



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

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

Option : REUTILISATION DES EAUX NON CONVENTIONNELLES

THEME :

**DIMENSIONNEMENT DE LA CHAINE DE
PRETRAITEMENT DE LA STATION DE DESSALEMENT DE
CORSO WILAYA DE BOUMERDES**

Présenté par :

CHENNAFI Yasmina

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	M.A.A	Examineur
TOUIL Youcef	M.A.A	Promoteur

Session 2022/2023

Remerciement

Je commence par remercier ALLAH, le Créateur de tout ce qui existe, pour m'avoir accordé la force, la persévérance et l'inspiration nécessaires pour mener à bien cette recherche. C'est grâce à Sa lumière que j'ai pu naviguer à travers les défis et les doutes qui ont jalonné ce voyage académique.

Je souhaite exprimer ma reconnaissance envers mon directeur de mémoire, **Mr TOUIL YUCEF**, pour sa guidance experte, ses conseils éclairés, et sa patience tout au long de ce processus. Son expertise et son engagement dans le travail ont été essentiels pour son aboutissement.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude pour les membres de jury pour le temps et l'attention qu'ils ont consacrés pour l'évaluation de ce mémoire. Vos commentaires et suggestions sont inestimables pour enrichir ce travail. Votre expertise est une source d'inspiration, et j'espère que mon travail répond à vos attentes. Votre contribution est essentielle pour mon développement académique, et je vous remercie sincèrement pour votre précieuse contribution à la réussite de mon projet. Je reste reconnaissante envers vous pour cette expérience significative.

Par la même occasion je tiens à remercier **Mr SAID DJAMEL**, directeur de la DWT (Direction of Water Treatment) de l'entreprise nationale de génie civil et bâtiment (ENGCB), pour son accueil et son aide sans lesquels ce travail n'aurait été mené à bon port.

Je tiens également à remercier chaleureusement toute l'équipe du département exploitation de la direction DWT, à leur tête le chef du département **Mr BENMEDJENNAH SEDDAM HOUSSEIN** qui ont partagé leurs connaissances, leurs idées et leur soutien avec moi tout au long de ce travail. Leurs discussions stimulantes et retours constructifs ont grandement enrichi mon travail,

Je tiens à exprimer ma sincère reconnaissance envers **Mr BOUGHACHICHE ISLAM** pour son précieux accompagnement tout au long de ce mémoire. Son soutien et ses conseils ont été essentiels à la conception de ce travail.

Enfin, je tiens à exprimer ma gratitude envers tous ceux et celles qui me sont chers et ceux dont je n'ai pu mentionner les noms, mais qui ont contribué de près ou de loin à la réussite de ce mémoire et dont le soutien m'a été indispensable.

Dédicace

*Ce travail est dédié avec amour à la mémoire de mon oncle bien-aimé, **CHENNAFI SALEM** qui a quitté ce monde il y a de nombreuses années. Même si le temps est passé, son influence et son souvenir restent intacts dans ma vie et gravés dans ma mémoire.*

Son absence a été profondément ressentie tout au long de ces années, mais son héritage de sagesse, d'amour et de gentillesse continue de m'inspirer. Tu étais un modèle de force et de persévérance et ton absence continue de se faire sentir au sein de notre chère famille.

Je souhaite également dédier ce travail à mes chers parents. Leur amour inconditionnel, leur soutien indéfectible et leurs sacrifices ont été les fondations de ma vie. Chacun de mes succès est en grande partie le reflet de votre éducation, de vos valeurs et de vos enseignements. Vous m'avez montré la signification du dévouement, du travail acharné et de l'amour familial. Même lorsque les mots ne suffisent pas à exprimer ma reconnaissance, sachez que chaque page de ce travail porte votre influence et votre amour. Vous êtes ma boussole morale et mon modèle de vie.

*À ma sœur bien-aimée, **SELMA**, et à mon frère précieux, **YASSINE**, je veux exprimer ma gratitude pour nos liens indéfectibles. Votre présence dans ma vie a été une source de joie, d'inspiration et de soutien. Nous avons partagé des moments de bonheur et de défis, et cela a enrichi ma vie de manière inestimable.*

Que ce travail soit un hommage à vous tous, un rappel de votre impact positif dans ma vie et une manière d'exprimer ma reconnaissance pour tout ce que vous avez fait. Même si la vie nous sépare, notre lien reste fort et éternel.

Je vous aime profondément, et je porte votre influence et vos enseignements avec moi à chaque étape de ma vie.

Avec tout mon amour et ma gratitude éternelle.

YASMINA

ملخص

تكمّن مشكلة المعالجة الأولية في محطة تحلية المياه في ضرورة زيادة كفاءة الخطوات الأولية في عملية تحلية مياه البحر. تتطلب ندرة الموارد في المياه العذبة في هذه المنطقة تحسين عمليات المعالجة لتقليل التكلفة وحماية الأغشية وضمان إنتاج مياه نظيفة عالية الجودة. تتضمن التحديات المحددة اختيار تقنيات الترشيح والصراف الأكثر ملاءمة. يتمثل هذا العمل في حل هذه المشكلات من خلال اقتراح حلول عملية لتحسين سلسلة المعالجة في محطة تحلية المياه

Résumé

La problématique du prétraitement dans le contexte de la station de dessalement de Corso réside dans la nécessité de maximiser l'efficacité des étapes préliminaires au processus de dessalement de l'eau de mer. La rareté des ressources en eau douce dans cette région nécessite une optimisation des opérations de prétraitement pour minimiser les coûts, protéger les membranes et garantir la production d'eau douce de qualité. Les défis spécifiques incluent la sélection des technologies de filtration et de décantation les plus appropriées. Ce travail s'efforce de résoudre ces problématiques en proposant des solutions pratiques pour améliorer la chaîne de prétraitement de la station de dessalement de Corso.

Abstract

The issue of pretreatment in the context of the Corso desalination plant revolves around the need to maximize the efficiency of the preliminary steps before the seawater desalination process. The scarcity of freshwater resources in this region requires optimizing pretreatment operations to minimize costs, reduce environmental impact, protect membranes, and ensure the production of high-quality freshwater. Specific challenges include selecting the most suitable filtration and sedimentation technologies. This work aims to address these issues by proposing practical solutions to improve the pretreatment chain of the Corso desalination plant

Table des matières

Remerciement	
Dédicace.....	
Résumé.....	
Table de matière.....	
Liste des tableaux.....	
Liste des figures	
Introduction générale.....	
CHAPITRE I : LE DESSALEMENT DES EAUX DE MER	2
Introduction.....	2
1. Disponibilité globale de l'eau	3
2. La demande en eau potable	4
3. Stress hydrique due au changement climatique.....	5
4. Exploration des eaux de mer	6
5. Les techniques de dessalement	8
5.1. Techniques membranaires	8
5.1.1. L'Osмосe inverse (OI)	8
5.1.2. Électrodialyse (ED) / Inversion d'électrodialyse (EDR).....	9
5.1.3. Nanofiltration (NF).....	10
5.2. Techniques d'Évaporation Thermique.....	11
5.2.1. Distillation rapide multi-étages (MSF)	12
5.2.2. Distillation à effets multiples (MED).....	13
CHAPITRE II : CARACTERISTIQUES DE L'EAU DE MER ET QUALITE D'EAU POTABLE	16
Introduction.....	16
1. Qualité de l'eau potable	16
1.1. Critères de potabilité.....	16
2. Caractéristiques de l'eau de mer	17
2.1. Salinité.....	18
2.2. Température.....	19
2.3. Pollution	19
2.4. La turbidité	19
2.5. La teneur en matières en suspension.....	20
2.5.1 Différents types de MES	21
2.5.1.1. Fraction minérale.....	21
2.5.1.2. Fraction organique.....	23
3. L'effet des MES (Matières en suspension) sur le fonctionnement des membranes d'osmosse inverse	24
3.1. Le colmatage.....	24
3.2. Types de colmatage	25
4. Paramètres et spécifications de qualité d'eau de mer lors du prétraitement.....	26
4.1. Indice de densité de silt (SDI15).....	26

4.1.1.	Méthode de mesure du SDI15	26
4.2.	Indice de colmatage modifié (MFI0.45)	27
4.2.1.	Méthode de mesure du MFI0.45.....	27
4.3.	Turbidité.....	28
4.4.	Teneur en chlore.....	29
4.5.	Métaux.....	29
4.6.	Charge organique	29
CHAPITRE III : LES TECHNIQUES DE PRETRAITEMENT DE L'EAU DE MER.....		31
Introduction.....		31
1.	Les différents processus de prétraitement	31
1.1	Désinfection.....	31
1.1.1.	Chloration	31
1.1.2.	Dioxyde de chlore	32
1.1.3.	Chloramine.....	32
1.2.	Traitement préliminaire	32
1.2.1.	Le dégrillage et tamisage	32
1.2.1.1	Dégrilleur à barres grossières	32
1.2.2	Tamis fins	33
1.2.2.1.	Tamis rotatifs.....	33
1.2.2.2	Tamis à bande.....	34
1.2.2.3	Tamis en tambour	35
1.3	Procédés physicochimiques du traitement des eaux.....	37
1.3.1	La Coagulation	37
1.3.1.1	Types de produits chimiques de coagulation	38
1.3.2	Floculation	38
1.3.2.1	Types de produits chimiques de floculation.....	39
1.3.3	Le jar test.....	39
1.4	Sédimentation et flottation par air dessous.....	40
1.4.1.	Les bassins de décantation	41
1.4.2	Les réservoirs de sédimentation lamellaire,.....	41
1.4.3	Les clarificateurs à Flottation par Air Dissous (DAF).....	42
1.5	Filtration par médias granulaires	44
1.5.1.	Types de Filtres granulaire	46
1.5.1.1	Filtres à média unique, double et tri média	46
1.5.1.2	Filtres combinés avec des clarificateurs à flottation par air dissous (DAF).....	47
1.5.1.3	Filtres sous pression et filtres gravitaires.....	47
1.5.1.3.1	Filtres gravitaires	48
1.5.1.3.2	Les filtres sous pression	48
Avantages Clés des Filtres sous pression.....		49

<u>CHAPITRE IV : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE</u>	51
Introduction.....	51
1. Localisation de la station	52
1.1. Situation géographique.....	52
2. Description détaillée de la station	53
2.1. Prise d'eau de mer et station de pompage	53
2.2. Bâche d'eau de mer et station de pompage	54
2.3. Le prétraitement	54
2.3.1. Bâche de coagulation	54
2.3.2. Bâche de floculation	54
2.3.3. Décanteur lamellaire	54
2.3.3.1. Racleur de boues	54
2.4. Station de pompage intermédiaire	55
2.5. Système des filtres à sable	55
2.5.1. Filtre à sable	55
2.5.2. Système de lavage à contre-courant du filtre à sable.....	55
2.6. Filtre à cartouche.....	55
2.7. System osmose inverse.....	55
2.7.1. Système d'osmose inverse	55
2.7.2. Pompes à haute pression	56
2.7.3. Pompes booster	56
2.7.4. Modules de rack RO	56
2.7.5. Dispositif de récupération d'énergie PX (pressure exchanger)	56
2.8. Perméat / réservoir de rinçage.....	56
2.9. Systeme post-traitement.....	57
2.9.1. Système de reminéralisation.....	57
2.9.2. Cellule de calcite	57
2.10. Station de pompage d'eau produite	57
2.11. Système de rejet	58
2.12. Chaîne de traitement de boues	58
2.13. Le PFD de la station de dessalement de Corso.....	58
<u>CHAPITRE V : DIMENSIONNEMENT DE LA CHAINE DE PRETRAITEMENT DE LA STATION DE DESSALEMENT DE CORSO</u>	61
Introduction.....	61
1. Paramètres de l'eau brute	62
2. Le dimensionnement de la chaîne de prétraitement de la station dedessalement de corso	63
2.1. Traitement préliminaire	63
2.1.1. Système dégrillage	63
2.1.2. Contraintes de conception d'un dégrilleur manuel	65
2.1.3. Maintenance du dégrilleur	66

2.2	Le traitement physicochimique	66
2.2.1.	Les bâches de coagulation	67
2.2.1.1.	Le volume d'un bassin.....	67
2.2.1.2.	Les dimensions des bâches	67
2.2.1.3.	L'agitation.....	67
2.2.1.4.	Dosage et produit chimique	69
2.2.2	Dimensionnement de système floculation	70
2.2.2.1.	Volume de bassin	70
2.2.2.2.	Les dimensions du bassin de floculation.....	70
2.2.2.3.	Agitation	71
2.2.2.4.	Dosage et produits chimiques.....	71
2.2.2.4.	Maintenance du système coagulation /floculation	72
2.2.2.5.	Contraintes de conception de système coagulation /floculation	72
2.2.3.	Décanteur lamellaire.....	73
2.2.3.1.	Volume	73
2.2.3.2.	Maintenance du décanteur à lamelles	74
2.2.3.3.	Contraintes de conception de décanteur lamellaire.....	75
2.3.	Filtre à sable	75
2.3.1.	Calcul de la surface du filtre	76
2.3.2.	Diamètre de filtration.....	76
2.3.3.	Volume des médias.....	76
2.3.4.	Lavage des filtres	77
2.3.5.	Contraintes de conception de filtre à sable.....	77
3.	Consommation énergétique du système du prétraitement.....	78
4.	Frais de consommation énergétique	79
5.	Optimisation du système de prétraitement de la SDEM de Corso	80
1.	Automatisation du dégrillage.....	80
2.	Optimisation de la coagulation-floculation	80
3.	Amélioration de la décantation lamellaire.....	80
4.	Utilisation de médias filtrants avancés	80
5.	Système de récupération de l'eau de lavage.....	80
6.	Gestion de l'énergie	81
7.	Système de surveillance et de contrôle avancé.....	81
8.	Formation du personnel	81
9.	Maintenance préventive.....	81
10.	Gestion des boues.....	81
<u>CHAPITRE VI : PROPOSITION D'AUTRES VARIANTES POUR LA CHAINE DE PRETRAITEMENT</u>		83
Introduction.....		83
1.	Evaluation du système de prétraitement de la station corso.....	83
2.	Dimensionnement d'un système DAF.....	84

2.1.	Les chambres de coagulation/floculation	85
2.1.1.	Bâche de coagulation	86
2.1.2.	Bâches de floculation.....	87
2.2.	La chambre de flottation	88
2.2.1.	Système de recirculation	89
2.3.	Comparaison entre le DAF et le décanteur lamellaire.....	93
3.	Dimensionnement du filtre gravitaire.....	95
3.1.	Calcul de la surface de filtration.....	95
3.2.	Calcul du volume des médias et profondeur du filtre.....	96
3.3.	Contraintes de conception du filtre gravitaire.....	98
3.4.	Comparaison entre le filtre gravitaire et le filtre pressurisé	98
4.	Consommation énergétique du système	100
5.	Frais énergétique du système DAF et filtre gravitaire.....	100
	CONCLUSION	102
	BIBLIOGRAPHIES	104
	ANNEX.....	107

Liste des tableaux

Tableau II.1. Propriété physicochimique et bactériologique de l'eau de l'eau potable

Tableau II.2. Concentration des éléments principaux de l'eau de mer

Tableau III.2. Les spécifications de qualité de l'eau filtrée

Tableau V.1. paramètre de l'eau brute

Tableau V.2. Caractéristique de l'eau après le traitement

Tableau V.3. Constante d'agitation selon le type d'agitateur

Tableau VI.1. Critères de conception du système DAF

Tableau VI.3. Comparaison des systèmes de prétraitement

Liste des figures

Figure I.1. Répartition des ressources en eau mondiales.

Figure I.2. Stress hydrique de base mondiale en 2015. Courtoisie de l'institut des ressources mondiales

Figure I.3. Demande mondiale d'eau et exigences de base en matière d'eau e l'organisation mondiale de la santé (2010)

Figure I.4. Stress hydrique de base mondiale, 2015. Courtoise de l'institut des ressources mondiales

Figure I.5. Croissance de la capacité cumulative (a) et nouvelle (b) de désaliénation en ligne, avec l'aimable autorisation de globale water intelligence

Figure I.6. Concept de base de l'osmose inverse

Figure I.7. Principe de base de l'électrodialyse

Figure I.8. Désaliénation a multi flash

Figure I.8. Distillation a effets multiples

Figure II.1. Spectre de taille des particules dans les eaux naturelles

Figure II.2. Classification granulométrique

Figure II.3. Vitesse de chute des particules et diamètre équivalent).

Figure.II.4. Grande classe de particules en suspension rencontré dans l'eau de me

Figure II.5. Colmatage des membranes

Figure III.1. Tour d'aspiration vertical avec tamis grossier

Figure III.2. Cribles grossiers de prise à terre

Figure III.3. Modèles de tamis à flux traversant, à flux central et à double flux (de gauche à droite)

Figure III .4. Tamis en tambour

Figure III.5. Accumulation de fer sur le tampon de test SDI en raison d'un surdosage de coagulant

Figure III.6. Usine de dessalement de Trinidad

Figure III.7. Schéma décanteur lamellaire

Figure III .8. Schéma d'un filtre gravitaire

Figure III.9. Filtre gravitaire combiné avec un système de flottation

Figure IV.1. Vue google MAP sure la station de dessalement de Corso

Figure IV.2. Clarificateur de la station de dessalement de corso en cours de construction

Figure IV.3. PFD (Process Flow Diagram) de la station de dessalement de corso

Figures V.1. Système DAF

Figure V.2. Système recirculation du système DAF

Figure V.3. Coefficient de henry selon la salinité et la température de l'eau de mer

Figure V.4. Cout de construction des décanteurs lamellaire et les systèmes DA

Introduction générale

L'accès à de l'eau douce de qualité est un défi mondial de plus en plus préoccupant à mesure que les ressources en eau douce se raréfient. La désalinisation de l'eau de mer est devenue une solution cruciale pour répondre aux besoins en eau potable, en particulier dans les régions arides et côtières. Le manque de précipitations a entraîné une sécheresse des barrages en Algérie, réduisant les niveaux d'eau. Pour pallier cette pénurie, le dessalement de l'eau de mer a été considéré comme source d'approvisionnement en eau alternative. Cette technologie permet de convertir l'eau de mer en eau douce, contribuant ainsi à la gestion de la sécheresse et à la garantie d'un approvisionnement en eau plus stable. Le dessalement est devenu une option importante pour les régions touchées par la sécheresse.

