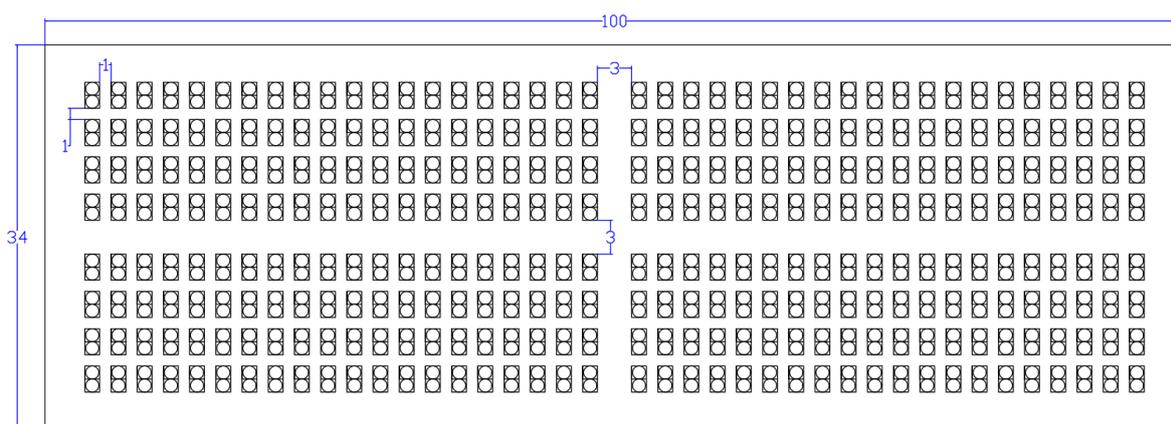


Figure VII.2 : implantation des unités de filtre à cartouche dans le bâtiment de FC

Les unités étant regroupées par deux en parallèle pour assurer une filtration en quatre étages. Un espacement de 1 mètre sera maintenu entre chaque unité pour faciliter l'accès et l'entretien.

VII.3.2.4 Conception de système filtre a cartouche (FC)

Suite à l'arrangement des unités de filtration avec 80 unités par bloc, le nombre de cartouches par étage s'élève à 4000. Cette configuration respecte le débit maximal des cuves ainsi que le taux de charge hydraulique appliqué sur les cartouches, garantissant une efficacité optimale du système de filtration.

Pour déterminer la durée de nettoyage des filtres, il est essentiel d'évaluer la capacité de rétention maximale des matières en suspension. Chaque filtre possède une capacité de rétention, ou (Dirt Holding Capacity) (DHC), qui dépend de son diamètre. Cette capacité détermine la quantité maximale de contaminants que le filtre peut retenir avant qu'un nettoyage ou un remplacement soit nécessaire, ce qui, à son tour, influence la fréquence et la durée des cycles de nettoyage.

$$DHC_A = \frac{L_c}{L_d} \times DHC_C$$

L_c : longueur de filtre a cartouche choisi

L_d : longueur de filtre a cartouche de dimensionnement (10 pouce)

DHC_A : Capacité de rétention des MES admissible

DHC_C : Capacité de rétention des MES calculé

$$DHC_C = Q_{\text{cartouche}} \times D_F \times C_{\text{MES éliminé}}$$

Q_{cartouche} : débit produit par une cartouche en (m³/h)

D_F : durée de fonctionnement des cartouche avant le nettoyage en (heurs)

C_{MES éliminé} : concentration des MES éliminer par étage en (mg/l)

Les résultats du calcul sont présentés dans le tableau ci-dessous, incluant le DHC admissible, le DHC calculé, ainsi que la fréquence de nettoyage correspondante.

Tableau VII.13 : calcule de fréquence de nettoyage et les capacité de rétention

(D) μm	model	DHC admissible (kg)	Nombre des cartouche	Q/cartouche (m ³ /h)	Durée de fonctionnement (h)	DHC Calculé (kg)
10	e DHFPAP10	3.2	4000	6.88	735	3.12
4	e DHFPAP4	2.8	4000	6.88	145	2.7
2	e DHFPAP2	2.4	4000	6.88	35	1.46
1	e DHFPAP1	2.4	4000	6.88	55	2.08

Vérification de taux de charge hydraulique appliqué sur les cartouches selon l'arrangement actuelle des unité .

$$THR_{\text{verifier}} = \frac{Q_{\text{cartouche}}}{\frac{L_c}{L_d}}$$

L_c : longueur de filtre a cartouche choisi

L_d : longueur de filtre a cartouche de dimensionnement (10 pouce)

Q_{cartouche} : débit produit par une cartouche en (m³/h)

THR : taux de charge hydraulique en (m³/h)

$$THR_{verifier} = \frac{6.88}{8} = 0.86 \rightarrow 0.7 \leq 0.86 \leq 0.9$$

VII.3.2.5 Dimensionnement des conduite de système filtre a cartouche (FC)

Les conduites doivent être dimensionnées de manière à assurer un débit uniforme, à minimiser les pertes de charge, et à prévenir les risques de colmatage ou de déséquilibre hydraulique dans l'alimentation du bâtiment de filtration à cartouche, des blocs, ainsi que des unités.

La vitesse admissible de dimensionnement doit être entre 2 et 3 m/s alors pour déterminer le diamètre calculé des conduites en se base sur les relations suivantes :

$$S = \frac{Q}{V_a} = \Pi \times \frac{D_c^2}{4} \rightarrow D_c = \sqrt{\frac{S \times 4}{\Pi}}$$

V_a : Vitesse admissible (m/s)

Q : Débit (m³/h)

S : section de conduite

D_c : Diamètre calculé des conduites (mm)

$$V_c = \frac{4 \times Q}{\Pi \times D^2}$$

V_c : Vitesse des conduites corrigées (m/s)

D : Diamètre choisi des conduites (mm)

Les résultats des calculs et les diamètre des conduites choisi dans le tableau au-dessous :

Tableau VII.14 : les conduites choisi pour unité de filtre a cartouche

Conduite		FC - BATIMENT	FC- BLOC	FC-ETAGE	UF-UNITE
Densité eau de mer (kg/m ³)	ρ	1035	1035	1035	1035
Débit (m ³ /h)	Q	13750	6875	3438	172
Vitesse admissible (m/s)	V_a	3	3	3	3
Diamètre calculé des conduites (mm)	D_c	1274	901	637	142
Diamètre sélectionné (mm)	D	1300	900	700	150
Vitesse des conduites corrigées (m/s)	V	2.9	3.0	2.5	2.7
Matériau		FRP-GRP	FRP-GRP	FRP-GRP	PRHD

VII.3.2.6 Dimensionnement de réservoir d'eau filtré

Ce réservoir garantie la régulation des flux entre les différentes étapes du processus de prétraitement, en garantissant une réserve suffisante d'eau filtrée pour répondre aux besoins en aval, tout en maintenant une qualité constante. Le dimensionnement précis de ce réservoir permet non d'assurer une continuité opérationnelle.