Les techniques membranaires sont couramment les plus utilisées dans le dessalement de l'eau de mer et sont étroitement liées au prétraitement. Le prétraitement, qui élimine les impuretés de l'eau brute, est essentiel pour protéger les membranes de l'encrassement et des dommages potentiels. Cette étape contribue à prolonger la durée de vie des membranes, à maintenir la qualité de l'eau traitée et à améliorer l'efficacité du processus de dessalement. En résumé, le prétraitement est crucial pour garantir le bon fonctionnement des techniques membranaires en dessalement et la production d'eau douce de haute qualité.

Ce travail se concentre sur le dimensionnement de la chaîne de prétraitement de la station de dessalement d'eau de mer de Corso (Wilaya de Boumerdes), en mettant en lumière deux méthodes clés : le décanteur lamellaire et le filtre à pression. Ces deux systèmes de prétraitement sont couramment utilisés pour éliminer les matières en suspension, les particules, et d'autres impuretés de l'eau de mer, contribuant ainsi à améliorer la qualité de l'eau traitée.

En outre, ce travail explorera les alternatives aux décanteurs lamellaires et aux filtres à pression en proposant l'utilisation de systèmes de flottation par air dissous (DAF) et de filtres gravitaires. Ces méthodes émergentes ont gagné en popularité en raison de leur efficacité supérieure dans l'élimination des contaminants et de leur faible impact environnemental.

L'objectif de cette étude est d'évaluer les performances de ces systèmes en termes de coûts, d'efficacité, de durabilité et d'empreinte écologique, tout en les comparant aux méthodes de prétraitement traditionnelles.

Cette étude vise à fournir une analyse du dimensionnement de la chaîne de prétraitement dans le contexte de la désalinisation de l'eau de mer et cela dans cinq chapitres, chacun consacré à un aspect spécifique du dessalement de l'eau de mer. Le premier chapitre introduit le concept de dessalement et présente ses diverses méthodes. Le deuxième chapitre se penche sur la qualité

de l'eau potable et les caractéristiques de l'eau de mer en tant que source. Le troisième chapitre explore en détail les systèmes de prétraitement essentiels dans le processus de dessalement. Le quatrième chapitre présente la zone d'étude, tandis que le cinquième se concentre sur le dimensionnement du prétraitement. Enfin, le sixième chapitre propose des variantes de prétraitement, offrant ainsi une vue d'ensemble complète de cette technologie cruciale pour la production d'eau douce de qualité, et une conclusion qui résume les résultats de la comparaison des systèmes de prétraitement .

Chapitre I :
Le dessalement des eaux de
Mer

CHAPITRE I : LE DESSALEMENT DES EAUX DE MER

Introduction :

L'eau douce est une ressource vitale pour la vie sur Terre, essentielle à la fois pour la consommation humaine, l'agriculture, l'industrie et les écosystèmes naturels. Cependant, la croissance démographique rapide, l'urbanisation, les changements climatiques et la surexploitation des ressources en eau douce ont engendré une pénurie d'eau dans de nombreuses régions du monde, créant ainsi une crise hydrique préoccupante. Cette crise mondiale de l'eau pose un défi majeur à la sécurité alimentaire, à la santé publique, à la stabilité économique et à la préservation de l'écosystème. Face à ce défi, le dessalement de l'eau de mer est devenu une solution de plus en plus importante pour augmenter la disponibilité d'eau douce dans les régions touchées par le stress hydrique. Le dessalement consiste à extraire le sel et d'autres impuretés de l'eau de mer ou de l'eau saumâtre, la transformant ainsi en une source d'eau potable ou d'eau utilisable pour l'irrigation.

Face à cette réalité, le dessalement de l'eau est devenu une technologie cruciale pour répondre à la demande croissante en eau douce.

Le dessalement est un processus novateur qui permet de transformer l'eau de mer ou l'eau saumâtre en eau douce, en éliminant les impuretés, notamment le sel. Cette technologie offre la promesse de fournir un approvisionnement en eau fiable et durable, indépendamment des ressources en eau douce traditionnelles. Elle ouvre la porte à de nouvelles opportunités pour l'approvisionnement en eau dans les régions touchées par la sécheresse, les zones côtières densément peuplées et les communautés isolées qui ont des besoins en eau non satisfaits.

Les premiers usages pratiques du dessalement remontent aux XVI^e et XVII^e siècles, lorsque des marins tels que Sir Richard Hawkins rapportèrent que leurs équipages obtenaient de l'eau douce à partir d'eau de mer grâce à la distillation à bord de leurs voyages. Au début du XXI^e siècle, les premières installations de dessalement furent développées sur l'île de Curaçao et dans la péninsule arabique. Depuis le milieu du XXI^e siècle, la recherche et l'application du dessalement ont pris de l'ampleur, et les trente dernières années ont vu une croissance exponentielle dans la construction d'installations de dessalement. [1].

Au cours des cinquante dernières années, la recherche et le développement dans le domaine du dessalement ont permis de mettre au point des techniques avancées, rendant le processus plus efficace et rentable. Ainsi, le dessalement demeure et restera une technique viable et même essentielle pour produire de l'eau douce à partir de sources d'eau de qualité relativement faible [1].

1. Disponibilité globale de l'eau

La répartition inégale des ressources en eau douce dans le monde. Certaines régions, comme le nord de la Russie, la Scandinavie, l'Amérique du Sud côtière et le nord de l'Amérique du Nord (Canada, Alaska), bénéficient d'une abondance d'eau douce en raison de leur faible densité de population et de leur accès aux sources d'eau de surface. Cependant, les régions densément peuplées et en rapide industrialisation, en particulier les zones arides, font face à un niveau élevé de stress hydrique. Différentes méthodes, dont l'indicateur de Falkenmark, sont utilisées pour évaluer le stress hydrique, en comparant la consommation totale d'eau à la quantité disponible localement.

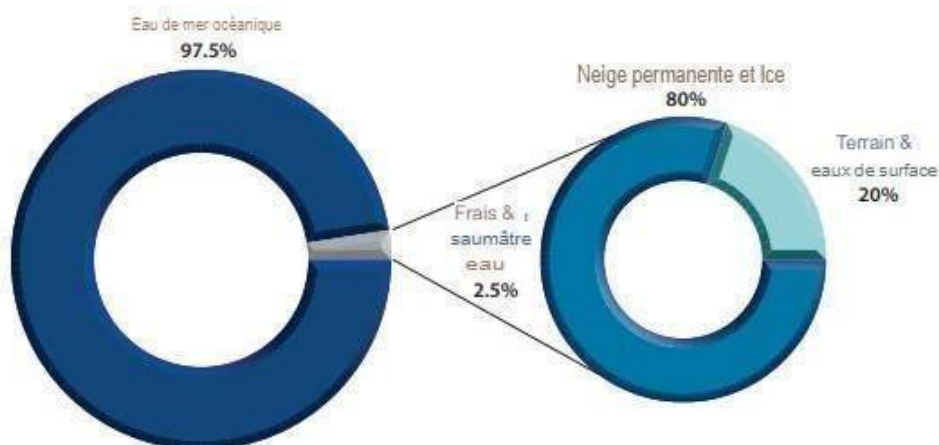


Figure I.1. Répartition des ressources en eau mondiales.

Cependant, les régions densément peuplées et en rapide industrialisation, en particulier les zones arides, font face à un niveau élevé de stress hydrique. Différentes méthodes, dont l'indicateur de Falkenmark, sont utilisées pour évaluer le stress hydrique, en comparant la consommation totale d'eau quantifiée disponible localement.

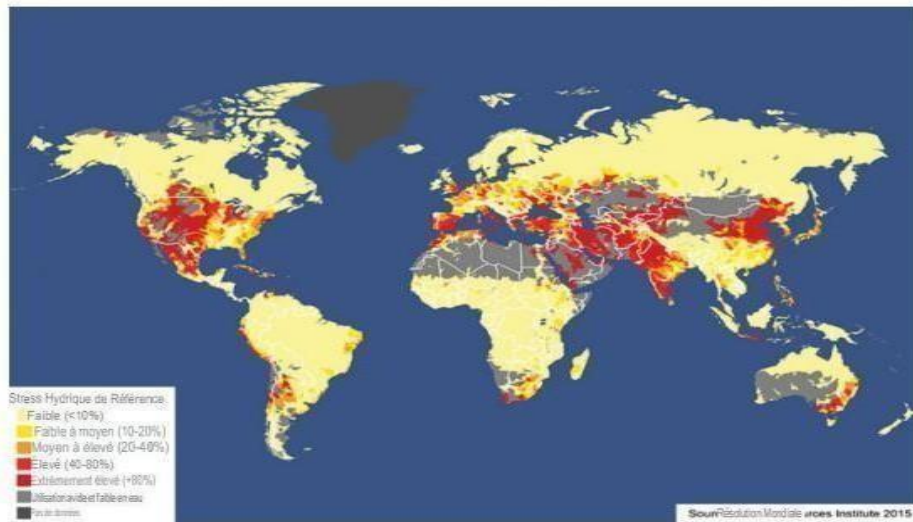


Figure I.2. Stress hydrique de base mondiale en 2015. Courtoisie de l'institut des ressources mondiales

Le stress hydrique est un problème mondial croissant. En 2015, l'Institut des Ressources Mondiales estimait déjà un niveau de stress hydrique, et les projections pour 2025 indiquent que jusqu'à 2,8 milliards de personnes pourraient être confrontées à des problèmes de stress hydrique, avec une possible augmentation à 4 milliards d'ici 2050. Les régions les plus touchées incluraient le sud-centre des États-Unis, l'Europe de l'Est, et l'Asie, avec des problèmes de pénurie d'eau dans certaines parties de l'Afrique, du Moyen-Orient et de l'Asie. [1]

2. La demande en eau potable :

La demande en eau varie considérablement à travers le monde, avec les pays développés affichant une demande élevée d'environ 400 litres par personne et par jour, tandis que les pays occidentaux ayant mis en place des mesures de conservation ont réussi à la réduire à environ 150 litres par personne et par jour. En contraste, certaines régions à accès limité à l'eau, comme l'Afrique, ne disposent que d'environ 20 litres d'eau douce par habitant en raison du manque de ressources appropriées

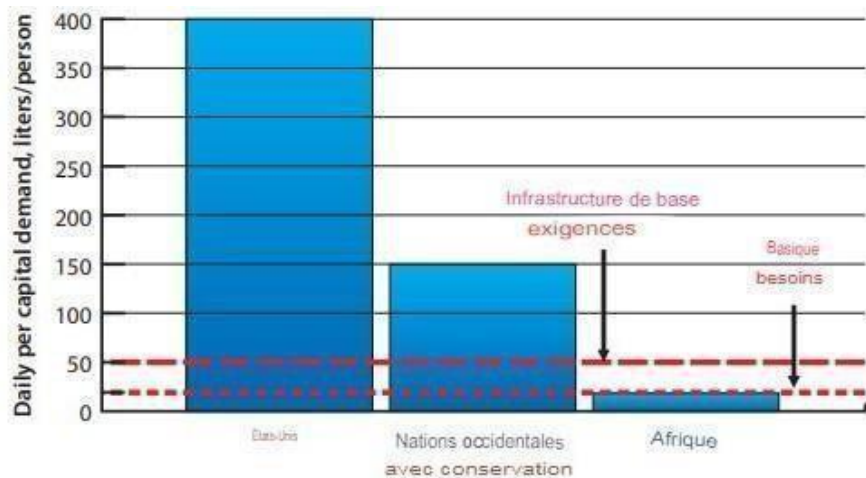


Figure I.3. Demande mondiale d'eau et exigences de base en matière d'eau e l'organisation mondiale de la santé (2010)

Selon l'OMS, une quantité minimale de 15 à 20 litres par personne et par jour est nécessaire pour la survie, tandis que 50 litres sont requis pour le bon fonctionnement des infrastructures de base. Cependant, la demande mondiale en eau douce devrait dépasser l'offre de 56% d'ici 2025, en raison de la croissance démographique et de l'augmentation plus rapide de la demande en eau par habitant. D'ici 2050, la demande en eau devrait augmenter de 55% par rapport aux niveaux de 2015, principalement en raison des besoins de l'industrie manufacturière, de la production d'électricité thermique et de la consommation domestique, faisant de la gestion durable de l'eau une préoccupation mondiale cruciale. [1]

3. Stress hydrique due au changement climatique

Le changement climatique, la croissance démographique et l'industrialisation exercent une pression considérable sur la situation mondiale du stress hydrique. Les effets du changement climatique, tels que des sécheresses plus fréquentes et graves, se combinent à l'augmentation de la population et de la demande en eau pour mettre en danger l'approvisionnement en ressources hydriques. Des études du Centre national de recherche atmosphérique (NCAR) identifient de nombreux pays densément peuplés, notamment en Amérique latine, en Méditerranée, en Asie du Sud-Est et du Sud-Ouest, en Afrique, dans le sud-ouest des États-Unis et en Australie, comme étant particulièrement vulnérables aux sécheresses. Cette vulnérabilité est exacerbée par la hausse de la demande en eau par habitant dans ces régions en croissance rapide. Les Nations Unies anticipent la montée de 27 villes de plus de 10 millions d'habitants d'ici 2020, la plupart étant situées dans des zones menacées par des sécheresses, soulignant ainsi l'urgence d'une gestion durable de l'eau et de l'adaptation au changement climatique à l'échelle mondiale.



Figure I.4. *Stress hydrique de base mondiale, 2015. Courtoise de l'institut des ressources mondiales*

L'industrialisation croissante et les émissions accrues de gaz à effet de serre mettent en danger les réserves d'eau douce, avec des conséquences telles que la fonte des glaces polaires qui élève le niveau de la mer et détériore la qualité de l'eau. Ces problèmes, combinés à la croissance démographique, posent des défis majeurs pour la gestion durable de l'eau et pour répondre à une demande en constante augmentation. Dans certaines régions, l'eau, autrefois abondante, est désormais considérée comme une ressource précieuse nécessitant des méthodes innovantes pour sa localisation et son exploitation. Parmi ces approches, le dessalement de l'eau de mer émerge comme une solution cruciale pour l'avenir de l'approvisionnement en eau. [1]

4. Exploration des eaux de mer :

La recherche de nouvelles sources d'eau douce est devenue essentielle pour répondre à la demande croissante en eau, en dehors des ressources traditionnelles comme les lacs, les rivières et les puits peu profonds. Parmi ces sources émergentes, l'eau de mer est un élément clé, avec la désalinisation jouant un rôle majeur dans la conversion de l'eau de mer en eau potable, notamment dans des régions telles que le golfe Persique, l'Algérie, l'Australie et l'Espagne. De plus, l'exploitation des eaux usées industrielles et municipales, grâce à des technologies de désalinisation, offre une autre opportunité. Cependant, même les sources d'eau moins salines nécessitent souvent un traitement pour répondre aux normes de qualité requises pour la consommation humaine ou industrielle. En résumé, le développement de nouvelles sources d'eau douce est nécessaire pour faire face à la demande croissante, et la désalinisation joue un rôle

crucial en transformant des sources autrefois inutilisables en ressources précieuses répondant aux besoins en eau de haute qualité.

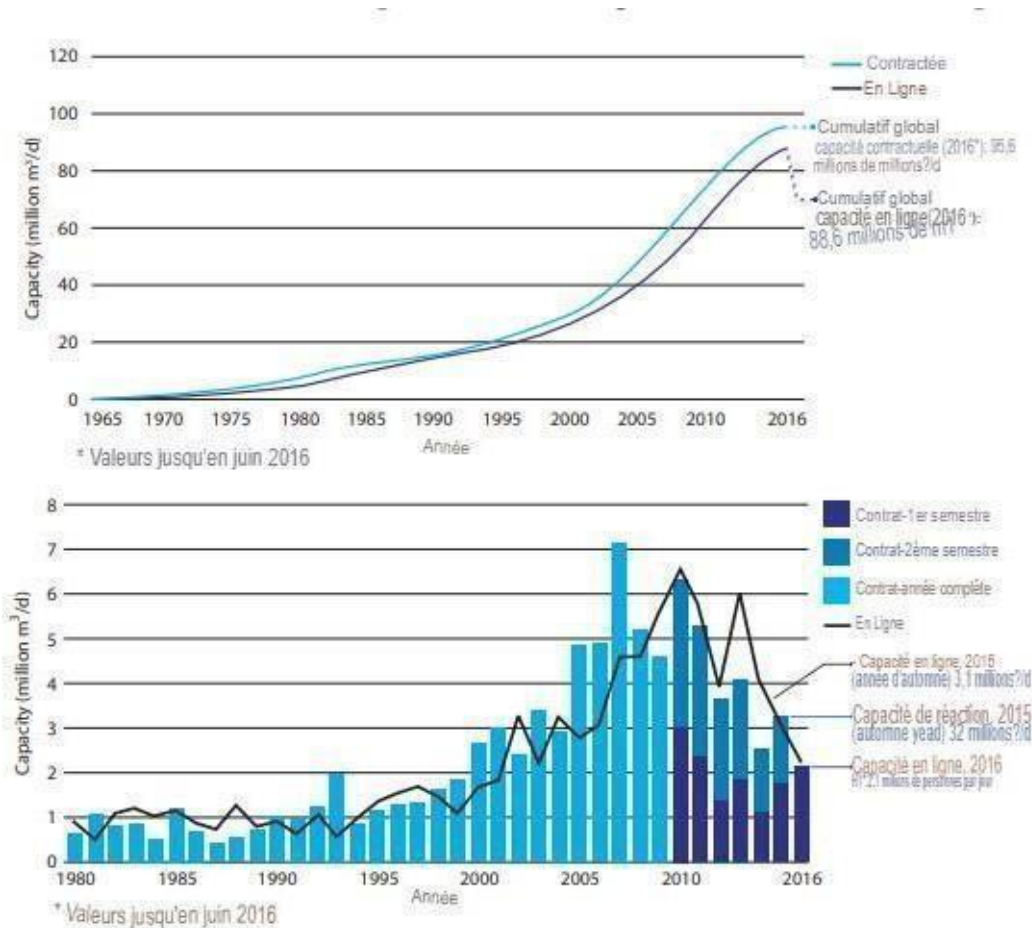


Figure 1.5. Croissance de la capacité cumulative (a) et nouvelle (b) de désaliénation en ligne, avec l'aimable autorisation de globale water intelligence

La désalinisation de diverses sources pour obtenir de l'eau douce a connu une croissance exponentielle depuis 1965, passant de moins de 2 millions de mètres cubes par jour à plus de 88 millions en juin 2016. Cependant, la croissance récente a été moins soutenue en raison de facteurs économiques et environnementaux, malgré des besoins croissants dus à la population, à l'industrialisation, à la sécheresse et aux changements climatiques.[1]

Le dessalement de l'eau de mer est un processus vital qui transforme l'eau de mer en eau douce et potable. Il se réalise principalement par osmose inverse ou distillation thermique. Ce procédé est essentiel dans les régions confrontées à une rareté d'eau douce, où il permet de répondre aux besoins croissants en eau. Toutefois, il présente des défis tels que la consommation énergétique élevée, les coûts d'infrastructure et la gestion des résidus salins. Malgré ces obstacles, le

dessalement contribue significativement à garantir l'accès à de l'eau de qualité dans des zones touchées par la pénurie d'eau.

5. Les techniques de dessalement

Les méthodes de dessalement peuvent être classées en deux grandes catégories : la séparation par membrane et l'évaporation thermique.

Dans les procédés de dessalement basés sur des membranes, on utilise généralement la pression mécanique, le potentiel électrique ou les gradients de concentration pour séparer physiquement l'eau des sels en faisant passer l'eau à travers une membrane semi-perméable.

Les procédés de dessalement thermique, quant à eux, utilisent la chaleur pour évaporer l'eau de mer, puis condensent et récupèrent la vapeur d'eau, laissant les sels derrière eux.

Autrefois, la seule option disponible pour dessaler l'eau de mer était la technologie thermique. Cependant, depuis lors, le procédé de séparation par membrane par osmose inverse (RO) s'est amélioré en permanence et est devenu plus efficace, devenant ainsi la méthode privilégiée pour la plupart des applications de dessalement de l'eau de mer.

5.1. Techniques membranaires

L'utilisation de membranes semi-perméables dans la technologie de dessalement permet de sélectivement permettre ou restreindre le passage d'ions spécifiques. Trois forces motrices principales sont utilisées : la pression, la tension électrique, et les différences de concentration. L'osmose inverse (OI) est la méthode dominante pour le dessalement de l'eau de mer à grande échelle en vue de produire de l'eau potable. La nanofiltration (NF) et l'électrodialyse (ED) sont également utilisées, mais moins fréquemment et pour des applications spécifiques. L'osmose directe (OD) est une technologie émergente avec un potentiel prometteur, mais elle est encore en développement pour des applications à grande échelle.

5.1.1. L'Ososose inverse (OI)

Le traitement par osmose inverse offre des avantages notables par rapport aux méthodes de dessalement thermique, notamment une consommation d'énergie réduite, des débits d'eau d'alimentation moindres, et aucune émission thermique dans le rejet du concentré. Ce processus repose sur le principe de la pression osmotique, où une membrane semi-perméable sépare deux solutions de concentrations ioniques différentes, [2]

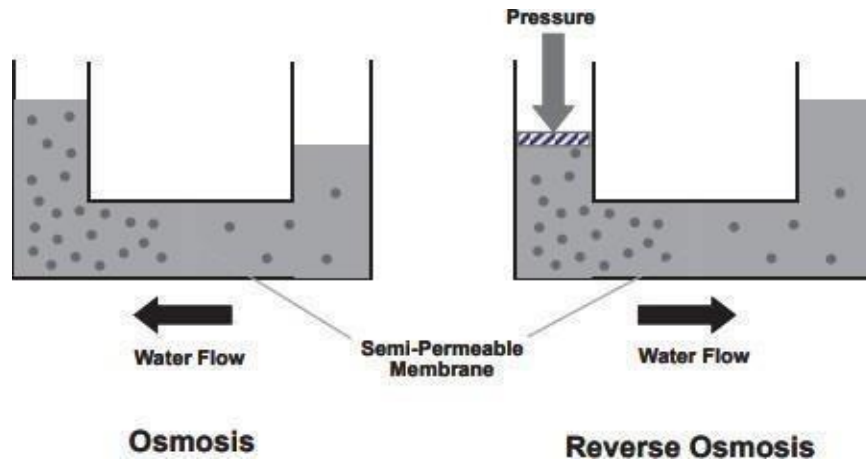


Figure I.6. Concept de base de l'osmose inverse

permettant d'inverser le flux d'eau en appliquant une pression hydraulique supérieure à la pression osmotique. Les améliorations continues des membranes et des dispositifs de récupération d'énergie ont renforcé l'efficacité de l'osmose inverse pour le dessalement de l'eau de mer, réduisant ainsi les coûts associés. Les membranes modernes à couche mince composite ont remplacé les premières membranes asymétriques en acétate de cellulose, rendant le processus plus performant et économiquement viable pour répondre aux besoins croissants en eau douce. [2]

5.1.2. Électrodialyse (ED) / Inversion d'électrodialyse (EDR)

Les procédés d'électrodialyse (ED) et d'électrodialyse inverse (EDR) reposent sur l'utilisation de membranes sélectives d'ions et d'un potentiel électrique pour séparer les espèces chargées de l'eau. Contrairement aux méthodes de dessalement à pression telles que l'osmose inverse (RO) et la nano filtration (NF) qui laissent passer l'eau tout en retenant les sels dans le concentré, l'ED et l'EDR utilisent le potentiel électrique pour attirer les ions dissous à travers des membranes (cations d'un côté, anions de l'autre). L'eau déionisée est récupérée entre les membranes.

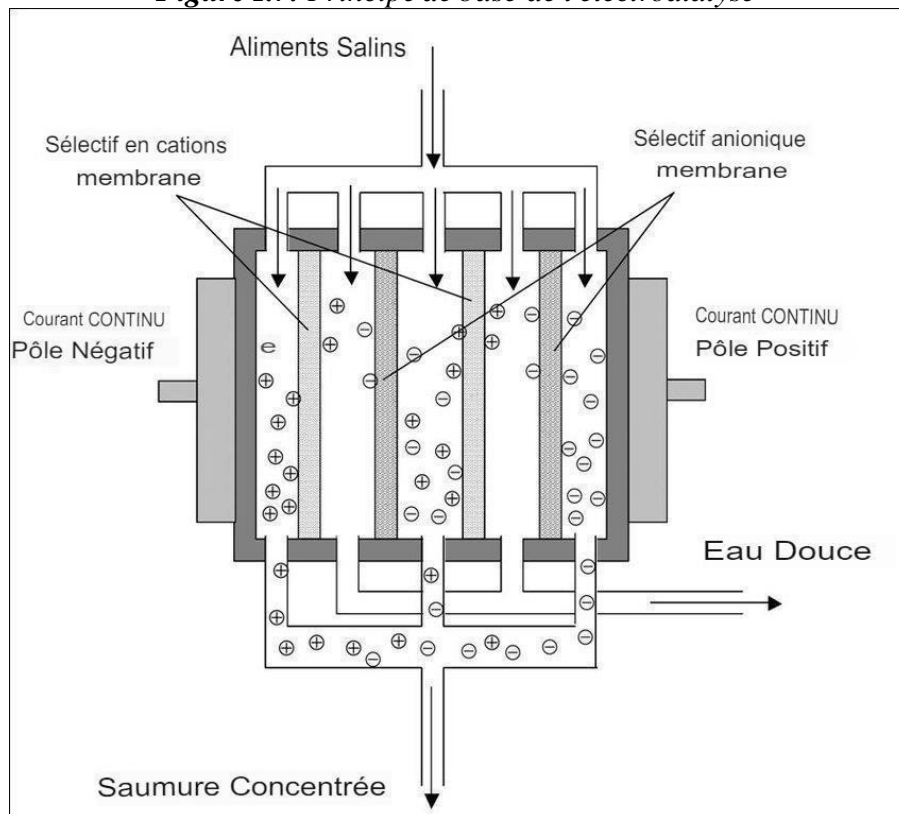
L'empilement d'électrodialyse est composé de membranes sélectives d'ions cationiques et anioniques qui créent des canaux pour l'eau dessalée et le concentré. Les cations migrent vers la cathode et les anions vers l'anode, tandis que les membranes sélectives laissent passer uniquement les cations ou les anions. Cela permet de séparer le sel des autres composants.

En revanche, l'électrodialyse inverse périodiquement la polarité du potentiel électrique pour éviter l'entartrage et l'encrassement, ce qui permet d'obtenir des taux de récupération plus élevés que l'ED.

Cependant, l'ED/EDR n'est généralement pas utilisée pour le dessalement de l'eau de mer, car son efficacité diminue avec une salinité plus élevée par rapport à d'autres technologies de

dessalement à membranes. De plus, les bactéries, les constituants non ioniques et la turbidité résiduelle ne sont pas affectés par ce processus et restent dans l'eau, nécessitant ainsi un traitement supplémentaire pour répondre aux normes d'eau potable. En conséquence, l'ED/EDR est généralement exclue du dessalement de l'eau de mer. [2]

Figure I.7. Principe de base de l'électrodialyse



5.1.3. Nanofiltration (NF)

La nanofiltration est couramment utilisée pour adoucir l'eau et éliminer les sous-produits de désinfection ainsi que la matière organique dissoute. Généralement, la nanofiltration n'est pas employée pour le dessalement de l'eau de mer, mais une configuration particulière à deux passages de la nanofiltration a été testée avec succès pour le dessalement de l'eau de mer. Ce procédé implique l'utilisation de membranes semi-perméables et d'une pression hydraulique, bien que les membranes de nano filtration aient généralement un seuil de poids moléculaire (MWCO) plus élevé par rapport à l'osmose inverse (OI).

Les membranes de nanofiltration ont un taux de rejet élevé pour les ions doublement chargés, atteignant généralement de 90 à 98 % (ceux liés à la dureté), mais elles rejettent moins efficacement les ions monovalents, avec un taux de rejet se situant généralement entre 60 à 85 %. Cette particularité conduit à une pression osmotique plus basse que celle de l'OI, car une plus

grande concentration d'ions monovalents peut passer à travers la membrane de nano filtration. De plus, la couche de peau de la membrane de nano filtration est hautement perméable, réduisant ainsi les exigences hydrauliques pour les applications en eau salée, qui sont d'environ 500 à 700 psi (3,4 à 4,8 MPa).

Reconnaissant les avantages de cette approche, la Long Beach Water Authority (Californie, États-Unis) a développé et breveté un procédé innovant de nano filtration à deux passages pour le dessalement de l'eau de mer. [2]

5.2. Techniques d'Evaporation Thermique

La technologie de dessalement thermique fonctionne en évaporant l'eau salée pour ensuite la condenser en vapeur et produire de l'eau distillée. Elle utilise des procédés tels que le flash à plusieurs étages (MSF), la distillation à effets multiples (MED) et la compression de vapeur (VC), qui chauffent l'eau jusqu'à son point d'ébullition pour créer de la vapeur d'eau. Ces méthodes permettent de produire de l'eau à très faible salinité, réduisant les valeurs TDS à moins de 10 mg/l, même à partir d'eau de mer avec une concentration élevée de sels allant jusqu'à 60 000 à 70 000 mg/l TDS.

Cependant, la principale limite de la technologie thermique réside dans son importante consommation d'énergie lors du processus d'évaporation. Plus la salinité de l'eau est élevée, plus l'énergie nécessaire pour évaporer l'eau de mer augmente. En moyenne, cela représente environ 25 à 100 kWh par 1 000 gallons d'eau douce produite. Bien que l'utilisation de l'énergie solaire comme source de chaleur pour la distillation ait été envisagée, cette approche n'est pas encore viable pour les grands projets.

Un autre défi opérationnel concerne le dépôt de sels réfractaires à haute température sur les surfaces internes des tuyaux et des équipements, ce qui réduit l'efficacité du transfert de chaleur dans les échangeurs et augmente la quantité totale d'énergie requise pour la distillation. De plus, le rejet du concentré issu du processus de distillation thermique est à une température plus élevée que l'eau environnante au point de décharge, ce qui peut poser des problèmes de tolérance supplémentaires.

Malgré ces défis, la technologie thermique offre une qualité d'eau produite très élevée et nécessite moins de prétraitement avant le processus. Cependant, elle est généralement plus coûteuse que l'osmose inverse, en particulier dans les régions où les coûts énergétiques sont élevés, les contraintes foncières sont strictes et les normes environnementales sont rigoureuses. [2]

5.2.1. Distillation rapide multi-étages (MSF)

L'installation MSF (Flash à plusieurs étages) est le système de distillation thermique le plus vaste au monde. Dans ce procédé, l'eau est chauffée à différentes étapes, chacune à une pression et une température plus basse que la précédente. Les usines MSF sont généralement équipées de 15 à 25 étages. Lorsque l'eau est introduite dans chaque étage via une buse de réduction de pression, une partie de celle-ci s'évapore pour former de la vapeur, un phénomène appelé "flash". Cette vapeur se condense ensuite à l'extérieur des tubes du condenseur et est collectée dans des plateaux. La chaleur latente libérée lors de la condensation est utilisée pour préchauffer l'eau de mer, qui est ensuite renvoyée au réchauffeur principal pour être chauffée davantage avant d'entrer dans la première étape de flashage. Ce processus se répète à chaque étape, provoquant l'évaporation progressive de l'eau à chaque baisse de pression.

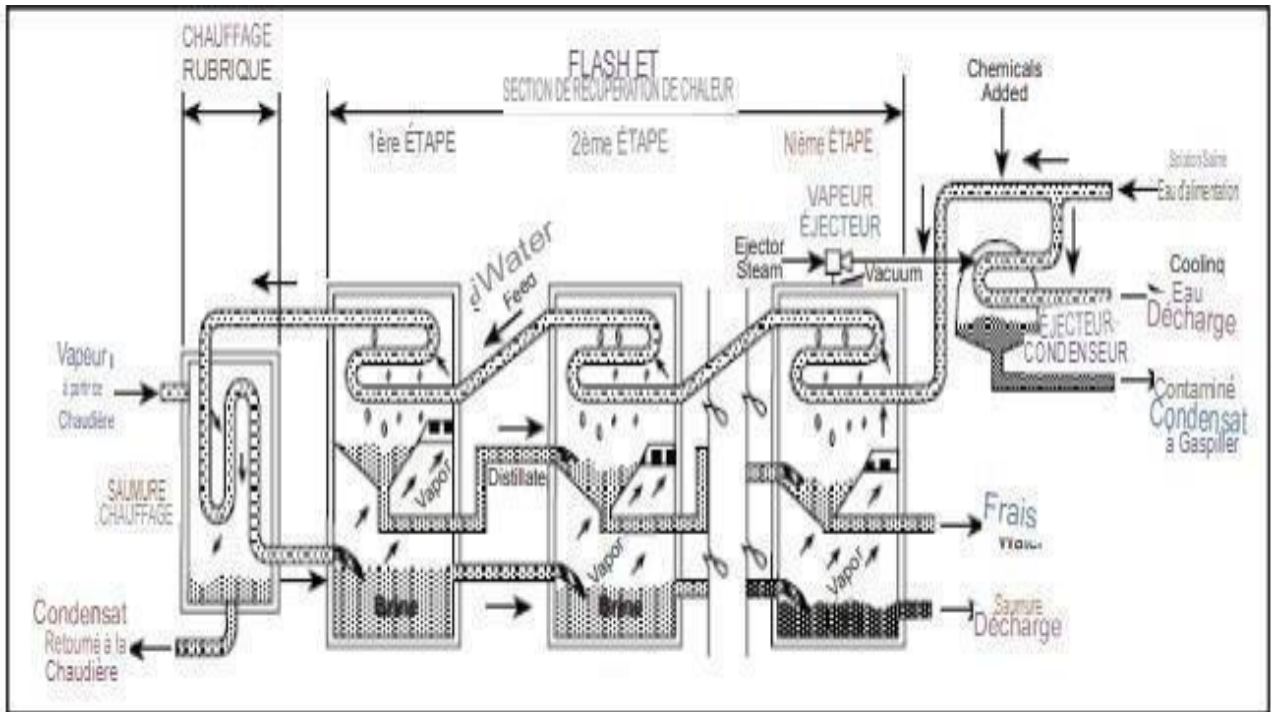


Figure I.8. Désaliénation à multi flash

Le procédé MSF génère et condense la vapeur dans le même appareil ou effet. Cependant, la plage de récupération des procédés de dessalement conventionnels MSF est limitée, allant de 10 % à 30 % pour le dessalement de l'eau de mer, ce qui signifie que seule une proportion relativement faible de l'eau de mer peut être transformée en eau douce. [2]

5.2.2. Distillation à effets multiples (MED)

Le procédé de dessalement thermique MED (Distillation à Effets Multiples) fonctionne en utilisant plusieurs récipients (ou effets) placés en série, chacun abaissant progressivement la pression ambiante. En général, les systèmes MED utilisent entre 8 et 16 effets pour réduire la consommation d'énergie. L'eau d'alimentation est distribuée à l'extérieur des tubes d'évaporation sous forme d'un film mince pour faciliter une ébullition et une évaporation rapides. La vapeur produite par l'évaporation se condense sur les surfaces internes plus froides, et cette chaleur latente est utilisée pour chauffer la saumure restante à des températures et pressions inférieures dans chaque effet ultérieur, sans besoin d'ajouter de chaleur supplémentaire après le premier effet. Cela permet de faire bouillir l'eau plusieurs fois, et la vapeur générée à chaque effet est utilisée pour chauffer l'eau d'alimentation pour l'effet suivant, ce qui réduit la consommation globale d'énergie et les coûts énergétiques par rapport aux procédés MSF.