Le temps de rétention de ce réservoir est réduit en raison de la contrainte d'espace disponible, ce qui impose une optimisation rigoureuse du volume de stockage tout en maintenant l'efficacité du processus de filtration.

Tableau VII.15 : volume de réservoir d'eau filtre par les filtre a cartouche

réservoir	Débit requis (m ³ /h)	temps de rétention (h)	volume de réservoir (m ³)
FC	27500	0.25	6900

VII.3.3 Dimensionnement de station de pompage d'eau de mer

Pour assurer un débit de 55 000 m³/h sur les deux lignes de production, la station de pompage d'eau de mer est équipée de 4 pompes en fonctionnement et 1 pompe de réserve. Chaque paire de pompes est dédiée à une ligne de production distincte.

VII.3.3.1 Calcul de la hauteur manométrique totale (HMT)

Le calcul de la Hauteur Manométrique Totale (HMT) dans la conception et le dimensionnement des systèmes de pompage. La HMT représente la somme des hauteurs d'élévation, des pertes de charge linéaires et singulières, et de la pression requise pour le bon fonctionnement du système. Ce calcul permet de déterminer la puissance nécessaire pour garantir un débit optimal à travers les conduites et équipements

$$\text{HMT} = \text{Hg} + \Sigma\Delta\text{H}$$

Pour le choix des diamètres des conduites dans le calcul hydraulique des stations d'eau de mer, il est impératif de prendre en compte les critères suivants :

- La vitesse d'aspiration maximale des pompes, qui ne doit pas excéder 1,5 m/s.
- Les vitesses maximales de refoulement, qui doivent être comprises entre 2,8 et 3,0 m/s.

La conception des conduites d'aspiration doit prendre en compte plusieurs paramètres clés afin d'optimiser leur performance. Tout d'abord, il est recommandé que la conduite d'aspiration soit dimensionnée pour une vitesse maximale de 1,5 m/s afin de garantir une circulation fluide et éviter les turbulences excessives. Pour éviter la formation de poches d'air.

la conduite doit être inclinée vers le haut en direction des pompes et doit être aussi courte que possible, tout en respectant une longueur minimale équivalente à son diamètre. De plus, il est essentiel d'utiliser un réducteur excentrique pour ajuster le diamètre de la conduite d'aspiration jusqu'à l'ouverture d'aspiration de la pompe, ce qui aide à prévenir les accumulations d'air. Enfin, une vanne doit être installée sur la conduite d'aspiration pour permettre l'isolement de la pompe. La tige de la vanne devrait être montée horizontalement afin d'éviter la formation de poches d'air et d'assurer un fonctionnement optimal du système de pompage.

VII.3.3.2 Calcul des pertes de charges

Les pertes de charge, ΔH , due à l'écoulement de l'eau de mer dans une conduite en charge sont la somme des pertes de charges linéaires et singulières

$$\Sigma\Delta H = \Sigma\Delta H_{\text{Linéaire}} + \Sigma\Delta H_{\text{Singulières}}$$

- **Pertes de charges linéaires**

Les pertes de charge linéaires sont calculées comme suit :

$$\Sigma\Delta H_{\text{Linéaire}} = \lambda \frac{L V^2}{D 2g}$$

Où :

λ : Coefficient de pertes de charges linéaires.

$$\lambda = \frac{64}{\text{Re}} \quad \text{Si } \text{Re} < 2000$$

$$\lambda = 0.316 \times \text{Re}^{-0.25} \quad \text{Si } 2000 < \text{Re} < 100000$$

$$\lambda = 2 \log \left(\frac{\varepsilon}{3.71 \times D} + \frac{2.51}{\text{Re} \times \sqrt{\lambda}} \right) \quad \text{Si } \text{Re} > 100000$$

$$\text{Re} = \frac{V \cdot D}{\nu}$$

L : longueur de la conduite.

ρ : densité d'eau de mer (1030 kg/m³ pour la mer méditerranée).

D : diamètre intérieure de la conduite.

V : vitesse d'écoulement dans la conduite.

g : accélération de la pesanteur (9.81 m/s²)

ν : viscosité cinématique

- **Pertes de charges singulières**

$$\Sigma\Delta H_{\text{Singulières}} = K \frac{V^2}{2g}$$

K : coefficient de pertes de charges singulière (voir tableau de Coefficient de pertes de charges singulières)

V : vitesse d'écoulement dans la conduite.

g : accélération de la pesanteur (9.81 m/s²)

Les résultats des calcul Diamètre des conduites , pertes charges linéaire et singulière sont mentionnées dans les tableaux :

Tableau VII.16 : Calcul hydraulique partie refoulement

Calcul hydraulique partie refoulement					
Conduite		FC - BATIMENT	FC- BLOC	FC-ETAGE	UF- UNITE
Densité eau de mer (kg/m ³)	ρ	1035	1035	1035	1035
Débit (m ³ /h)	Q	13750	6875	3438	172
Vitesse admissible (m/s)	V_a	3	3	3	3
Diamètre calculé des conduites (mm)	D_c	1274	901	637	142
Diamètre sélectionné (mm)	D	1300	900	700	150
Vitesse des conduites corrigées (m/s)	V	2.9	3.0	2.5	2.7
Matériau	/	FRP-GRP	FRP-GRP	FRP-GRP	PEHD
Rugosité Absolue (mm)	ϵ	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015
Rugosité relative	ϵ/D	1.15E-06	1.67E-06	2.14E-06	1.00E-05
Accélération de la pesanteur	g	9.81	9.81	9.81	9.81
Viscosité dynamique (Pa.s)	η	0.0012	0.0012	0.0012	0.0012
Viscosité cinématique (m ² /s)	U	1.17005E-06	1.17E-06	1.17005E-06	1.17E-06
Nombre de Reynolds	Re	3198773	2310225	1485145	346534
Linéaire des conduites (m)	L	305	80	45	4
Coefficient de perte de charge linéaire	λ	0.0097	0.0102	0.0109	0.0141
Pertes de charge linéaires ΔH (m)		0.9606	0.4169	0.2209	0.1402
$\Sigma \Delta H_{\text{linéaire}}$ (m)		1.7386			

La somme des pertes charge linéaire dans la partie de refoulement est de 1.7386 m

Tableau VII.17 : Calcul hydraulique partie aspiration

Calcul hydraulique partie aspiration		
Conduite		
Densité eau de mer (kg/m ³)	ρ	1035
Débit (m ³ /h)	Q	13750
Vitesse admissible (m/s)	V_a	1.5
Diamètre calculé des conduites (mm)	D_c	1801
Diamètre sélectionné (mm)	D	1800
Vitesse des conduites corrigées (m/s)	V	1.5
Matériau	/	FRP-GRP
Rugosité Absolue (mm)	ϵ	0.0015
Rugosité relative	ϵ/D	8.33E-07

Accélération de la pesanteur	g	9.81
Viscosité dynamique (Pa.s)	η	0.0012
Viscosité cinématique (m ² /s)	U	1.17005E-06
Nombre de Reynolds	Re	2310225
Linéaire des conduites (m)	L	12
Coefficient de perte de charge linéaire	λ	0.0102
Pertes de charge linéaires ΔH (m)		0.0052

La somme des pertes charge linéaire dans la partie d'aspiration est de 0.0052 m

Tableau VII.18 : Calcul hydraulique des pertes charge singulier partie aspiration et refoulement

Pertes de charge singulières	coefficient de pertes de charges singulière	nombre	total
aspiration			
Coude 90°	0.75	1	0.75
Vanne	0.05	1	0.05
Joint dilatation	0.2	1	0.2
Réducteur (Convergeant)	0.9	1	0.9
K : coef Pertes de charge singulières (m)			1.9
Pertes de charge singulières total d'aspiration (m)			0.218
refoulement		nombre	total
Coude 90°	0.75	15	11.25
Coude 45°	0.35	0	0
Vanne	0.05	8	0.4
Clapet anti retour	2	1	2
Joint dilatation	0.2	1	0.2
Réducteur (Divergeant)	0.4	1	0.4
Réducteur (Convergeant)	0.9	1	0.9
Fluid from pipe to tank	1	1	1
K : coef Pertes de charge singulières (m)			16.15
Pertes de charge singulières total refoulement (m)			6.823

La hauteur manométrique totale (HMT) doit garantir une pression minimale de 2 bars pour chaque filtre à cartouche. De plus, la hauteur d'élévation doit être suffisante pour maintenir un niveau entre le fond du bassin de captage 11m et le réservoir d'eau filtrée, en prévoyant une rétention de 30 minutes pour protéger les pompes en cas d'arrêt brusque.

$$\text{HMT} = H_g + \Sigma\Delta H + \text{pression de CF (2bar)}$$

$$\text{HMT} = 14 + 1.75 + 7 + 40 = 63 \text{ m}$$

- **Caractéristique des pompes d'eau de mer**
 Débit : 13750 m³/h
 HMT : 63 m

VII.3.3.3 Arrangements des pompe d'eau de mer

L'implantation et l'arrangement des pompes doivent être réalisés conformément au code ANSI/HI 9.8, qui établit les normes pour la disposition, l'installation, et l'efficacité des pompes afin de minimiser les pertes de charge et optimiser le rendement. Ce code couvre également les exigences relatives à l'espacement, à l'alignement, ainsi qu'aux dimensions des tuyauteries d'aspiration et de refoulement, garantissant ainsi un fonctionnement fiable et une maintenance facilitée

Le code ANSI/HI 9.8 est une norme publiée par l'American National Standards Institute (ANSI) et l'Hydraulique Institute (HI). Cette norme traite spécifiquement des recommandations pour la conception et l'installation des systèmes de tuyauterie d'aspiration et refoulement des pompes (Poulain, 2004).

Tableau VII.19 : arrangement des pompes selon ANSI /HI

D_2/D_1	L_1	L_2
>0.3	$\geq 2D_1$	$\geq 5D_2$
<0.3	$\geq 3D_2$	$\geq 5D_2$

$$D1 = 1800 \text{ mm} \quad D2 = 1300 \text{ mm} \rightarrow D2/D1 = 0.72 \geq 0.3$$

$$L1 = 2D1 = 3.6 \text{ m} \quad L2 = 5D2 = 6.5 \text{ m}$$

Avec

D1 : diamètre de conduite qui relie entre deux conduit de refoulement en mm

D2 : diamètre de conduite de refoulement en mm

L1 : espacement en les pompes en m

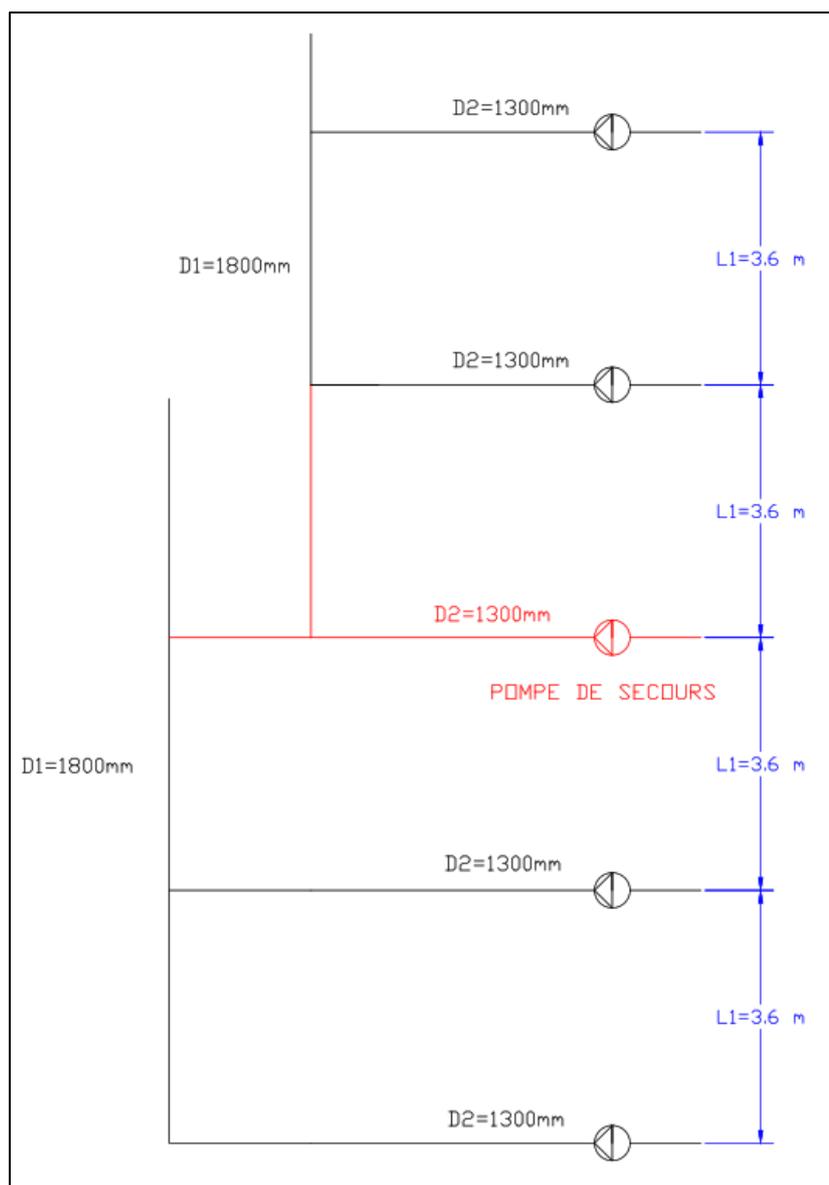


Figure VII.3 : Arrangements des pompe d'eau de mer

VII.3.4 Dimensionnement de station de pompage intermédiaire

Le dimensionnement de la station de pompage intermédiaire doit garantir un débit stable et fiable. Cette station sera équipée de quatre pompes principales, chacune conçue pour délivrer un débit de $6750\text{m}^3/\text{h}$, afin de satisfaire les exigences hydrauliques du processus. De plus, une pompe de secours seront intégrées pour assurer la redondance opérationnelle,