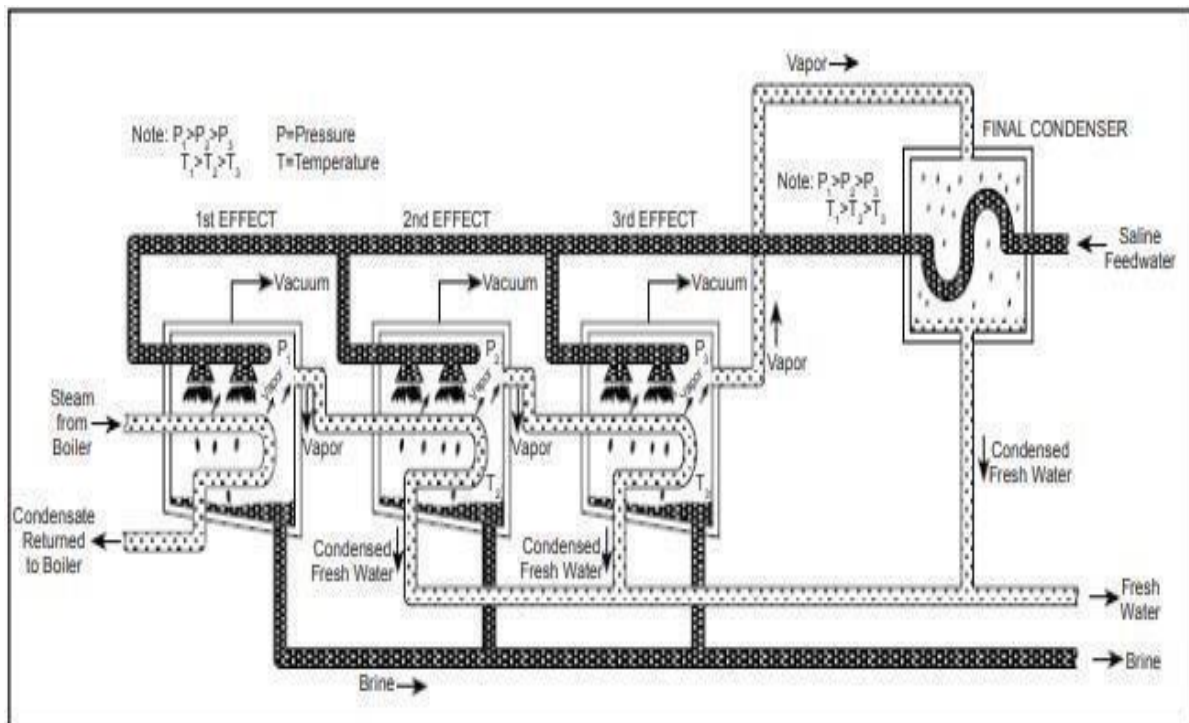


Figure I.1. Distillation à effets multiples

Le fonctionnement des systèmes MED nécessite de l'énergie pour générer de la vapeur à une pression suffisante dans le premier effet, pour alimenter le système de vide afin de réduire la pression d'ébullition dans les effets ultérieurs (lorsqu'ils fonctionnent à basse température), pour pomper l'eau entrante à travers un échangeur de chaleur vers l'évaporateur, pour recirculer le concentré dans chaque étage de l'évaporateur, et pour pomper le condensat afin de le réchauffer à travers la récupération de chaleur avant de le retirer du système. De plus, de l'eau de

refroidissement est utilisée pour condenser la vapeur produite à la fin du processus. Pour améliorer l'efficacité énergétique, on peut combiner les systèmes d'évaporateur avec des sources de basse pression ou de chaleur résiduelle, ou ajouter des dispositifs améliorant l'efficacité aux systèmes MED conventionnels. Cependant, le taux de récupération du procédé MED conventionnel est limité à environ 20 % à 35 % de l'eau de mer, ce qui signifie que seule une proportion relativement faible d'eau de mer peut être convertie en eau douce par ce procédé. [2]

Chapitre II :
***Caractéristique de l'eau de
mer et qualité d'eau potable***

CHAPITRE II : CARACTERISTIQUES DE L'EAU DE MER ET QUALITE D'EAU POTABLE

Introduction

Alors que notre planète est principalement recouverte d'eau, la majeure partie de celle-ci est de l'eau de mer, une ressource abondante mais qui ne répond pas directement à nos besoins en eau potable. Le contraste entre l'abondance de l'eau de mer et la rareté de l'eau douce apte à la consommation humaine est l'un des défis majeurs auxquels l'humanité est confrontée. Dans ce chapitre, nous allons plonger au cœur des caractéristiques uniques de l'eau de mer, explorer sa salinité élevée, sa composition minérale et les divers contaminants qui la rendent inappropriée à la consommation directe. Nous étudierons également les normes strictes de qualité de l'eau potable et les enjeux liés à la transformation de l'eau de mer en une ressource d'eau douce propre et fiable. Ce processus, connu sous le nom de dessalement, est devenu un élément essentiel pour répondre à la demande croissante en eau douce à travers le monde. En comprenant les caractéristiques de l'eau de mer et les normes de qualité de l'eau potable, nous serons mieux préparés à explorer les technologies et les méthodes de traitement qui permettent de surmonter les défis et de garantir un approvisionnement en eau de haute qualité pour les besoins quotidiens de l'humanité.

1. Qualité de l'eau potable

La qualité de l'eau potable est cruciale pour la santé humaine. Une eau propre et sûre réduit les risques de maladies hydriques, améliore la qualité de vie et favorise le bien-être général de la population. Elle soutient également l'agriculture, l'industrie et la biodiversité, contribuant ainsi au développement durable. La préservation de la qualité de l'eau est essentielle pour protéger les écosystèmes aquatiques et garantir un approvisionnement en eau potable fiable à long terme. En résumé, l'eau potable de qualité est un élément vital pour la santé publique, l'environnement et l'économie.

1.1. Critères de potabilité

L'eau potable doit présenter certaines caractéristiques physiques, chimiques, biologiques, et elle doit également satisfaire à des critères organoleptiques essentiels, c'est-à-dire qu'elle doit être incolore, inodore et fraîche.

Dans la plupart des cas, l'eau est destinée à la consommation humaine, et elle doit donc se conformer à la réglementation sur l'eau potable [3]. L'Organisation mondiale de la santé (OMS) a établi des normes internationales pour l'eau potable, incluant des normes physiques, chimiques et bactériologiques. Les critères pertinents pour la production d'eaux dessalées portent sur des

aspects physiques tels que la température, la turbidité, l'odeur et la teneur en matières en suspension (MES), ainsi que sur des caractéristiques chimiques telles que la salinité, les chlorures, le pH et les sels dissous totaux (TDS).

Conformément aux normes de potabilité algériennes et à celles de l'OMS, différentes propriétés physico-chimiques et bactériologiques de l'eau potable sont spécifiées dans un tableau.

Tableau II.1. Propriété physicochimique et bactériologique de l'eau de l'eau potable

Paramètres	Normes OMS	Normes Algérienne
Turbidité (NTU)	5	5
Température (°C)	25	25°C
Conductivité(μS/Cm)	1000	2800
pH	6,5-8,5	6,5-8,5
Chlorures(mg/l)	200	500
Sulfates(mg/l)	250	400
Calcium(mg/l)	100	200
Magnésium(mg/l)	50	150
Dureté totale(mgCaCO ₃ /l)	16	500
Sodium(mg/l)	200	200
Potassium(mg/l)	12	20
HCO ₃ ⁻ (mg/l)	-	-
CO ₃ ⁻² (mg/l)	-	-
Alcalinité (°F)	-	-
Phosphate (mg/l)	5	0,5
Nitrates(mg/l)	50	50
Nitrites(mg/l)	0,1	0,1
Ammonium(NH ₄ ⁺)(mg/l)	0,5	0,5
Fer(mg/l)	0,3	0,3
Silice (SiO ₃) en mg/l	-	-
Manganèse (Mn)en mg/l	50	150
Coliformes Totaux dans 100ml	0	0
Coliformes fécaux dans 100ml	0	0
Streptocoques dans 100ml	0	0

2. Caractéristiques de l'eau de mer

La qualité de l'eau de mer varie selon différents facteurs tels que la température, la clarté, la concentration en sels dissous, et cette variation peut être observée d'un endroit à un autre ainsi que d'un jour à l'autre. En outre, l'eau de mer est caractérisée par une salinité particulièrement

élevée. Elle est couramment utilisée comme source d'eau en l'absence d'autres approvisionnements en eau douce et est essentielle pour le processus de dessalement. [3]

De plus, il est important de noter que la composition des eaux marines connaît des variations significatives en fonction de la saison et de la nature des terrains qu'elle traverse au cours de son parcours. En effet, au fil de son trajet, l'eau dissout les divers éléments présents dans les sols environnants [5].

La salinité, la température et la quantité de matières en suspension sont des paramètres essentiels pour le bon fonctionnement d'une station de dessalement.

Les principaux éléments qui contribuent de manière significative à la masse des sels dissous dans les océans comprennent 11 éléments différents, et leurs concentrations sont répertoriées dans le tableau [4].

Tableau II.2. Concentration des éléments principaux de l'eau de mer

Cations	Concentration (mg/L)	Anions	Concentration (mg/L)
Sodium	10160	Chlorures	19343
Magnésium	1249	Sulfates	2712
Calcium	413	Bicarbonates	142
Potassium	387	Bromure	67
Strontium	8	Fluor	1
		Bore	27

Les eaux de mer se distinguent par leur forte salinité, ce qui signifie une concentration élevée en sels tels que le chlorure de sodium, le chlorure de magnésium, le calcium, les sulfates et les carbonates, ainsi qu'un environnement légèrement alcalin avec un pH moyen oscillant entre 7,5 et 8,4. Il est cependant essentiel de noter que la composition et les propriétés de l'eau de mer ne sont pas constantes et peuvent évoluer au fil du temps [1].

2.1. Salinité

La salinité mesure la concentration de sel dissous dans l'eau, exprimée en grammes par litre (g/L). Sa valeur la plus basse est généralement observée près des pôles, et elle augmente à mesure que l'on se rapproche de l'équateur. Elle varie généralement entre 35 et 42 g/L en fonction des mers, mais peut dépasser 50 g/L dans certaines régions, comme la côte Est de l'Arabie Saoudite, où la chaleur et les hauts-fonds favorisent l'évaporation. Par ailleurs, voici la salinité de l'eau dans différentes mers : Océan Atlantique (de 32 à 35 g/L), Mer Méditerranée (de 36 à 40 g/L), Mer Rouge (de 40 à 47 g/L), Golfe Persique (50 g/L) [4].

Le principal ion présent dans l'eau de mer est le chlorure de sodium, qui représente 85% de la salinité totale. On trouve également des ions bicarbonates, du calcium et des sulfates. Selon les conditions de température et de pH, ces ions peuvent constituer des sources potentielles d'entartrage.

2.2. Température

La température de l'eau de mer est directement influencée par les échanges thermiques entre la masse d'eau et son environnement. Plusieurs facteurs contribuent à cette élévation de température, notamment l'absorption de radiations solaires, le flux de chaleur provenant de l'intérieur de la Terre par le biais des fonds océaniques, ainsi que la condensation de la vapeur d'eau. À l'inverse, la température de l'eau diminue grâce aux émissions de radiations depuis sa surface, à la convection de chaleur vers l'atmosphère et à l'évaporation [4].

2.3. Pollution

Le long des côtes fortement urbanisées et industrialisées, la pollution est plus prononcée ce qui entraîne la contamination des eaux de mer, constituant ainsi un problème à résoudre. Parmi les divers facteurs contribuant à la pollution des eaux marines, on peut mentionner :

Les vents, qui peuvent transporter des substances contaminantes sur de longues distances.

Les rivières, qui transportent des substances toxiques vers les océans en raison des précipitations.

Les déversements d'égouts dans les fleuves ou directement dans la mer, entraînant des matières organiques et des bactéries.

Les navires, qui rejettent des hydrocarbures, dont certains peuvent provenir même des éruptions de puits sous-marins. [3]

2.4. La turbidité

La turbidité joue un rôle essentiel dans le contexte du dessalement de l'eau de mer. Lorsque l'eau de mer est utilisée comme source pour le dessalement, la turbidité peut être un facteur important à surveiller. Les particules en suspension, les sédiments et les matières organiques dans l'eau de mer peuvent entraîner des problèmes dans le processus de dessalement, en particulier lors de l'utilisation de la technologie de l'osmose inverse. Les particules solides peuvent obstruer les membranes de filtration utilisées dans les unités d'osmose inverse, réduisant ainsi l'efficacité du processus et augmentant les coûts de maintenance. Par conséquent, il est nécessaire de surveiller et de contrôler la turbidité de l'eau de mer à l'entrée du processus de dessalement, en utilisant des systèmes de prétraitement pour éliminer les particules en

suspension. Cela garantit une production d'eau potable de haute qualité tout en prolongeant la durée de vie des équipements de dessalement.

2.5. La teneur en matières en suspension

La teneur en matières en suspension dans l'eau de mer est un aspect essentiel à prendre en compte. L'eau de mer est un environnement vivant, contenant à la fois des matières minérales et de petits organismes souvent microscopiques. En pleine mer, le plancton, le zooplancton et le phytoplancton sont parmi les éléments les plus importants en suspension. Près des côtes, l'action des vagues et/ou des marées peuvent mettre en suspension plusieurs milligrammes par litre de sable, de limon ou d'autres dépôts, dont la quantité varie en fonction des courants et de la profondeur des fonds marins. De plus, la pollution provenant des rejets urbains ou industriels peut devenir prépondérante. C'est pourquoi le choix de l'emplacement de la prise d'eau et sa conception sont soigneusement étudiés pour minimiser la pollution et réduire au maximum les matières en suspension [3].

Il est important de noter que les membranes utilisées dans les systèmes d'osmose inverse sont sensibles aux matières en suspension. Leur présence peut entraîner un colmatage rapide des membranes, les rendant inutilisables. Pour maintenir leur efficacité, il est donc essentiel de traiter l'eau de mer pour la rendre aussi propre que possible. C'est l'objectif du prétraitement, dont les étapes successives seront abordées dans un paragraphe à venir.

Les composés présents dans l'eau sont généralement classés en trois catégories distinctes : les matières en suspension (MES), les matières colloïdales et les matières dissoutes. Les matières en suspension se composent à la fois de particules minérales et organiques, ayant un diamètre supérieur à 1 micromètre. Leur capacité à se décanter d'une profondeur d'un mètre varie considérablement, allant de quelques dixièmes de seconde à plusieurs jours en fonction de leur taille et de leur densité.

Les matières colloïdales, quant à elles, sont également des matières en suspension, mais leur diamètre est inférieur à 1 micron. En raison de leur petite taille, elles ont une vitesse de décantation très faible. Les particules colloïdales d'origine minérale ont une densité relative d'environ 2,65 tandis que celles d'origine organique ont une densité relative beaucoup plus basse, soit environ 1,1. Les particules colloïdales de faible densité pourraient, en théorie, nécessiter un temps de décantation allant jusqu'à 666 000 années pour descendre d'un mètre.