La hauteur manométrique doit être conçue pour garantir la pression d'alimentation nécessaire aux membranes d'ultrafiltration ainsi que la pression d'entrée adéquate dans le bâtiment de l'osmose inverse (RO). Cela assure un fonctionnement optimal du processus de filtration, en maintenant des conditions de pression stables et adaptées à chaque étape du traitement.

Les résultats des calcul Diamètre des conduites , pertes charges linéaire et singulière sont mentionnées dans les tableaux

Tableau VII.20 : calcul hydraulique des perte charge linéaire dans les partie refoulement et aspiration

Calcul hydraulique partie refoulement		
Conduite		
Densité eau de mer (kg/m ³)	ρ	1035
Débit (m ³ /h)	Q	5400
Vitesse admissible (m/s)	V_a	2.8
Diamètre calculé des conduites (mm)	D_c	826
Diamètre sélectionné (mm)	D	800
Vitesse des conduites corrigées (m/s)	V	3.0
Matériau	/	FRP-GRP
Rugosité Absolue (mm)	ϵ	0.0015
Rugosité relative	ϵ/D	1.88E-06
Accélération de la pesanteur	g	9.81
Viscosité dynamique (Pa.s)	η	0.0012
Viscosité cinématique (m ² /s)	U	1.17E-06
Nombre de Reynolds	Re	2041399
Linéaire des conduites (m)	L	123
Coefficient de perte de charge linéaire	λ	0.0104
Pertes de charge linéaires ΔH (m)		0.6196
Calcul hydraulique partie aspiration		
Conduite		
Densité eau de mer (kg/m ³)	ρ	1035
Débit (m ³ /h)	Q	5400
Vitesse admissible (m/s)	V_a	1.5
Diamètre calculé des conduites (mm)	D_c	1129
Diamètre sélectionné (mm)	D	1200
Vitesse des conduites corrigées (m/s)	V	1.3
Matériau	/	FRP-GRP
Rugosité Absolue (mm)	ϵ	0.0015
Rugosité relative	ϵ/D	1.25E-06
Accélération de la pesanteur	g	9.81
Viscosité dynamique (Pa.s)	η	0.0012
Viscosité cinématique (m ² /s)	U	1.17E-06
Nombre de Reynolds	Re	1360932
Linéaire des conduites (m)	L	4
Coefficient de perte de charge linéaire	λ	0.0111
Pertes de charge linéaires ΔH (m)		0.0034

Tableau VII.21 : calcul hydraulique des pertes de charge singulière dans les parties refoulement et aspiration

Pertes de charge singulières	coefficient de pertes de charges singulière	nombre	total
aspiration			
Coude 90°	0.75	1	0.75
Vanne	0.05	1	0.05
Joint dilatation	0.2	1	0.2
Réducteur (Convergeant)	0.9	1	0.9
Pertes de charge singulières (m)			1.9
Pertes de charge singulières total d'aspiration (m)			0.171
refoulement			
Coude 90°	0.75	4	3
Coude 45°	0.35	0	0
Vanne	0.05	1	0.05
Clapet anti retour	2	1	2
Joint dilatation	0.2	1	0.2
Réducteur (Divergeant)	0.4	1	0.4
Réducteur (Convergeant)	0.9	4	3.6
Fluid from pipe to tank	1	0	0
Pertes de charge singulières (m)			9.25
Pertes de charge singulières total refoulement (m)			4.203
Pertes de charge singulières total refoulement (m) + pression de UF (25) + pression RO (20)			49.203

- **Caractéristique des pompes d'eau intermédiaire**
Debit : 6750 m³/h
HMT : 58 m

VII.3.4.1 Arrangements des pompes d'eau intermédiaire

L'implantation et l'arrangement des pompes doit être selon le code ANSI/HI9.8 (voir partie VII.3.3.3)

Tableau VII.22 : arrangement des pompes selon ANSI /HI

D ₂ /D ₁	L ₁	L ₂
>0.3	>=2D ₁	>=5D ₂
<0.3	>=3D ₂	>=5D ₂

$$D_1 = 1300 \text{ mm} \quad D_2 = 900 \text{ mm} \rightarrow D_2/D_1 = 0.69 \geq 0.3$$

$$L_1 = 2D_1 = 2.6 \text{ m} \quad L_2 = 5D_2 = 4.5 \text{ m}$$

Avec

D1 : diamètre de conduite qui relie entre deux conduit de refoulement en mm

D2 : diamètre de conduite de refoulement en mm

L1 : espacement en les pompes en m

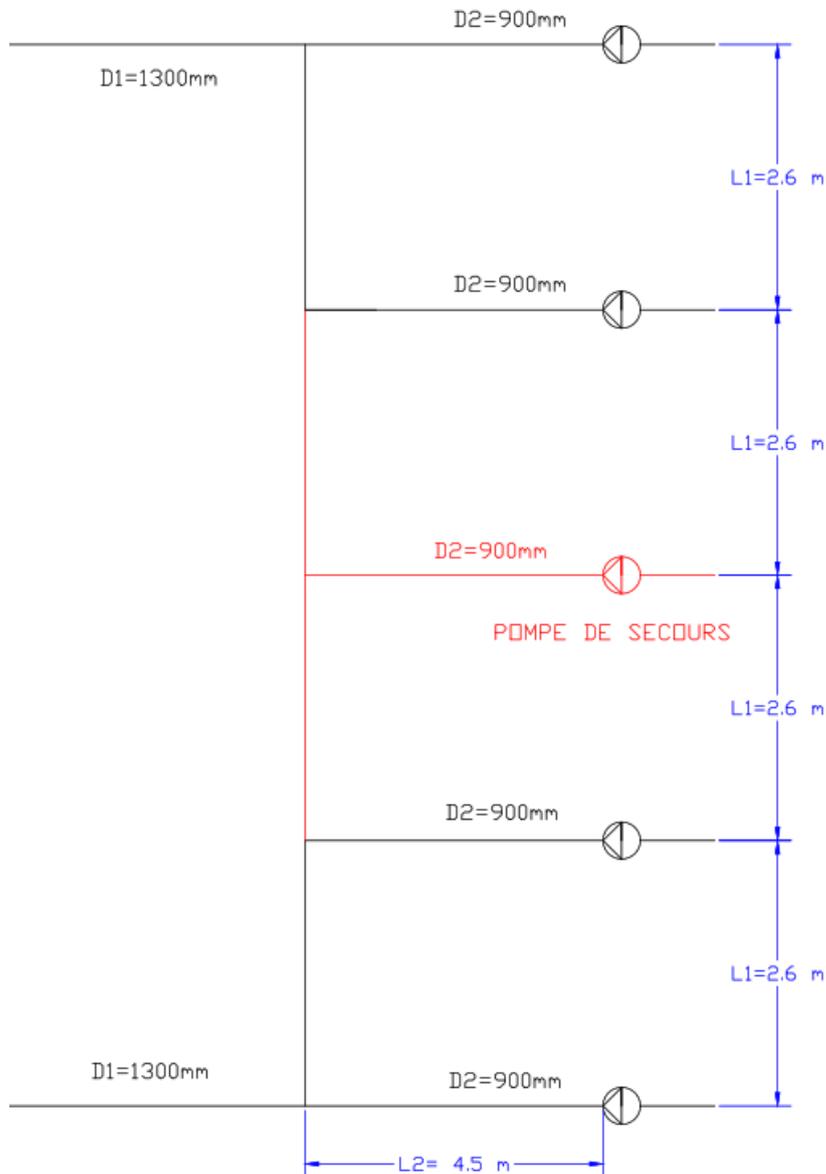


Figure VII.4 : Arrangements des pompe d'eau intermédiaire

La disposition des pompes doit prévoir un espace minimum de 2,6 m entre chaque pompe, avec une pompe de secours reliée aux deux autres. La longueur de refoulement doit être d'au moins 4,5 m.

VII.3.5 Conception de système de prétraitement

Le tableau suivant représente les équipement de prétraitement est sont état de service et le débit produit

Tableau VII.23 : Capacité de l'Équipement de prétraitement

Equipements	En service/ stand-by	Débit en millions litre par jour (MLD)
Station de pompage d'eau de mer	Quatre (04) pompes verticales a turbine en service et (1) en stand-by	330 MLD par pompe
Unité de filtre a cartouche	8 bloc de filtre a cartouche , Chaque bloc comprendre 80 unité de FC	4.128 MLD par bloc FC
Station de pompage d'eau filtrée	Deux (02) réservoir d'eau filtrée , un pour chaque ligne	Capacité de stockage de 7000 m ³ / réservoir
	Huit (08) pompes d'eau filtrée en service et deux en stand-by	162 MLD par pompe
Train d'ultrafiltration	Dix (10) unités d'UF chaque unité comprend 30 train , chaque train contient 40 membranes	4.32 MLD par train

VII.3.6 Conclusion

Un dimensionnement adéquat permet non seulement de protéger les membranes d'osmose inverse contre le colmatage, mais aussi d'assurer une réduction optimale des matières en suspension et des impuretés. En outre, il permet de minimiser les coûts d'exploitation et de maintenance, tout en maximisant le rendement et la qualité de l'eau produite.

CHAPITRE VIII:

**ETUDE TECHNICO ÉCONOMIQUES
ET GESTION DE PRETRAITEMENT**

VIII.1 Introduction

L'approbation technique d'un projet ne garantit pas sa mise en œuvre immédiate, car il doit également être validé d'un point de vue économique afin d'en estimer le coût et de confirmer sa viabilité à long terme. L'étude technico-économique de système de prétraitement proposée est essentielle pour évaluer les différentes charges et dépenses associées au projet.

Tableau VIII.1 : Prix de la construction des unités de prétraitement

N°	Nature des ouvrages	Unité de mesure	Quantité	Prix. U DA	Prix total DA
1	Bâtiment (hangar)	M ²	4	DZD 60 280 000	DZD 241 120 000
2	Pose de conduite	ml	520	DZD 3 000	DZD 1 560 000
3	réservoirs eau filtré	M ³	2	DZD 210 000 000	DZD 420 000 000
4	reservoirs retrolavag	M ³	2	DZD 60 000 000	DZD 120 000 000
					DZD 782 680 000

VIII.2 Prix de l'équipement principal et auxiliaire

Les équipements comprennent l'ensemble des appareillages et installations qui sont installés au chaîne de prétraitement .

N°	Nature de l'équipement	nombre	prix unitaire	Prix total DA
1	Transformateur	4	DZD 7 500 00	DZD 30 000 000
2	Groupe électrogène	4	DZD 5 333 800	DZD 21 335 200
3	Pompes centrifuges	15	DZD 116 666 666	DZD 1 750 000 000
4	tamiseur rotatif	4	DZD 20 000 000	DZD 80 000 000
				DZD 1 881 335 200

Tableau VIII.2 : Prix de l'équipement principal et auxiliaire

VIII.3 Prix de l'équipement d'ultrafiltration et filtre a cartouche

Les prix mentionnés sont en T.T.C. et incluent les frais de transport, d'installation et de manutention des équipements avec une conversion de 1US=132.5 (Made-in-China.com - Manufacturers, Suppliers & Products in China,) (Future Pipe Industries, 2000)(Dutch Filtration Dual Vessel Filter Unit: Faster, Safer, More Ergonomic, 2023) (Prix Pompe Immersée Algérie, Nombreux Produits En Stock. Devis Gratuit, n.)

en plus des coûts d'investissement directs (CI). Ainsi, le coût total d'investissement direct est de 3 661 971 200 DA.

Tableau VIII. 3 :Prix de l'équipement d'ultrafiltration et filtre a cartouche

N°	Nature de l'équipement	nombre	prix unitaire	Prix total DA
1	Filtre à cartouche	32000	DZD 2 500	DZD 80 000 000
2	Support de filtre à cartouches	320	DZD 40 000	DZD 12 800 000
3	Ensemble des tuyaux sous pression (PVC) (150)	640	DZD 400	DZD 256 000
4	Ensemble des tuyaux sous pression (GRP) 700-900	500	DZD 2 000	DZD 1 000 000
5	Membranes ULTRAFILTRATION	12000	DZD 120 000	DZD 1 440 000 000
6	Trains ultrafiltration	300	DZD 500 000	DZD 150 000 000
7	pompes centrifuge NEP	4	DZD 1 500 000	DZD 6 000 000
8	pompes centrifuge retrolavage	4	DZD 6 125 00	DZD 24 500 000

DZD 1 714 556 000

VIII.4 Charges annuelles d'exploitation

Les charges annuelles d'exploitation comprennent :

- Le coût d'investissement direct et indirect réparti sur l'année.
- Les charges de personnel.
- L'amortissement, ainsi que les frais de maintenance et de réparation.
- La consommation d'énergie.