Les matières dissoutes, quant à elles, sont principalement composées de cations ou d'anions avec un diamètre de quelques nanomètres. Leur vitesse de décantation est encore plus lente que celle des matières en suspension et des matières colloïdales. [7]

Pour éliminer efficacement les matières en suspension et les matières colloïdales dans un laps de temps raisonnable, un prétraitement adéquat est nécessaire. Les procédés du prétraitement sont nécessaires car les particules présentes dans l'eau sont généralement très stables et ne peuvent pas se décarter naturellement. [7]

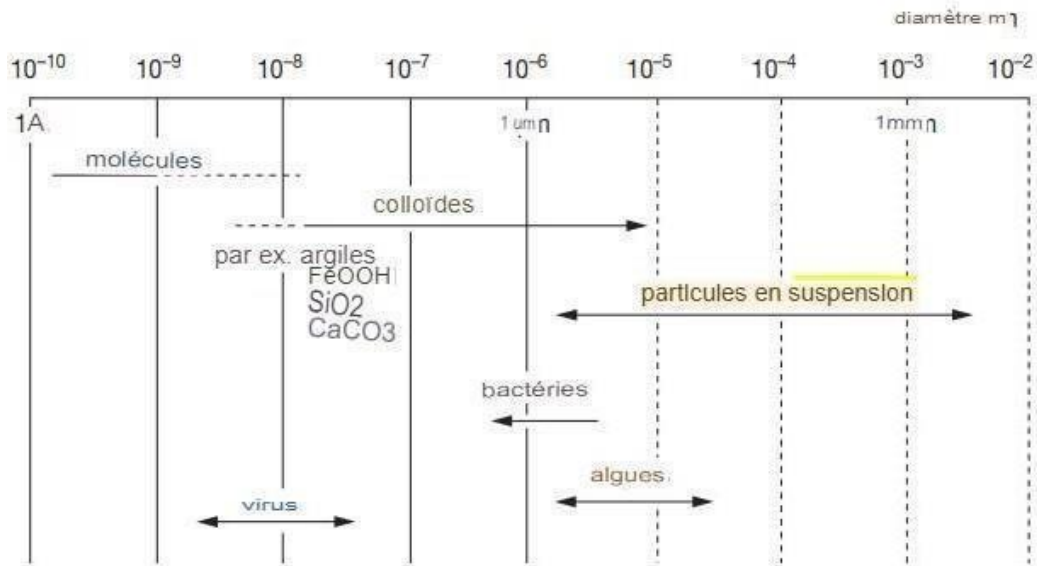


Figure II.1. Spectre de taille des particules dans les eaux naturelles

2.5.1 Différents types de MES :

Il existe deux types principaux des MES

2.5.1.1. Fraction minérale :

Les particules minérales dans les sédiments peuvent être classées en deux grandes catégories : les sédiments vaseux, tels que les silts et les argiles, et les sédiments sableux ou grossiers. La limite de granulométrie entre ces deux catégories est généralement fixée à 62,5 μm . Les sables, entre 62,5 μm et 2 mm, sont composés principalement de quartz et de feldspaths. Les particules plus fines, en dessous de 62,5 μm , sont divisées en deux groupes : les silts (62,5 à 2 ou 4 μm) et les argiles granulométriques (moins de 2 ou 4 μm). Les argiles proviennent de l'altération des roches et sont les minéraux les plus abondants, comprenant divers types tels que la kaolinite, la chlorite, l'illite et la smectite. La fraction minérale peut également contenir d'autres minéraux non argileux comme le quartz, les micas et les feldspaths, ainsi que du carbone inorganique sous forme de carbonates issus de roches carbonatées ou de processus biologiques.

Millimètres (mm)	Micromètres (µm)	PHI (d)	Classe de taille de Wentworth
4096		-12.0	Rocher
256		-8.0	Gravel
64		-6.0	
4		-2.0	
2.00		-1.0	
1.00		0.0	Sable très grossier
1/2	500	1.0	Sable grossier
1/4	250	2.0	Sable moyen
1/8	125	3.0	Sable fin
1/16	63	4.0	Sable très fin
1/32	31	5.0	Limon grossier
1/64	15.6	6.0	Limon moyen
1/128	7.8	7.0	Limon fin
1/256	3.9	8.0	Limon très fin
0.00006	0.06	14.0	Argile

Figure II.2. Classification granulométrique [17]

Les diverses catégories de minéraux (argiles, silts et sables) se distinguent par leurs vitesses de sédimentation considérablement différentes. En ce qui concerne les particules élémentaires, la vitesse de sédimentation est proportionnelle au carré de leur diamètre. Par conséquent, pour des particules minérales de la taille des sables (environ 200 µm), la vitesse de sédimentation atteint plusieurs centimètres par seconde, alors qu'elle se situe entre 10⁻⁵ et 10⁻¹ millimètre par seconde pour les argiles et les silts. Par exemple, une particule élémentaire d'argile de 1 µm affiche une vitesse de sédimentation de 0,001 millimètre par seconde. Dans une étude menée par), une première estimation des vitesses de sédimentation en fonction du diamètre équivalent des particules a été proposée. [8]

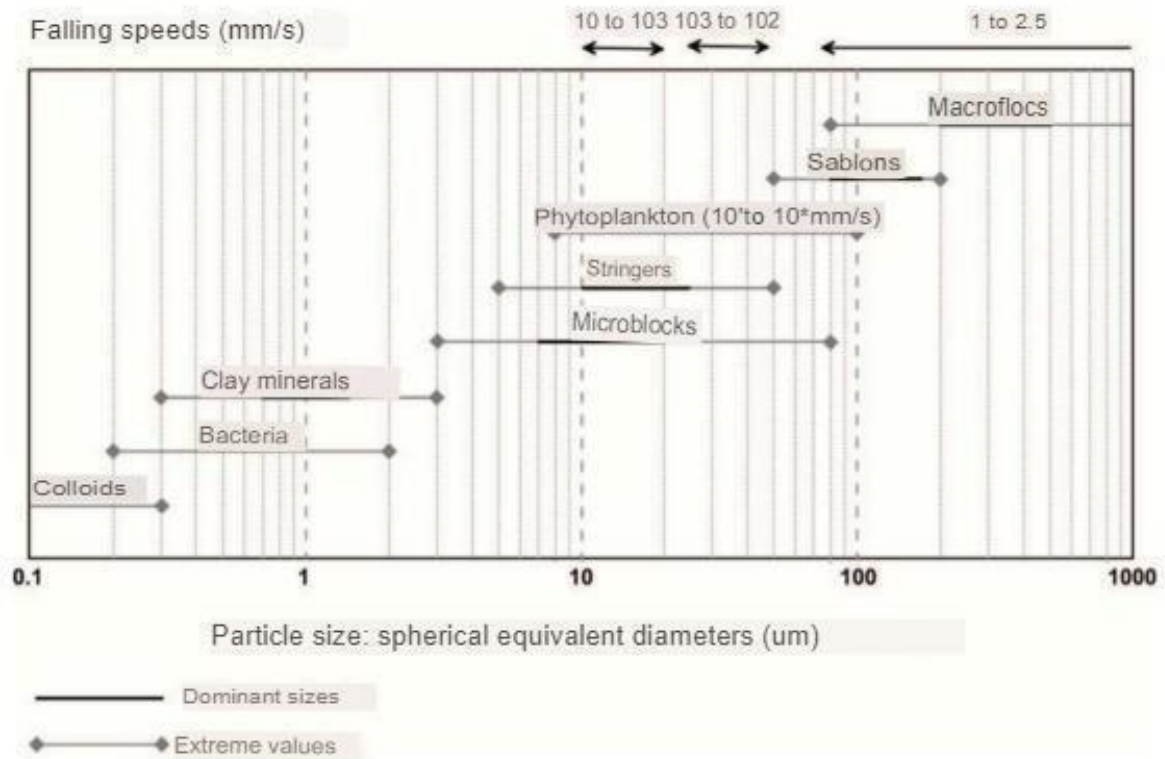


Figure II.3. Vitesse de chute des particules et diamètre équivalent).

2.5.1.2. Fraction organique

L'eau de mer renferme de la matière organique particulaire (MOP) avec une grande diversité de tailles. Cette MOP comprend des organismes tels que le phytoplancton, les levures, les bactéries, et de petits organismes hétérotrophes, avec des dimensions allant de 0,45 à 300 micromètres.

La distribution de la matière organique particulaire (COP) et de l'azote organique particulaire (NOP) est influencée par la production primaire des organismes autotrophes. La concentration en COP varie généralement de 0,05 mg/l à 1,00 mg/l dans les eaux côtières, avec une moyenne de 0,15 mg/l dans les eaux de surface, tandis qu'elle est presque nulle dans les eaux profondes. La concentration en NOP est d'environ 0,029 mg/l dans les eaux de surface et de 0,013 mg/l dans les eaux profondes. Le rapport carbone-azote dans la MOP se situe entre 6,6 et 7, ce qui correspond aux proportions stœchiométriques dans les cellules planctoniques.

La majorité de la MOP, dont la taille varie de 0,2 à 2 micromètres, est constituée de bactéries hétérotrophes. Leur concentration est d'environ 1×10^6 cellules par millilitre. En raison de la faible disponibilité en nutriments dans le milieu marin, la plupart de ces bactéries se trouvent dans un état de latence.

Le phytoplancton constitue la majeure partie de la biomasse vivante dans les océans, avec une taille variant de 0,2 à 200 micromètres. Bien que sa morphologie puisse être très diverse, la composition chimique du phytoplancton reste relativement constante d'une espèce à l'autre, principalement composée de protéines (50 %), de glucides (30 %), de lipides (10 %) et d'acides nucléiques (5 %). D'autres éléments tels que le phosphore et le soufre peuvent également être présents dans le phytoplancton. Il est important de noter que les zones côtières jouent un rôle essentiel dans la production biologique des océans, bien qu'elles ne représentent que 8 % de la superficie océanique, elles contribuent à hauteur de 25 à 50 % du carbone organique marin.

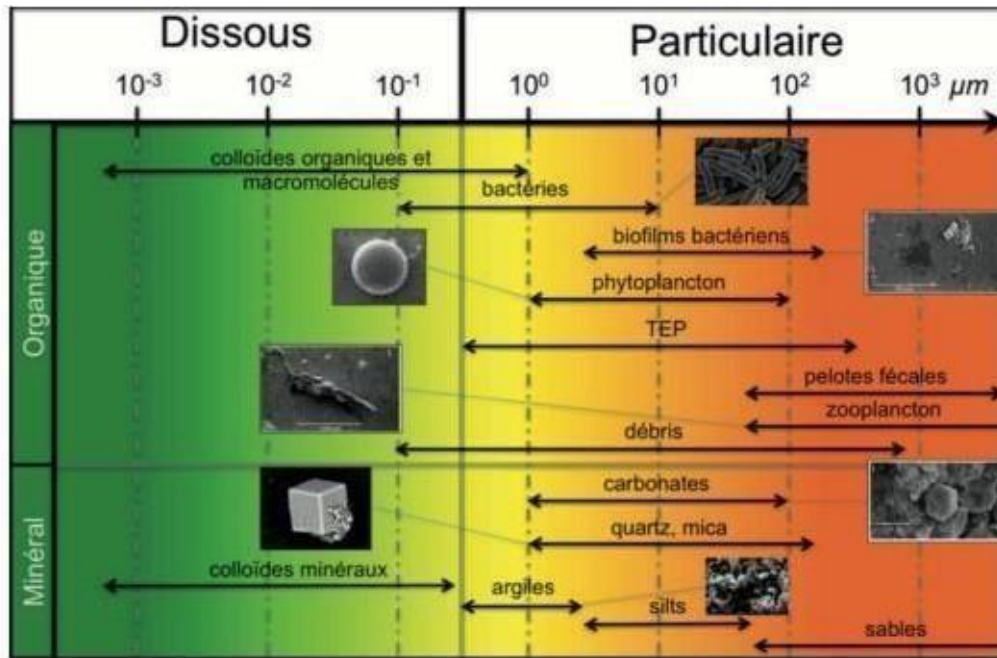


Figure.II.4. Grande classe de particules en suspension rencontrée dans l'eau de mer.

3. L'effet des MES (Matières en suspension) sur le fonctionnement des membranes d'osmose inverse

Les MES peuvent endommager physiquement la surface de la membrane, ce qui peut réduire sa durée de vie utile. La présence de MES peut également augmenter la fréquence nécessaire de nettoyage ou de remplacement des membranes, ce qui entraîne des coûts opérationnels plus élevés.

3.1. Le colmatage

Le colmatage des membranes d'osmose inverse (OI) est un problème majeur qui peut avoir des répercussions significatives sur le bon fonctionnement de ces systèmes de filtration avancée. L'osmose inverse repose sur l'utilisation de membranes semi-perméables pour éliminer les contaminants de l'eau en les forçant à traverser la membrane tout en retenant les particules

indésirables. Toutefois, lorsque les membranes d'Oise colmatent, plusieurs problèmes surviennent. Le débit d'eau diminue, nécessitant une pression plus élevée pour maintenir la production. De plus, l'efficacité de la filtration diminue, ce qui peut entraîner une eau de qualité inférieure à la sortie du système. Les membranes colmatées nécessitent également un nettoyage fréquent, ce qui entraîne des interruptions de production et des coûts d'entretien plus élevés. Pour prévenir le colmatage, un prétraitement adéquat, le choix approprié de la membrane en fonction de la qualité de l'eau, et un programme de nettoyage et d'entretien régulier sont essentiels pour assurer un fonctionnement optimal des systèmes d'osmose inverse. [9]

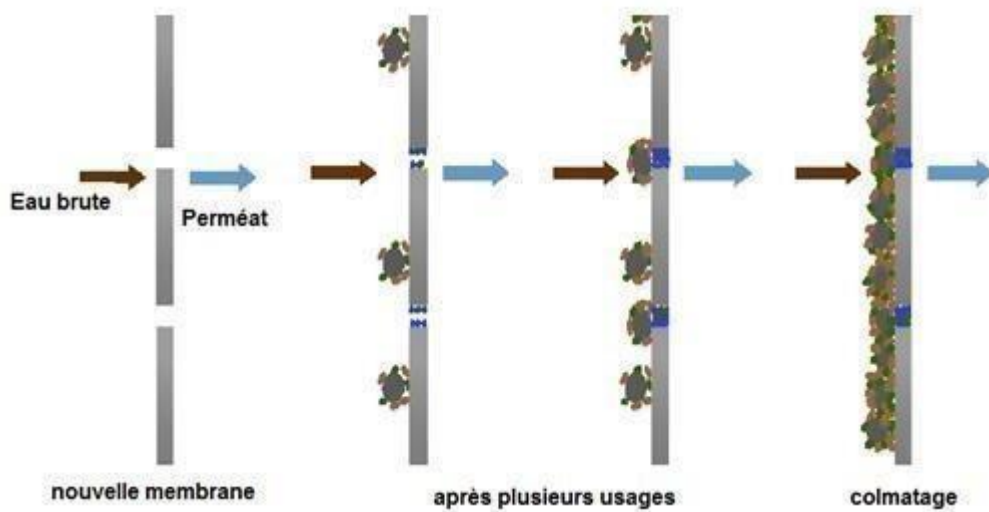


Figure.II.5. Colmatage des membranes

3.2. Types de colmatage

En parallèle avec l'attribution susmentionnée des substances nuisibles présentes dans l'eau de mer à des catégories spécifiques, les manifestations du colmatage des membranes peuvent être classées comme suit :

- Colmatage colloïdal causé par des substances inorganiques et organiques.
- Colmatage organique des membranes dû au dépôt de substances de poids moléculaire élevé qui se trouvent naturellement ou qui sont synthétiques.
- Colmatage biologique causé par le dépôt et la croissance de substances biologiquement actives sur les membranes, ainsi que par l'accumulation de revêtements organiques résultant du métabolisme de ces substrats.

En pratique, cependant, ces types de colmatage se produisent généralement en combinaison, de sorte que les dépôts sur les membranes d'osmose inverse (RO) sont un mélange de différents types de colmatage. Néanmoins, si un contaminant spécifique de l'eau de mer prédomine, il constituera la majeure partie du colmatage. De plus, le colmatage intensif peut également entraîner une formation de tartre localisée dans les éléments de la membrane, créant ainsi des dépôts composés d'un mélange de ces deux types de revêtements membranaires. Tandis que l'ampleur du colmatage colloïdal inorganique peut être largement maîtrisée grâce à une conception appropriée de l'étape de prétraitement, le colmatage organique et biologique pose toujours un défi significatif pour la conception et le fonctionnement sans problème du processus de prétraitement et de l'usine d'osmose inverse, en particulier lors de l'extraction d'eau de mer à prise ouverte. [9]

Pour éliminer efficacement les matières en suspension et les matières colloïdales dans un laps de temps raisonnable, un prétraitement adéquat est nécessaire. Les procédés du prétraitement sont nécessaires car les particules présentes dans l'eau sont généralement très stables et ne peuvent pas se décanter naturellement. [7]

4. Paramètres et spécifications de qualité d'eau de mer lors du prétraitement :

Les fabricants de membranes utilisent pour évaluer l'efficacité des systèmes d'osmose inverse (OI) et pour protéger l'intégrité des membranes d'OI. Ces paramètres et critères sont essentiels pour garantir le bon fonctionnement des systèmes d'OI dans la désalinisation de l'eau de mer et d'autres applications. Voici une analyse détaillée des points clés :

4.1. Indice de densité de silt (SDI15) :

Le SDI15 est une mesure du potentiel d'encrassement par les particules de l'eau d'alimentation. Il quantifie la quantité de solides en suspension dans l'eau, et une valeur de SDI15 plus élevée indique un potentiel d'encrassement plus élevé. Les systèmes d'OI sont conçus pour fonctionner dans des limites spécifiées de SDI15 afin de prévenir l'encrassement des membranes.