VIII.4.1 Coût d'investissement indirect

Le coût d'investissement indirect englobe les dépenses qui ne sont pas directement liées à l'achat ou à la construction des équipements mais qui sont nécessaires pour le bon fonctionnement du projet. Ces coûts peuvent inclure :

- Intérêts (15 à 20 % de Ci)
- Mesures prises (10 % de Ci)
- -imprévus (16%)
- Capital (5% de Ci)

Ces coûts seront répartis sur la durée de vie de l'unité et seront inclus dans les charges annuelles d'exploitation.

$$C_{II/25} = \frac{4\,378\,571\,200}{30} = \text{DZD } 145\,925\,373$$

VIII.4.2 Amortissement des ouvrages et équipements de la Chain de prétraitement

Amortissement

Tout bien durable subit une perte de valeur au fil du temps en raison de l'usure ou de l'obsolescence. L'amortissement reflète cette diminution de valeur, en tenant compte de la dépréciation progressive du matériel, soit par usure physique, soit par le fait que le matériel devient obsolète face à des innovations technologiques.

L'amortissement permet de répartir le coût d'un bien durable sur sa durée de vie utile. On distingue généralement deux types de calcul d'amortissement :

- **Amortissement Linéaire** : Le coût d'acquisition du bien est réparti de manière uniforme sur sa durée de vie prévue. Chaque année, un montant fixe est considéré comme charge d'amortissement, ce la planification financière (Diarra, 2022).

Annuité d'amortissement=Valeur d'achat/Nombre d'année qui simplifie

- **Amortissement Dégressif** : Une plus grande partie du coût est amortie au début de la durée de vie du bien, avec des montants d'amortissement décroissants chaque année. Ce type d'amortissement reflète une perte de valeur plus rapide au début de l'utilisation du bien, ce qui peut être plus représentatif pour certains types de matériel qui se déprécient rapidement (Rocci, 2022).

Annuité d'amortissement=Valeur d'achat*Taux d'amortissement

Pour notre étude on a choisi l'amortissement linéaire , Il est simple à appliquer, offre une gestion prévisible des charges et convient aux actifs à usure régulière. Il est souvent préféré pour sa conformité avec les normes comptables et sa facilité d'utilisation.

Chaque type d'investissement (bâtiment, réservoir de stockage, pompes, etc.) possède une durée de vie spécifique. Il est donc essentiel de calculer l'amortissement pour chaque investissement individuellement et de consolider ensuite ces valeurs pour obtenir l'amortissement total.

Les résultats trouvés dans le tableau suivant rentrent dans les charges annuelles

Tableau VIII. 4 : Amortissement des ouvrages et équipements de Chain de prétraitement

N°	Natures des ouvrages et équipements	Capital investissement	Charges d'amortissement	
			%	DA
1	Filtre à cartouche	DZD 70 400 000	33.3%	DZD 26 640 200
2	Corps du filtre à cartouches	DZD 12 800 000	20%	DZD 2 560 000
3	Ensemble des tuyaux sous pression (PVC) (150)	DZD 256 000	5.0%	DZD 12 800
4	Ensemble des tuyaux sous pression (GRP) 700-900	DZD 1 000 000	5.0%	DZD 50 000
5	Membranes ULTRAFILTRATION	DZD 720 000 000	25%	DZD 360 000 000
6	Trains ultrafiltration	DZD 150 000 000	10.0%	DZD 15 000 000
7	pompes centrifuge NEP	DZD 6 000 000	20.0%	DZD 1 200 000
8	pompes centrifuge retrolavage	DZD 24 500 000	20.0%	DZD 4 900 000
9	Bâtiment (hangar)	DZD 1 560 000	5%	DZD 54 600
10	réservoirs eau filtré	DZD 420 000 000	5%	DZD 21 000 000
11	reservoirs retrolavage	DZD 120 000 000	5%	DZD 6 000 000
12	Pompes centrifuges	DZD 1 750 000 000	20.0%	DZD 350 000 000
13	tamiseur rotatif	DZD 80 000 000	20%	DZD 16 000 000
14	Equipements Electrique	DZD 51 335 200	10.0%	DZD 5 133 520
				DZD 808 574 320

la durée de vie des différentes ouvrages et équipements est représentée

en pourcentage $\beta(\%) = (\text{durée de vie})^{-1} * 100$ (Morice & Société française de statistique, 1966)

VIII.4.3 Coût de l'énergie électrique

La puissance totale de la station est équivalente à la somme des puissances des pompes (P_T).
Le coût de l'électricité est de 8 DA par kWh.

Donc coût de l'énergie est $C_E = 8 \times P_T$

$$P_T = \sum nP_i$$

Avec :

P_i : puissance de chaque pompe

n : nombre des pompes

VIII.4.3.1 Calculer la puissance des pompe

Pour calculer la puissance d'une pompe, on peut utiliser la formule suivante qui prend en compte le débit (Q), la hauteur manométrique totale (HMT), et l'efficacité de la pompe (η) :

$$P_i = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H}{\eta \cdot 1000}$$

où :

P : est la puissance en kilowatts (kW),

ρ : est la densité de l'eau (approximativement 1000 kg/m³ pour l'eau douce)

g : est l'accélération due à la gravité (environ 9.81 m/s²),

Q : est le débit en mètres cubes par heure (m³/h),

H : est la hauteur manométrique totale en mètres (m),

η : est l'efficacité de la pompe (généralement entre 0.7 et 0.85).

$$P_t = 3270 \times 4 + 760 \times 8 + 11 \times 4 + 45 \times 4 = 19384 \text{ KW}$$

$$CE = 19384 \times 8 = 155\,072 \frac{\text{DA}}{\text{h}}$$

Donc : CE= 1 358 430 720 DA/ans

VIII.4.3.2 Consommation spécifique d'énergie du système

La consommation d'énergie spécifique de système est calculée à partir de la conception précitée

Consommation d'Énergie annuelle est $C_{e \text{ annuelle}} = 19384 \times 24 \times 365 = 169803840 \text{ KW}$

$$\text{Consommation spécifique d'énergie} = \frac{\text{Consommation d'Énergie annuelle}}{\text{debit d'eau produit annulle}}$$

$$\text{Consommation spécifique d'énergie} = 0.93 \text{ KW/ m}^3$$

VIII.4.4 Calcul du prix du m³ d'eau produite par le prétraitement

En connaissant les charges annuelles d'exploitation et la quantité d'eau produite, il est possible de calculer le coût d'un m³ d'eau à l'aide de la formule suivante :

$$\text{Coût}_1 \text{ (DA/m}^3\text{)} = \frac{\text{Charges annuelles d'exploitation (DA/an)}}{\text{Quantité d'eau produite annuelles (}\frac{\text{m}^3}{\text{an}}\text{)}}$$

Soit : $\text{Coût}_1 \frac{C}{QP/an}$

À cette valeur s'ajoute la T.V.A (Taxe sur la Valeur Ajoutée), qui est de 19 % du Coût₁. Ainsi, le coût total est donné par la formule :

$$\text{Coût}_T = \text{Coût}_1 \times (1 + 0.19)$$

$$\text{Coût}_T \left(\frac{\text{DA}}{\text{m}^3} \right) = 12.9 \text{ DA}$$

VIII.5 Gestion

La réalisation d'un système de prétraitement ainsi que des ouvrages annexes nécessite des investissements conséquents. Par conséquent, pour assurer le bon fonctionnement de cette station, il est essentiel qu'elle soit correctement entretenue et efficacement gérée.