4.1.1. Méthode de mesure du SDI15

Pour mesurer le SDI15, voici une méthode générale qui peut être suivie :

1. Collecte des échantillons :

Choisissez un site de mesure représentatif de la zone que vous souhaitez évaluer.

Utilisez un tube ou un carottier pour prélever un échantillon de sédiment à une profondeur de 15 centimètres sous la surface de l'eau. Assurez-vous que l'échantillon est représentatif de la zone.

2. Traitement des échantillons :

Éliminez les débris et les éléments non-sédimentaires de l'échantillon.

Séchez l'échantillon à une température constante (par exemple, 105°C) jusqu'à ce que son poids ne change plus, ce qui indique que toute l'humidité a été évaporée.

3. Mesure du poids sec :

Une fois que l'échantillon est complètement sec, pesez-le avec précision. Vous obtiendrez le poids sec de l'échantillon en grammes.

4. Calcul du SDI15 :

Pour calculer le SDI15, vous devez diviser le poids sec du sédiment prélevé à 15 cm de profondeur par l'aire de la section transversale du cours d'eau ou du plan d'eau où l'échantillon a été prélevé. L'aire doit être exprimée en mètres carrés.

$$\text{SDI15} = (\text{Poids sec du sédiment en grammes}) / (\text{Aire de la section transversale en mètres carrés})$$

4.2. Indice de colmatage modifié (MFI0.45) :

Le MFI0.45 est un autre paramètre utilisé pour évaluer le potentiel d'encrassement de l'eau d'alimentation. Il mesure spécifiquement le potentiel d'encrassement des particules de plus de 0,45 micromètres de taille. Comme le SDI15, les valeurs de MFI0.45 sont surveillées pour prévenir l'encrassement des membranes d'OI.

4.2.1. Méthode de mesure du MFI0.45

Voici une méthode générale pour mesurer le MFI0.45 :

1. Préparation des échantillons :

Prélevez un échantillon représentatif du matériau ou du sol que vous souhaitez évaluer.

L'échantillon doit être collecté de manière à conserver sa structure et sa composition naturelles.

2. Tamisage des échantillons:

Préparez une série de tamis avec une ouverture de maille de 0,45 mm (450 microns). Les tamis sont utilisés pour séparer les particules fines de celles plus grosses.

Pesez soigneusement l'échantillon total.

3. Tamisage des particules fines :

Tamisez l'échantillon à travers le tamis de 0,45 mm. Vous pouvez utiliser un tamiseur mécanique ou effectuer cette opération manuellement.

Recueillez les particules qui passent à travers le tamis de 0,45 mm dans un récipient approprié.

4. Mesure du poids des particules fines :

Pesez avec précision les particules fines recueillies dans le récipient. Vous obtiendrez le poids des particules fines en grammes.

5. Calcul du MFIO.45 :

Pour calculer le MFIO.45, divisez le poids des particules fines par le poids total de l'échantillon, puis multipliez le résultat par 100 pour obtenir un pourcentage.

$$\text{MFIO.45} = (\text{Poids des particules fines} / \text{Poids total de l'échantillon}) \times 100$$

Le MFIO.45 est exprimé en pourcentage et représente la proportion de particules de 0,45 mm ou moins dans l'échantillon par rapport au poids total de l'échantillon. Plus le MFIO.45 est élevé, plus l'échantillon est susceptible d'être colmaté par des particules fines, ce qui peut affecter sa perméabilité.

Assurez-vous de suivre des procédures de tamisage et de pesée précises pour obtenir des résultats fiables. Les normes et les méthodes spécifiques peuvent varier en fonction des réglementations locales ou des protocoles de recherche, il est donc recommandé de consulter les directives appropriées pour votre région ou votre étude particulière.

4.3. Turbidité :

La turbidité est une mesure de la turbidité ou de la nébulosité d'un fluide due à un grand nombre de particules individuelles. Des valeurs de turbidité plus faibles indiquent une eau plus propre, ce qui est souhaitable pour les systèmes d'OI. Les fabricants peuvent spécifier des niveaux de turbidité maximaux acceptables pour l'eau d'alimentation. La mesure de la turbidité de l'eau est généralement faite par turbidimétrie ou néphélométrie. Ces méthodes évaluent la quantité de lumière diffusée par les particules en suspension dans l'eau, reflétant son degré de clarté. Un instrument, tel qu'un turbidimètre, est utilisé pour émettre un faisceau de lumière à travers l'échantillon, tandis qu'un détecteur mesure la lumière diffusée. Les résultats sont exprimés en unités de turbidité telles que les NTU ou FTU. La mesure de la turbidité est essentielle pour évaluer la qualité de l'eau dans divers contextes environnementaux et de gestion des ressources en eau.

4.4. Teneur en chlore :

Des niveaux élevés de chlore libre dans l'eau d'alimentation peuvent endommager les membranes d'OI. Les fabricants spécifient des limites supérieures pour le chlore libre afin de protéger les membranes de la dégradation.

4.5. Métaux :

Le fer, le manganèse et l'aluminium sont généralement présents dans l'eau de mer et peuvent avoir des effets préjudiciables sur la performance des membranes. Les fabricants spécifient des limites supérieures pour ces métaux afin de prévenir l'encrassement et les dommages aux membranes.

4.6. Charge organique :

Le carbone organique total (TOC) est une mesure de la teneur en carbone organique dans l'eau. Des niveaux élevés de TOC peuvent contribuer à l'encrassement. Les fabricants peuvent spécifier des limites pour le TOC afin d'assurer un fonctionnement efficace de l'OI. [15]

Chapitre III :
Les Techniques du
Prétraitement de l'eau de mer

CHAPITRE III : LES TECHNIQUES DE PRETRAITEMENT DE L'EAU DE MER

Introduction :

Le prétraitement de l'eau de mer est une étape essentielle dans le processus de dessalement par osmose inverse (OI), visant à prévenir le colmatage des membranes et à maintenir leur performance optimale. En plus des minéraux comme les carbonates alcalino-terreux, les sulfates alcalino-terreux et le fluorure de calcium, l'eau de mer contient divers contaminants qui, s'ils pénètrent le système de membranes OI, peuvent entraîner des problèmes de colmatage. Le colmatage réduit la perméabilité des membranes, augmente la pression de fonctionnement et diminue la qualité du produit final. Pour contrer cela, le prétraitement vise à éliminer les particules inorganiques et organiques, ainsi que les éléments colmatants. Il inclut souvent des étapes de floculation, de coagulation, de sédimentation, de flottation et de filtration pour respecter les critères de qualité fixés par les fabricants de membranes, tels que l'indice de densité des particules en suspension (SDI) et l'indice de colmatage modifié (MFI). En assurant un prétraitement efficace, le système OI peut maintenir la qualité de l'eau d'alimentation, minimisant ainsi les perturbations dues au colmatage et réduisant la nécessité de nettoyer fréquemment les membranes, ce qui garantit une production d'eau douce fiable et efficace dans les usines de dessalement par osmose inverse. [12]

1. Les différents processus de prétraitement :

Afin de répondre aux critères de qualité spécifiés par les fabricants de membranes pour l'alimentation en eau brute d'une usine de dessalement afin d'assurer son fonctionnement fiable les différents processus de prétraitement sont combinés en chaînes de processus de longueur variable particulière en fonction de la qualité de l'eau de mer locale. Pour la sélection des processus de prétraitement, les conditions les plus défavorables sur le site doivent être connues afin que l'usine puisse fonctionner sans restriction importantes. Cela nécessite des investigations qui, sont réalisées par échantillonnage et analyse de l'eau de mer ainsi que par l'exploitation de pilotes sur une longue période. [13]

1.1 Désinfection

Pour contrôler l'activité biologique de l'eau de mer extraite, les systèmes d'extraction et de prétraitement des usines d'osmose inverse d'eau de mer (SWRO) utilisent principalement des biocides inorganiques oxydatifs. Ces désinfectants comprennent :

1.1.1. Chloration :

L'ajout de chlore ou de composés chlorés, tels que l'hypochlorite de sodium, à l'eau de mer est une méthode de désinfection chimique courante. Le chlore réagit avec les micro-organismes

pour les tuer ou les rendre inactifs. La chloration est efficace pour éliminer les bactéries, les virus et d'autres pathogènes. Cependant, il est important de doser le chlore avec précision pour éviter la formation de sous-produits indésirables.

1.1.2. Dioxyde de chlore :

Le dioxyde de chlore est un désinfectant chimique puissant qui peut être utilisé pour éliminer les micro-organismes et les pathogènes dans l'eau de mer. Il est efficace pour la désinfection microbiologique et n'entraîne généralement pas la formation de sous-produits nocifs.

1.1.3. Chloramine :

La chloramine est un composé chimique formé par la réaction du chlore avec l'ammoniac. Elle est parfois utilisée comme désinfectant pour maintenir la désinfection à long terme dans les systèmes de traitement de l'eau de mer. [14]

1.2. Traitement préliminaire

Le traitement préliminaire inclut les étapes suivantes

1.2.1. Le dégrillage et tamisage

Le dégrillage et le tamisage sont des processus de séparation de particules solides en fonction de leur taille, utilisant des dispositifs comme des grilles ou des tamis. Ces méthodes sont essentielles dans le prétraitement de l'eau de mer pour le dessalement. Les grilles éliminent les particules plus grosses pour protéger les équipements. Le tamisage classe les particules selon leur taille à l'aide de tamis. Ces processus garantissent la qualité de l'eau entrant dans les membranes de dessalement.

1.2.1.1 Dégrilleur à barres grossières

Les grilles à barres ont généralement une distance entre les barres de 50 à 150 mm (2 à 6 pouces) et leur objectif est de retenir les débris de grande taille et les organismes aquatiques à l'entrée de la station. Pour les prises d'eau en mer, les écrans sont installés sur la tour verticale de la prise d'eau

La vitesse de passage du débit de conception pour des écrans propres est généralement de 0,10 m/s (0,33 pieds/seconde). Cette vitesse de conception réduite est choisie non seulement pour minimiser l'impact sur les organismes aquatiques, mais aussi pour prendre en compte la perte de surface de passage due à la croissance de mollusques et à l'accumulation de débris sur les barres grossières.

En général, les barres d'écran sont fabriquées en acier super duplex ou en alliages cuivre-nickel (ces derniers étant préférés) pour éviter la croissance marine. La croissance de mollusques sur les écrans peut réduire l'espace ouvert entre les barres de plus de 50 %. Par conséquent, les barres doivent être nettoyées manuellement toutes les quelques années, ou la vitesse de passage à travers

l'écran est augmentée de 0,10 cm/s à entre 0,12 et 0,15 m/s (0,40 à 0,50 pieds/seconde) dans l'année à deux ans suivant l'installation (nettoyage).

Les écrans installés à terre sont généralement équipés d'un mécanisme de ratissage automatisé, qui élimine périodiquement les débris accumulés et permet de maintenir l'espace ouvert entre les barres à peu près à la même vitesse de passage au fil du temps. Par conséquent, la vitesse de passage de conception de ces écrans est plus élevée que celle des écrans grossiers des tours d'admission ouvertes, soit de 0,12 à 0,15 m/s. Il est important de maintenir la vitesse de passage à travers l'écran inférieure à 0,15 m/s (0,5 pieds/seconde) en tout temps pour minimiser l'impact sur les organismes aquatiques. [12]



Figure III.1. Tour d'aspiration verticale avec tamis grossier

1.2.2 Tamis fins

Il existe trois types de tamis fins

1.2.2.1. Tamis rotatifs

Les tamis mécaniques fins autonettoyants sont généralement dotés d'ouvertures de 3 à 10 mm. Ils sont installés verticalement dans les canaux d'admission d'eau en aval des grilles grossières et sont équipés d'un équipement de nettoyage rotatif souvent combiné à des buses de pulvérisation d'eau pour éliminer les débris de la surface du tamis. Ces buses pulvérisent périodiquement de l'eau de lavage fournie par des pompes dimensionnées pour 45 à 68 m³/h (200 à 300 gpm) avec des pressions de 4 à 7 bars (60 à 100 psi). Étant donné que l'une des principales fonctions des tamis

fins est de protéger les pompes d'admission contre les dommages, les ouvertures réelles du tamis doivent être sélectionnées de manière à être plus petites que la distance entre les roues à aubes de la pompe d'admission.



Figure III.2. Cribles grossiers de prise à terre

Deux types de tamis fins rotatifs qui ont trouvé la plus large application dans les usines de dessalement sont les tamis à courroie et les tamis à tambour. En général, les tamis à courroie sont installés dans les usines de taille moyenne avec une capacité d'admission, tandis que les tamis à tambour ont trouvé une application plus étendue dans certaines des plus grandes installations de dessalement à travers le monde. Les grilles fines à barres sont parfois également utilisées dans les prises d'eau ouvertes, mais elles ne sont pas aussi courantes que les tamis à courroie et les tamis à tambour. [12]

1.2.2.2 Tamis à bande

Les tamis à bande sont des dispositifs de tamisage utilisés dans les installations de traitement de l'eau. Ils sont composés de panneaux de tamisage avec des ouvertures de mailles fines, fixés sur des chaînes de support et installés sur des rails de guidage métalliques. Lorsque l'eau traverse les écrans, les débris sont capturés et s'accumulent sur les panneaux. Les écrans sont ensuite nettoyés en soulevant les panneaux et en utilisant des buses d'eau basse pression. Les écrans à bande sont conçus pour maintenir une vitesse de passage à travers l'écran inférieure à 0,15 m/s et sont disponibles en différentes configurations de débit. Le schéma de débit à travers est le plus couramment utilisé, mais il présente l'inconvénient de permettre le passage des débris sur le côté propre de l'écran. D'autres configurations, telles que le débit central et le débit double, offrent des avantages spécifiques mais sont moins répandues en raison de leur complexité de construction et d'installation.

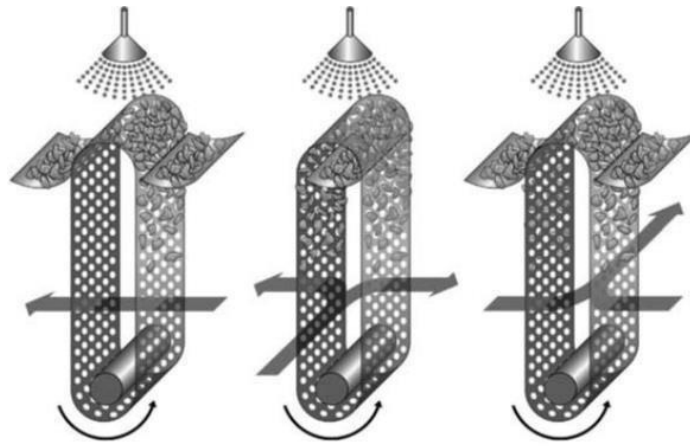


Figure III.3. Modèles de tamis à flux traversant, à flux central et à double flux (de gauche à droite)

Typiquement, les écrans à bande sont conçus pour entrer en cycle de nettoyage à une différence d'élévation d'eau de 0,10 à 0,20 m (0,33 à 0,66 pieds) pour une réduction de 30 % de la surface de tamisage. La plupart des écrans à bande disponibles commercialement se déplacent à des vitesses de 2 à 10 m/min (6,6 à 33 pieds/min). Ces écrans sont généralement conçus pour un fonctionnement à deux vitesses ou à vitesse variable. Le facteur d'efficacité de la surface de tamisage de conception pour les écrans à bande est généralement de 0,5 à 0,6 (c'est-à-dire que de 50 % à 60 % de la surface de tamisage est une zone de filtration active utilisée pour déterminer la vitesse de passage à travers l'écran). Ces écrans fins sont conçus pour maintenir la vitesse de passage à travers l'écran en dessous de 0,15 m/s (0,5 fps) en tout temps et fonctionnent normalement à des vitesses de 0,06 à 0,10 m/s (0,18 à 0,33 fps). Les écrans à bande peuvent être configurés selon trois schémas de débit : le débit à travers, le débit central et le débit double (voir la figure 3). [12]

1.2.2.3 Tamis en tambour

Les écrans à tambour sont largement utilisés dans les grandes usines de dessalement d'eau de mer. Ils sont constitués d'un cadre cylindrique rotatif recouvert d'un tissu en maille métallique. L'eau de la source entre à l'intérieur du tambour et se déplace vers l'extérieur, créant un schéma d'écoulement convergent bénéfique. Les débris sont capturés sur la surface intérieure du tambour et éliminés par une pulvérisation d'eau. Les écrans à tambour sont adaptés aux applications où les débris peuvent fluctuer de manière significative et présentent des avantages en termes de résistance aux surcharges. Ils sont également conçus pour gérer les proliférations de méduses. Les écrans à tambour sont couramment utilisés dans les installations de dessalement et offrent une perte de charge réduite par rapport à d'autres types d'écrans.

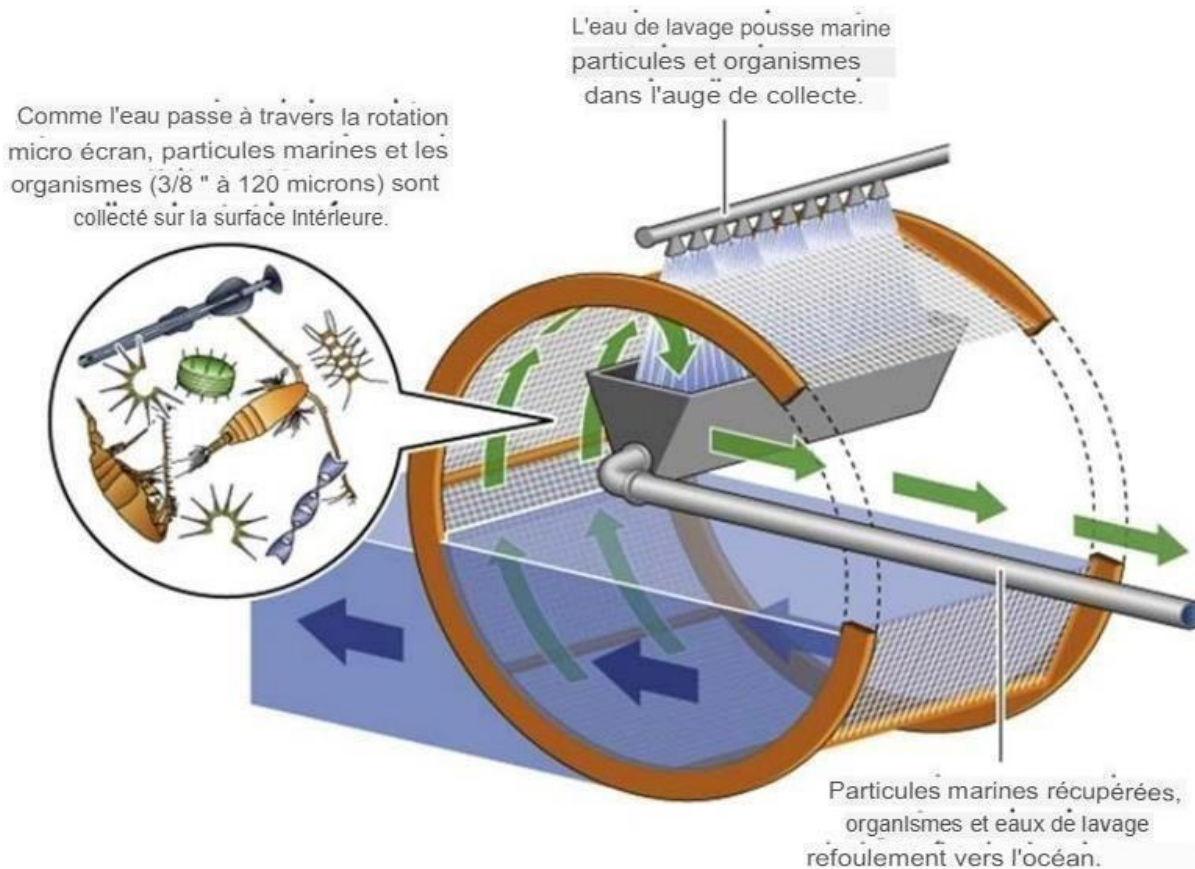


Figure III .4. Tamis en tambour

Les écrans à tambour ont une capacité unitaire pouvant atteindre 3 000 000 m³/jour (270 MGD). Tout comme les écrans à bande, ils sont également disponibles dans des configurations d'entrée simple, de sortie double de l'extérieur vers l'intérieur et de l'intérieur vers l'extérieur, ainsi que dans un schéma d'écoulement d'entrée double et de sortie simple (de l'extérieur vers l'intérieur). Les écrans à tambour sont plus avantageux dans les applications où les débris et les matériaux de l'eau source peuvent fluctuer de manière significative, car ils sont moins susceptibles de subir une surtension due à l'arrivée massive de solides sur l'écran sur une courte période de temps, ce qui pourrait se produire dans les prises d'eau ouvertes à terre ou les prises d'eau peu profondes en mer. De plus, les écrans à tambour génèrent généralement une perte de charge plus faible pour un débit équivalent.

Outre la charge hydraulique, les écrans à tambour et à bande sont également fréquemment conçus en fonction de la charge de solides, en particulier lors d'épisodes de prolifération de méduses, lorsque la quantité de ces organismes marins dans l'eau peut dépasser 300 tonnes/heure. Lorsque des proliférations de méduses se produisent, elles peuvent obstruer complètement les écrans et leur retrait de la maille de l'écran est très complexe. [12]

1.3 Procédés physicochimiques du traitement des eaux

Afin de réduire les risques d'encrassement de l'eau salée provenant de la source, il est nécessaire de la traiter l'eau de mer en amont de la séparation par osmose inverse (RO) en utilisant différents produits chimiques tels que des coagulants, des flocculants, des inhibiteurs de tartre, des oxydants (comme le chlore, le dioxyde de chlore), des réducteurs d'oxydants (comme le bisulfite de sodium) et des produits chimiques pour ajuster le pH (acides et bases). Les coagulants et les flocculants sont ajoutés pour améliorer l'élimination des particules et des substances colloïdales indésirables. [12]

1.3.1 La Coagulation :

L'ajout de coagulant avant le traitement de l'eau est essentiel pour améliorer l'efficacité des systèmes de filtration et de prétraitement. Les coagulants, tels que les sels ferriques, sont couramment utilisés pour faciliter l'agglomération des particules et éliminer les matières indésirables. Le dosage optimal du coagulant dépend du pH et de la température de l'eau de source. Dans les eaux de source présentant une faible turbidité et de petites particules, l'ajout de coagulant peut ne pas être nécessaire. Cependant, dans les cas de turbidité élevée ou de présence de matières organiques, la coagulation est essentielle pour éliminer efficacement les impuretés. L'ajout de coagulant doit être adapté aux conditions spécifiques de chaque application. La coagulation est particulièrement importante lors de pics de turbidité causés par des ruissellements ou des déversements. Pour les systèmes de prétraitement par membrane, l'ajout de coagulant est généralement nécessaire pour éliminer les particules de matières organiques chargées négativement. [12]

Le coagulant est responsable de diverses fonctions de traitement :

- Il déstabilise les substances colloïdales inorganiques et organiques en neutralisant ou en modifiant leurs charges de surface. Cela les amène à former de plus petits flocons qui peuvent être incorporés à de plus gros congglomérats solides, les rendant plus faciles à séparer à l'aide de méthodes appropriées de séparation des solides.
- Il facilite la liaison des solides en suspension aux flocons formés, ce qui entraîne une taille et une structure de flocons plus uniformes.
- Il réduit la viscosité et les caractéristiques d'encrassement des solides existants, tels que les substances TEP, en les incorporant dans des flocons d'hydroxyde métallique.
- Il adsorbe les substances organiques dissoutes de poids moléculaire élevé, telles que les composants du spectre NOM (par exemple, les acides humiques, les biopolymères) ou les huiles et hydrocarbures, sur les flocons. Cela contribue à réduire la concentration de ces

substances dans l'alimentation du système d'osmose inverse (RO) lorsque les solides sont éliminés lors des étapes ultérieures de séparation des solides dans le prétraitement. [12]

1.3.1.1 Types de produits chimiques de coagulation

Le traitement chimique de l'eau de source pour la décantation rapide et la filtration des impuretés en suspension implique l'utilisation de coagulants, principalement des sels ferriques. Le dosage optimal du coagulant dépend du pH et de la température de l'eau de source, nécessitant des tests en laboratoire pour chaque site spécifique. La coagulation favorise l'agglomération des particules en floccs plus gros, facilitant leur élimination lors de la filtration. Les systèmes de mélange du coagulant garantissent une distribution uniforme. Le chlorure ferrique est couramment utilisé pour le prétraitement de l'eau saline, mais la présence de manganèse doit être surveillée pour éviter l'encrassement des filtres et l'oxydation des membranes d'osmose inverse. Le dosage du coagulant doit être ajusté en fonction de la qualité de l'eau de source pour éviter une surdose. Un chlorure ferrique de haute qualité est essentiel pour prévenir l'oxydation des membranes d'osmose inverse due à la génération de permanganate dans le concentré. [12]

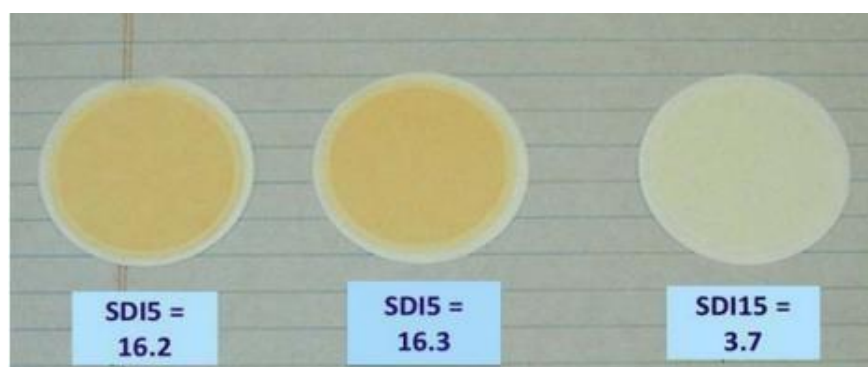


Figure III.5. Accumulation de fer sur le tampon de test SDI en raison d'un surdosage de coagulant

1.3.2 Flocculation

Les flocculants (polymères) sont parfois utilisés en complément des coagulants pour améliorer le prétraitement. Cependant, l'ajout de polymères, même en légère surdose, peut également entraîner un encrassement organique des membranes d'osmose inverse (RO). Souvent, le risque d'encrassement des membranes de RO en raison d'une surdose de polymère est plus préoccupant que les avantages de l'utilisation de polymères. Par conséquent, de nombreuses usines de désalinisation n'utilisent pas de polymères pour conditionner l'eau salée coagulée. Si des polymères sont utilisés, seuls des polymères non ioniques ou anioniques sont généralement appliqués car la plupart des éléments de membrane RO ont une charge de surface négative.

L'utilisation de polymères cationiques risque de former un film polymère sur la surface de la membrane, ce qui encrassera les éléments de la membrane RO. [13]

1.3.2.1 Types de produits chimiques de floculation

Les floculants sont des composés polymères utilisés pour influencer la structure des floccs lors du traitement de l'eau. Ils accélèrent la formation des floccs, contrôlent leur taille et améliorent leur stabilité. Les types de floculants utilisés, tels que les anioniques, cationiques ou non ioniques, ainsi que leur dosage, sont déterminés par des tests en laboratoire pour obtenir les meilleurs résultats. La température de l'eau et la durée de mélange sont également des facteurs importants à considérer.

Cependant, il est essentiel d'éviter la surdose de floculants, car cela peut entraîner un encrassement prématuré des membranes d'osmose inverse. Il est recommandé de surveiller régulièrement l'apparition de films glissants et jaunâtres sur les filtres pour détecter tout surdosage de floculant. De plus, les floculants peuvent contenir des impuretés organiques et des métaux qui peuvent causer des problèmes d'encrassement ou de dommages aux membranes. Par conséquent, il est important de choisir des floculants adaptés et de vérifier leur compatibilité avec les membranes utilisées.

En résumé, l'utilisation de floculants appropriés et le respect des dosages recommandés sont essentiels pour obtenir une bonne performance de la floculation tout en évitant les problèmes d'encrassement des membranes. Des tests et une surveillance régulière sont nécessaires pour garantir des résultats optimaux et prévenir les dommages aux équipements de traitement de l'eau [12]

1.3.3 Le jar test

Le dosage des coagulants et des floculants dans le traitement de l'eau est une étape cruciale pour favoriser la coagulation des particules en suspension et leur agglomération en floccs, facilitant ainsi leur élimination de l'eau.

Le test Jar, également connu sous le nom de test en pot, est une méthode utilisée pour évaluer la turbidité de l'eau ou des échantillons de liquides afin de déterminer la présence de matières en suspension ou de particules colloïdales. Il est couramment utilisé dans le domaine de l'analyse de l'eau pour évaluer la qualité de l'eau brute, des eaux usées et d'autres échantillons liquides selon les étapes suivantes :

Préparation de l'échantillon : Un échantillon d'eau est collecté et préparé pour le test.

L'échantillon peut être filtré pour éliminer les particules grossières et solides en suspension. La turbidité de l'échantillon est mesurée initialement à l'aide d'un turbidimètre.

Coagulation : On ajoute ensuite un coagulant à l'échantillon. Les coagulants couramment utilisés comprennent l'alun (sulfate d'aluminium) et le chlorure ferrique. Ces coagulants agissent en neutralisant les charges électriques des particules en suspension, les faisant ainsi coaguler et former des floccs plus gros.

Agitation : L'échantillon est ensuite agité doucement ou mis en rotation, généralement dans un récipient de type "pot" ou "jar". L'agitation permet aux particules coagulées de se regrouper en floccs plus gros.

Décantation : Après une période de décantation, généralement de 1 à 2 heures, les floccs coagulés ont le temps de se déposer au fond du pot. La qualité de la décantation est évaluée en mesurant la turbidité de l'eau au-dessus du lit de floccs.

Mesure de la turbidité : La turbidité est mesurée à l'aide d'un turbidimètre ou d'un néphélomètre après la décantation. Une turbidité réduite indique une bonne coagulation et une clarification de l'eau, ce qui signifie que le processus de coagulation-floculation a été efficace.

Le test de coagulation Jar est souvent utilisé pour optimiser les procédés de traitement de l'eau dans les usines de traitement des eaux et des eaux usées. Il permet de déterminer le coagulant le plus approprié, sa dose optimale et les conditions de mélange pour obtenir une clarification efficace de l'eau, garantissant ainsi la qualité et la conformité aux normes de l'eau traitée.

1.4 Sédimentation et flottation par air dessous

Le but des systèmes de prétraitement comprenant la sédimentation et la flottation dissoute est de réduire au minimum la présence de matériaux grossiers tels que le sable, les débris et les matières en suspension collectés par l'entrée de l'usine de dessalement. Ces systèmes visent à protéger les installations de filtration en aval d'une surcharge en matières solides. Lorsque l'eau source est collectée à partir d'entrées terrestres ou d'entrées peu profondes en mer, elle ne contient généralement pas de grandes quantités de sable, mais peut présenter des niveaux plus élevés de matières solides flottantes et en suspension. En revanche, les prises d'eau souterraines ont généralement des niveaux bas de matières solides en suspension, mais en fonction de leur conception et des conditions du sol, elles peuvent produire de l'eau source avec une teneur élevée en sable, notamment après une longue période d'arrêt. [12]

1.4.1. Les bassins de décantation

Les bassins de décantation sont utilisés avant les filtres pour éliminer les particules en suspension dans l'eau de source des usines de désalinisation. Ils sont efficaces lorsque la turbidité de l'eau est élevée, dépassant 30 UTN en moyenne quotidienne ou atteignant des pics de 50 UTN pendant plusieurs heures. Les bassins produisent de l'eau décantée avec une turbidité inférieure à 2,0 UTN et un indice SDI15 inférieur à 6 en utilisant des coagulants et des flocculants pour regrouper et séparer les particules. Ils sont essentiels pour éviter la saturation des filtres de prétraitement en cas de pics de turbidité élevée. Cependant, ils ne traitent pas les huiles, les graisses ni les petites algues. Dans certains cas, des technologies plus avancées sont nécessaires pour traiter l'eau de sources influencées par des courants forts ou des rejets d'eaux usées à turbidité élevée. En bref, les bassins de décantation jouent un rôle vital dans le prétraitement des usines de désalinisation en améliorant la qualité de l'eau avant le traitement ultérieur.



Figure III.6. Usine de dessalement de Trinidad

1.4.2 Les réservoirs de sédimentation lamellaire,

Les réservoirs de sédimentation lamellaire, également appelés clarificateurs ou décanteurs, se distinguent généralement par leurs performances supérieures et leur empreinte au sol considérablement plus réduite, environ trois à quatre fois moindre par rapport aux clarificateurs conventionnels. De plus, ils peuvent gérer des turbidités de l'eau de source jusqu'à quatre fois

plus élevées (par exemple, jusqu'à 200 UTN). C'est pourquoi ils sont plus largement utilisés dans le prétraitement des eaux salines que les bassins de sédimentation classiques. Ces clarificateurs intègrent des modules de plaques lamellaires en plastique installés dans la partie supérieure des cuves de clarification (voir Fig. 7.3), ce qui améliore le processus de sédimentation en raccourcissant la trajectoire des particules solides vers le fond des clarificateurs.