VIII.5.1 Surveillance de système

VIII.5.1.1 Maintenance des filtres à cartouche

Il est important de respecter la fréquence de nettoyage recommandée, qui est souvent déterminée par le débit maximal de fonctionnement et l'augmentation de la différence de pression à travers le filtre. En général, un nettoyage est nécessaire dès que la perte de charge dépasse une certaine valeur, indiquant que les cartouches sont colmatées par les particules en suspension. Si la différence de pression devient trop élevée, cela peut affecter le débit de filtration et réduire l'efficacité globale du système, augmentant ainsi les risques d'endommagement des cartouches et la nécessité de remplacement prématuré.

Une maintenance préventive, incluant un nettoyage régulier et un suivi des indicateurs de pression, permet d'allonger la durée de vie des filtres tout en assurant un fonctionnement fiable du système de prétraitement.

VIII.5.1.2 Maintenance des membranes d'ultrafiltration

Les membranes doivent être régulièrement nettoyées pour éviter l'accumulation de matières en suspension, de colloïdes et de biofilms, qui peuvent entraîner un colmatage progressif et une diminution de la performance du système. Ce nettoyage comprend des cycles automatiques de rétro-lavage (back Wash) toutes les 30 à 40 minutes, ainsi qu'un lavage chimique (CIP - Cleaning In Place) périodique, utilisant des solutions acides ou alcalines pour dissoudre les dépôts. Lorsque la différence de pression à travers les membranes dépasse un seuil critique, cela indique un encrassement, et un nettoyage plus intensif est nécessaire.

Une surveillance continue des indicateurs de pression, des débits et de la qualité de l'eau filtrée est indispensable pour ajuster les procédures de maintenance et garantir un fonctionnement optimal de l'installation.

VIII.5.2 Apport d'un suivi à long terme

Un suivi à long terme permet de constituer un historique détaillé de l'état et de la performance des membranes depuis leur mise en service. Cette base de données est précieuse pour ajuster les paramètres d'exploitation, optimiser les conditions de fonctionnement, et anticiper les besoins de maintenance. Elle contribue également à prévoir avec plus de précision la durée de vie des membranes, facilitant ainsi une planification proactive des remplacements et réduisant les risques d'arrêt imprévu.

VIII.6 Conclusion

Le coût moyen de production d'un mètre cube d'eau dans une station de dessalement est estimé à 1,1 USD/m³, soit environ 146 DA/m³. Le coût du prétraitement représente généralement entre 8,5 % et 9,5 % du coût total, soit entre 12,41 DA/m³ et 13,87 DA/m³ (Voutchkov, N. 2012, Décembre 6)

Dans notre cas, après avoir pris en compte l'ensemble des charges possibles, le coût de production d'un mètre cube d'eau par le prétraitement est estimé à 12,9 DA/m³.

Ce calcul a été effectué à la suite d'une étude technico-économique de la station de dessalement, visant à garantir son bon fonctionnement, une gestion optimale, et une production d'eau conforme aux exigences de qualité et de quantité.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Conclusion Générale

En conclusion, le dimensionnement de la chaîne de prétraitement dans une station de dessalement comme celle de Magtaa, située dans la wilaya d'Oran, est un processus essentiel pour garantir l'efficacité et la durabilité de la production d'eau potable à partir d'eau de mer. Ce projet s'inscrit dans une démarche stratégique visant à répondre aux besoins croissants en eau, dans un contexte de raréfaction des ressources hydriques naturelles et de changements climatiques.

Toutefois, des défis techniques demeurent, notamment le colmatage des membranes d'ultrafiltration (UF), qui affecte le rendement global de la station. Il est important d'optimiser ces systèmes de prétraitement pour maintenir une performance optimale tout en assurant la pérennité des installations. L'amélioration continue des processus et des technologies utilisées dans le dessalement reste donc un enjeu majeur pour garantir un approvisionnement durable en eau potable.

Par ailleurs, ce projet ouvre des perspectives intéressantes pour l'adoption de solutions innovantes dans le domaine du dessalement. La proposition d'intégrer un traitement supplémentaire par filtres à cartouche constitue une avancée prometteuse pour minimiser les problèmes de colmatage des membranes et réduire les coûts liés à la maintenance. Dans une vision plus large, il serait pertinent d'explorer l'application de technologies émergentes, telles que les membranes de nouvelle génération, les systèmes de surveillance automatisés, ou encore les approches intégrées utilisant des énergies renouvelables, afin de renforcer la durabilité et l'efficacité des stations de dessalement.

Enfin, ce travail souligne l'importance de développer des stratégies adaptatives pour faire face aux défis environnementaux et techniques dans le secteur de l'eau, contribuant ainsi à une gestion plus résiliente des ressources hydriques à l'échelle nationale et mondiale.

Références Bibliographiques

1. ALPHA, S. M., Qualité organoleptique de l'eau de consommation produite et distribuée par l'EDMSA dans la ville de Bamako, Thèse de doctorat en pharmacie, Université de Bamako, 2005.
2. ATALLAH, A., Procédé de dessalement et qualité physico-chimique de l'eau dessalée de la station HONAIN. Mémoire de fin d'étude, Master, Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen, 99 pages, 2014.
3. AVARY P, Guide des analyses de la qualité de l'eau, territorial éditions, pp75-115, 2010.
4. Backwash Water Filter System, Backwashing Filters, Multimedia Filters – Intec America. (2022, August 16). Intec America Corporation
5. Baudish, P. A., H. A. Lavery, R. N. Burch, D. D. Pain, D. G. Franklin, and P. J. Banks, "Design Considerations and Interactions for Tunnelled Seawater Intake and Brine Outfall Systems," IDA World Congress, Perth, Western Australia, September 4–9, 2011. Ref: IDAWC/PER11-242.
6. Bellaredj, A. E. M. (2016). Les faciès gypso-salins dans la région d'Oran et leurs conséquences sur les ressources. *Journal of Applied Biosciences*, 104(1), 9976.
7. Benabdeli, K. (2018). Climat et végétation en Algérie. *Revue Géographique de l'Est*, 58(1-2).
8. BOUKELLAL.I, ABDELGHANI.H (2015). « Étude du procédé de dessalement de l'eau de mer et de la qualité physico-chimique dessalée par la station de Cap Djanet de la wilaya de Boumerdes. », Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de Master, Université Abderrahmane MIRA de Bejaia.
9. Cescon, A., & Jiang, J. Q. (2020, December 1). Filtration Process and Alternative Filter Media Material in Water Treatment. *Water*.
10. Clean Water Intake - Pump Stations - Romtec Utilities. (2023, January 16). Romtec Utilities.
11. Climatologie de l'année 2022 à Oran / Es Senia - Infoclimat.
12. Coagulation and flocculation in water and wastewater Treatment | IWA Publishing.
13. Côte, M. (2020). *L'Algérie ou l'épreuve du désert*. CNRS Éditions.
14. Cours en ligne et simulateur de thermodynamique appliquée. (n.d.).
15. Dessalement de l'eau de mer. (n.d.).
16. Drinking Water Desalination Plant, Chile I Amiad. (2023, November 7). Amiad Water Systems.
17. Dutch Filtration dual vessel filter unit: faster, safer, more ergonomic. (2023, October 12). Dutch Filtration
18. Eddalia .N ,(1990). « Les sels nutritifs et la matière en suspension dans la baie d'Alger et le golfe d'Arzew identification des masses d'eaux. », Mémoire de fin d'étude.
19. Edzwald, J. K., and J. Haarhoff, *Dissolved Air Flotation for Water Clarification*, American Water Works Association and McGraw-Hill, New York, 2012.
20. Et, Y. (2024, April 16). Dissolved Air Flotation DAF: An Overview of the Technology for Water and Wastewater Treatment. YASA ET

21. Fouad .C, Hafida.Y ,(2020). « Contribution à l'évaluation de la qualité du milieu marin dans la côte oranaise (golfe d'Arzew). », Mémoire de fin d'étude.
22. Foukrache, M., & Mansour, H. (2017). Comportement hydrodynamique d'un système aquifère côtier en milieu semi-aride. Cas de la plaine andalouse – Ain Turck (littoral oranais, Algérie). In Bulletin Des Sciences Géographiques.
23. Future Pipe Industries. (2000). FIBERSTRONG.
24. Galgalikar Esha P, & Varne A.L. Importance of Mixing Device in Coagulation-Flocculation Process & Its Effect on Treatment Parameters in Plant Operation. Journal of Engineering Research and Application, 2248–9622.
25. GHERAIRI, Y., TOUIL, Y., HADJ-MAHAMMED, M., AMRANE, A., Laboratoire de biogéochimie des milieux désertiques, & Équipe Chimie et Ingénierie des Procédés.
26. Guo, H., Wyart, Y., Perot, J., Nauleau, F., & Moulin, P. (2010). Low-pressure membrane integrity tests for drinking water treatment: A review. *Water Research*, 44(1), 41–57.
27. HABET, L., Contribution à l'étude des impacts du dessalement des eaux de mer sur l'environnement, Mémoire de Magister, Université M'Hamed Bougara Boumerdes, 153 pages, 2012.
28. HAMANI, A., Étude des performances du pilote d'électrodialyse dans la déminéralisation des eaux saumâtres, Mémoire de fin d'études, École nationale supérieure de l'hydraulique Abraoui Abdelah, 100 pages, 2013.
29. Henri, L., KAMEL, F., Dessalement de l'eau de mer et des saumâtres par Osmose Inverse, Middle East Desalination Research Center en collaboration avec l'Université Saad Dahlab de Blida, Algérie, janvier 2008.
30. Hrček, H. (2020). Effect of different coagulants on the performance of filtration processes. Retrieved from
31. Huisman, I. H., Dutré, B., Persson, K. M., & Trägårdh, G. (1997). Water permeability in ultrafiltration and microfiltration: Viscous and electroviscous effects. *Desalination*, 113(1), 95–103.
32. Industries, C. (2023, September 20). Polymer Water Treatment: How Coagulants and Flocculants Clean Wastewater. Clearwater Industries, Inc.
33. Jamaly, S., Darwish, N.N., Ahmed, I., Hasan, S.W., 2014. A short review of reverse osmosis pretreatment technologies. *Desalination* 354, 30e38.
34. Jirjis, B. F., & Luque, S. (2010). Practical Aspects of Membrane System Design in Food and Bioprocessing Applications. In Elsevier ebooks (pp. 179–212).
35. Kastl, G., McClure, A., & Fisher, I. (2020). Granular media filtration for on-site treatment of stormwater. *Water*, 12(12), 3377. Retrieved from
36. Khareze, C., & Sabrine, C. (2021, July 15). Étude du procédé de dessalement d'eau de mer de la station HyFlux de Magtaa Oran
37. Kim, J., Park, K., & Hong, S. (2020, October 1). Application of two-stage reverse osmosis system for desalination of high-salinity and high-temperature seawater with improved stability and performance. *Desalination*.
38. LE CALVÉ, O., Propriétés Physiques du Milieu Marin, Institut des Sciences de l'Ingénieur de Toulon et du Var, France, 40 pages, mai 2002.
39. Made-in-China.com - Manufacturers, Suppliers & Products in China.
40. MECC. (n.d.). Multimedia filtration. Retrieved from

41. Membracon. (2024, January 30). What's The Difference Between Microfiltration, Ultrafiltration And Nanofiltration? Membracon.
42. MONIQUE, H., Les eaux naturelles et les eaux de consommation, Saint Laurent, 1991.
43. Morice, E. & Société française de statistique. (1966). Quelques modèles mathématiques de durée de vie. In *Revue De Statistique Appliquée* (Vol. 14, Issue 1, pp. 45–126).
44. Mourisard, O. (2024, February 15). Qualité de l'eau : comment l' IoT peut améliorer la surveillance et la gestion des ressources en eau ? Synox
45. Moulin, B., Le kayak et la mer, édition le Canotier, 2004.
46. Patrick GEISTDOERFER. (1973). Étude granulométrique des particules en suspension dans les eaux de mer méditerranéennes. *Vie et Milieu*, XXIII, pp.193–207.
47. Poulain, J. (2004, March 10). Installations de pompage - Choix des pompes et conception du circuit. *Techniques De L'Ingénieur*
48. Prix pompe immergée Algérie, nombreux produits en stock. Devis gratuit.
49. SENHADJI, M. (2017). « Teneurs en bore, nitrites et métaux lourds dans l'eau dessalée traitée par osmose inverse dans la Station de Dessalement de Souk Telata », Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de Master, Université de Tlemcen.
50. Voutchkov, N. (2012, December 6). *Desalination Engineering: Planning and Design*. McGraw Hill Professional.
51. YASA ET. (2024, April 16). Dissolved Air Flotation DAF: An Overview of the Technology for Water and Wastewater Treatment.