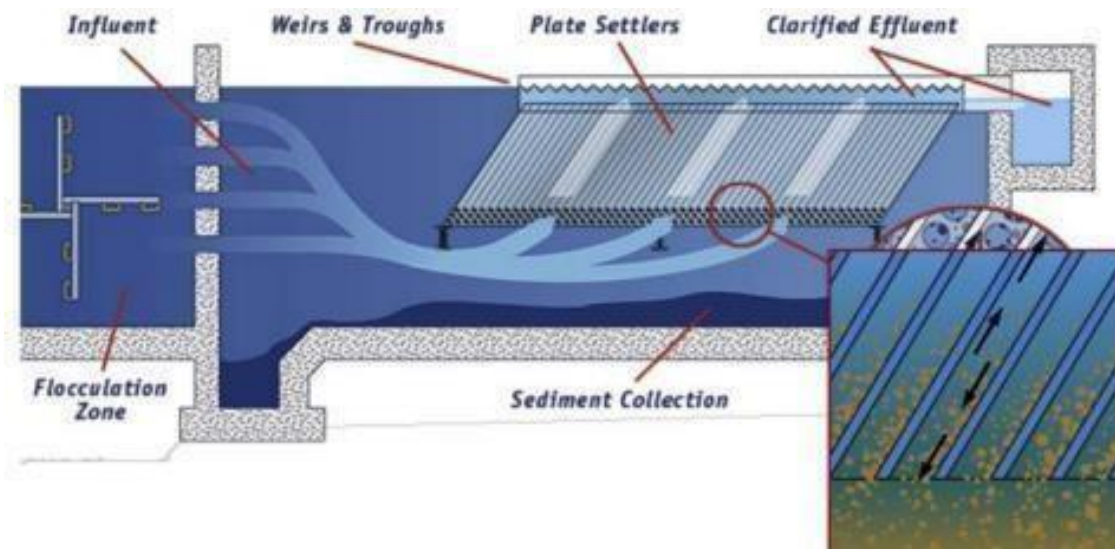


Figure III.7. Schéma décanteur lamellaire

Les clarificateurs lamellaires peuvent adopter une configuration rectangulaire ou circulaire. Toutefois, les clarificateurs lamellaires rectangulaires sont les plus couramment utilisés pour le prétraitement des eaux de source salines, notamment pour éliminer les pics de turbidité élevée dans l'eau de mer. Il est important de noter que les modules lamellaires utilisés dans les décanteurs à haut débit sont des produits propriétaires, et les concepteurs doivent collaborer avec les fabricants d'équipements pour déterminer la configuration, le nombre, la taille des modules, ainsi que les taux de charge de surface de conception et la profondeur de la cuve de sédimentation appropriés. [12]

1.4.3 Les clarificateurs à Flottation par Air Dissous (DAF)

Les clarificateurs à Flottation par Air Dissous (DAF) sont particulièrement adaptés à l'élimination des polluants en suspension flottants tels que les algues, l'huile, la graisse ou d'autres contaminants qui ne peuvent pas être efficacement éliminés par la sédimentation ou la filtration. Les systèmes DAF peuvent généralement produire un effluent avec une turbidité de $<0,5$ UTN et peuvent être combinés dans une même structure avec des filtres à gravité à double média pour le prétraitement séquentiel de l'eau de mer.

Le processus DAF utilise de très petites bulles d'air pour faire flotter les particules légères et les substances organiques (huile, graisse) présentes dans l'eau de source.

Les solides flottants sont collectés en haut du réservoir DAF et éliminés pour être traités, tandis que l'eau de source à faible turbidité est collectée près du bas du réservoir.

Un système DAF typique comprend les composants clés suivants :

- Des chambres de coagulation et de floculation,
- Une zone de saturation en air, une chambre de flottation,
- Un système de saturation en air
- Un système de recyclage de l'eau clarifiée

Les chambres de coagulation et de floculation sont conçues pour augmenter la taille des particules solides naturellement présentes dans l'eau de source saline afin d'améliorer leur élimination dans la chambre de flottation.

Après coagulation et floculation, l'eau de source saline est mélangée avec de l'eau clarifiée, saturée en air pour exposer les particules de l'eau de source saline au contact des bulles d'air qui les transporteront à la surface du clarificateur. L'eau clarifiée est recyclée depuis l'extrémité de l'effluent des unités DAF et est pompée à travers un saturateur en air à un débit de 10 % à 15 % du débit de l'eau de source entrant dans le clarificateur DAF.

Typiquement, il faut introduire de 8 à 12 g/m³ d'air pour un processus DAF efficace. En règle générale, le dosage de l'air est déterminé à partir du rapport pondéral de l'air par rapport aux solides en suspension de. L'air est dissous dans l'eau de recyclage sous une pression de 6 à 8 bars dans des réservoirs sous pression (saturateurs en air) équipés d'un éducateur du côté d'entrée pour ajouter de l'air ou d'une colonne garnie. La charge hydraulique de conception des saturateurs en air est de 60 à 80 m³/m²/h. L'efficacité des saturateurs est de 65 % à 75 % pour les systèmes à éducateur et de 90 % à 95 % pour les unités à colonne garnie. L'eau saturée en air est recyclée à l'entrée de la chambre de flottation à travers une série de buses pour libérer les bulles d'air dans l'eau de source saline coagulée sous forme d'un rideau d'eau et maximiser le contact des bulles d'air et des particules solides. La plupart des systèmes DAF disponibles sur le marché ont des buses à air qui produisent des bulles d'air de 10 à 100 mm et une taille moyenne de 30 à 50 mm. Les diffuseurs sont espacés de 0,1 à 0,3 mètre.

La chambre de flottation est un réservoir rectangulaire conçu pour une charge surfacique de 20 à 35 m³/m²/h. La profondeur typique du réservoir est de 2 à 3 mètres et le rapport longueur- largeur préféré est de 1,5 à 2,5. Dans la chambre de flottation, les bulles d'air transportent les solides qui y sont attachés à la surface de la chambre où ils s'accumulent et forment une couche de boue

La couche de boue collectée à la surface des réservoirs DAF est éliminée par des moyens hydrauliques ou par des raclettes mécaniques et dirigée vers un système de traitement ultérieur des solides. Selon les pratiques actuelles, le processus de coagulation est souvent amélioré par un apport d'acide qui permet d'ajuster le pH de l'eau de source au niveau optimal pour la formation de floes volumineux, solides et légers.

Certaines des particules contenues dans l'eau de source peuvent se déposer plutôt que flotter lors du processus de clarification par DAF. Ces solides s'accumulent au fond des réservoirs DAF au fil du temps et sont périodiquement retirés de là par un système de collecte et d'évacuation des sédiments au fond. En conditions opérationnelles normales, la couche de boue a une concentration en solides de 1 % à 3 % et une épaisseur de 0,5 à 1,0 mètre.

L'expérience à grande échelle dans les installations de dessalement par osmose inverse d'eau de mer, à ce jour, montre que les systèmes DAF ne fonctionnent pas bien si la turbidité de l'eau de source est inférieure à 5 UTN. Dans de telles conditions de faible turbidité, les DAF sont arrêtés et contournés. Généralement, en dessous de ce niveau de turbidité, il est très difficile de faire flotter les particules de l'eau de source et de former une couche de solides épaisse. Si la couche de solides n'est pas formée dans les 30 à 45 minutes, de nombreuses bulles d'air qui ont capturé des particules éclateront et les particules se déposeront. Étant donné que l'eau clarifiée est collectée au bas des réservoirs DAF, le dépôt des solides est indésirable et entraîne souvent des pics de turbidité dans l'eau.

En résumé, les clarificateurs DAF ont l'avantage de traiter efficacement les particules légères et les substances flottantes, mais ils sont plus efficaces lorsque la turbidité de l'eau de source est suffisamment élevée. Lorsqu'ils sont utilisés en combinaison avec des filtres à granules, cette configuration offre un prétraitement compact et économique, mais elle peut nécessiter une conception et un fonctionnement plus complexes des filtres, ainsi que des réservoirs FAD surdimensionnés et couplés à des cellules de filtre individuelles [13].

1.5 Filtration par médias granulaires

La filtration à travers un support granulaire, couramment désignée comme filtration conventionnelle, constitue le procédé de prétraitement de l'eau de source le plus répandu dans les usines de dessalement par osmose inverse (RO) actuelles. Cette méthode consiste à faire passer l'eau de source à travers une ou plusieurs couches de support granulaire, telles que du charbon anthracite, du sable de silice ou du grenat. Les filtres conventionnels utilisés dans le prétraitement de l'eau salée sont généralement des unités à double média rapide (anthracite et sable) en une seule étape.

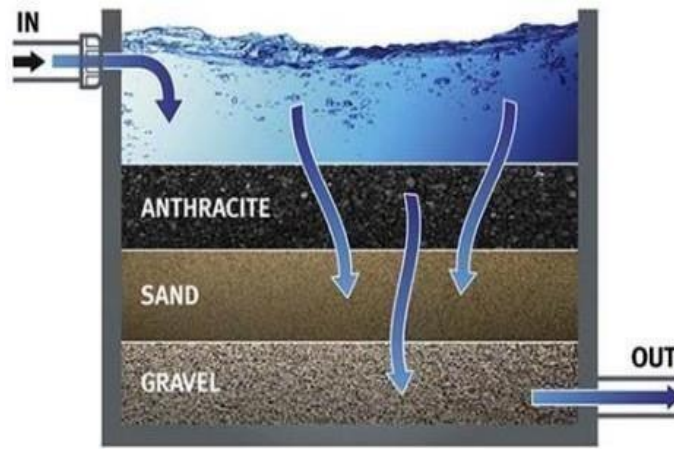


Figure III .8. Schéma d'un filtre gravitaire

Cependant, dans certaines situations où l'eau de source contient des concentrations élevées de matières organiques (une concentration en carbone organique total supérieure à 6 mg/L) et de solides en suspension (une turbidité moyenne mensuelle dépassant 20 UTN), des systèmes de filtration en deux étapes sont employés. Dans ce schéma, la première étape de filtration vise principalement à éliminer les solides grossiers et les matières organiques en suspension. Les filtres de la deuxième étape sont configurés pour retenir les solides fins et les particules en suspension, tout en éliminant une partie (20 % à 40 %) des matières organiques solubles présentes dans l'eau salée par le biais de la biofiltration. Tous les systèmes de prétraitement sont conçus pour respecter les spécifications de qualité de l'eau filtrée énumérées dans le Tableau. Ces spécifications ont pour objectif de préserver les membranes RO en aval en les préservant des dommages prématurés, de la perte de perméabilité et de productivité, du rejet de sel excessif, ainsi que de la fréquence élevée de nettoyage et de remplacement. [12]

Tableau III.1. Les spécifications de qualité de l'eau filtrée

Parameters	Concentrations/Levels	Units
Turbidity (daily avg./max)	<0.1/0.5	NTU
SDI ₁₅	<3 (at least 95% of the time) <5 (at all times)	No unit
Total organic carbon	<1.0	mg/L
pH (min)/(max)	4.0/9.0	pH units
ORP	Less than 200	mV
Chlorine residual	≤0.02	mg/L
Total hydrocarbons	≤0.04	mg/L

1.5.1. Types de Filtres granulaires

1.5.1.1 Filtres à média unique, double et tri média

Dans le contexte du prétraitement de l'eau salée, différents types de filtres sont utilisés en fonction des caractéristiques de l'eau source. L'utilisation de filtres à média unique est relativement rare dans cette application en raison de leur limitation à s'adapter aux variations de la qualité de l'eau source. Ils pourraient être envisagés dans le cas d'usines de dessalement ayant des prises d'eau souterraines, sous certaines conditions de turbidité, de concentration en solides en suspension (SST) et d'indice de densité de limon (SDI15).

La majorité des usines de dessalement dans le monde optent plutôt pour des filtres à double média. Ces filtres sont composés d'une couche supérieure de pouzzolane ou d'anthracite et d'une couche inférieure de sable. Ils se révèlent polyvalents et efficaces dans une large gamme de conditions d'eau source.

Les filtres trimédia interviennent lorsque la qualité de l'eau source est fortement variable, notamment en cas de proliférations fréquentes d'algues de petite taille ou de fines particules de limon. Ces filtres sont conçus pour capturer des particules de petite taille et diverses, qui ne peuvent pas être retenues efficacement par les couches supérieures d'anthracite et de sable. Cependant, ils peuvent engendrer des coûts plus élevés. Par conséquent, une alternative courante consiste à utiliser un filtre gravitaire à média plus grossier en première étape, suivi d'un filtre sous pression à média plus fin en deuxième étape, ce qui permet d'obtenir de bonnes performances à un coût moindre.

En résumé, le choix entre les filtres à média unique, double média et trimédia dépendra de la variabilité de la qualité de l'eau source ainsi que des contraintes budgétaires. Chaque type de filtre présente ses avantages et ses inconvénients, et il est essentiel de sélectionner la configuration qui convient le mieux aux besoins spécifiques de l'usine de dessalement.

1.5.1.2 Filtres combinés avec des clarificateurs à flottation par air dissous (DAF)

Lorsque l'eau de source saline contient beaucoup de particules d'algues, d'huile et de graisse, et que l'espace est limité, il est possible de combiner les clarificateurs à flottation par air dissous (DAF) et les filtres sur support granulaire dans une seule structure. Dans ce cas, les filtres à support granulaire sont généralement conçus pour un écoulement descendant et ont une charge de surface plus élevée que les filtres à double média en une seule étape. Il est recommandé de concevoir la partie filtration pour une capacité inférieure afin d'optimiser les coûts d'exploitation et de maintenance du clarificateur DAF. Cette conception permet d'utiliser la partie filtration du système DAF-filtre uniquement lorsque la qualité de l'eau de source est bonne et que les niveaux de turbidité et d'éléments organiques sont faibles. [12]

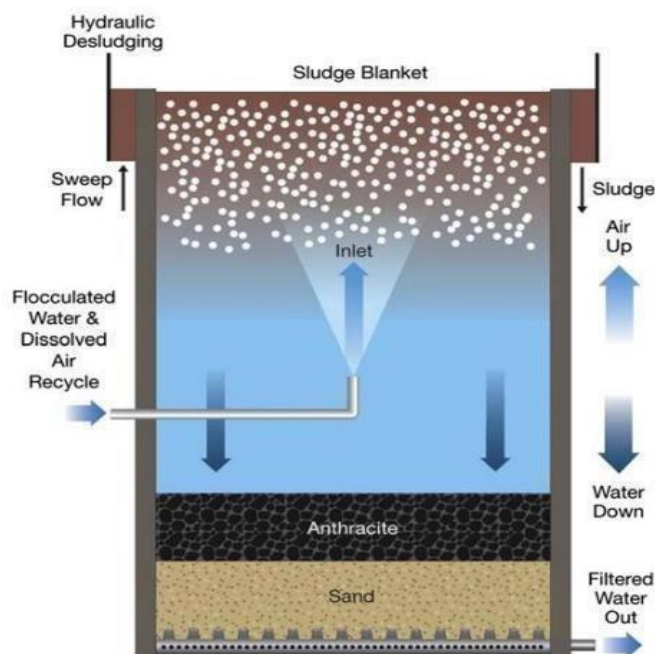


Figure III.9. Filtre gravitaire combiné avec un système de flottation

1.5.1.3 Filtres sous pression et filtres gravitaires

Selon la force motrice utilisée pour la filtration de l'eau, on distingue les filtres à média granulaire sous pression des filtres gravitaires. Les principales distinctions entre ces deux types de filtres résident dans la pression nécessaire pour faire passer l'eau à travers le lit de média, le taux de filtration et le type de récipient employé pour contenir le média filtrant. En raison du coût élevé lié à la construction de grands récipients sous pression nécessitant des surfaces en contact avec l'eau spécialement conçues pour résister à la corrosion, les filtres sous pression sont généralement privilégiés pour les usines de dessalement par osmose inverse (RO) de capacité réduite à moyenne. Les filtres gravitaires de prétraitement, quant à eux, conviennent tant aux petites qu'aux grandes installations de dessalement par RO.

1.5.1.3.1 Filtres gravitaires

Les filtres gravitaires sont généralement des structures en béton renforcé conçues pour fonctionner avec une perte de pression de l'eau à travers le milieu filtrant, située entre 1,8 et 3,0 mètres (soit 6 à 10 pieds). La pression hydrostatique au-dessus du lit de filtration fournit la force nécessaire pour compenser la perte de charge dans le milieu filtrant. Les filtres gravitaires à un seul étage, à double média, en écoulement descendant, représentent la technologie de prétraitement de filtration prédominante utilisée dans les usines de dessalement d'une capacité supérieure à 40 000 mètres cubes par jour.

Avantages Clés des Filtres à Gravité :

- Meilleure Élimination des Matériaux Algaux de l'Eau de Source
- Durée de Vie Utile Plus Longue de la Structure du Filtre
- Consommation d'Énergie Moindre
- Capacité de Rétention des Solides Supérieure et Meilleure Gestion des Pics de Turbidité
- Inspection et Entretien Plus Simples
- Plus Facile à Adapter pour un Prétraitement par Membrane à l'Avenir

1.5.1.3.2 Les filtres sous pression

Ses filtres sont couramment utilisés pour le prétraitement de l'eau dans les usines de dessalement, en particulier dans les installations de taille moyenne à grande. Ils sont généralement employés lorsque la qualité de l'eau de source est déjà relativement bonne, avec une faible turbidité et peu de matières en suspension. Ces filtres ont une conception de lit de filtration similaire à celle des filtres à gravité, mais leur principal avantage réside dans leur capacité à fonctionner sous une pression plus élevée.

Les filtres sous pression sont souvent configurés en tant qu'unités monocouches à double média, avec une couche supérieure d'antracite ou de ponce et une couche inférieure de sable. Ils sont disponibles dans deux configurations de réservoir, verticale et horizontale, cette dernière étant plus courante dans les installations de dessalement de taille moyenne à grande.

Un avantage clé des filtres sous pression est qu'ils peuvent éliminer la nécessité d'utiliser des pompes de transfert pour acheminer l'effluent des filtres vers les pompes d'alimentation haute pression du système d'osmose inverse. Cela simplifie le système de prétraitement et peut réduire les coûts opérationnels. De plus, les filtres sous pression sont utilisés dans des installations de

dessalement de grande envergure, montrant ainsi leur adaptabilité à des capacités de production importantes.

Avantages Clés des Filtres sous pression :

- Coûts de construction inférieurs
- Empreinte réduite
- Installation plus simple
- Aucun effet de la lumière du soleil sur la croissance d'algues sur les déversant du filtre [12]

Chapitre IV :
Présentation de la zone
d'étude

CHAPITRE VI : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

Introduction :

Le projet de la station de dessalement de Corso, annoncé par le gouvernement en juillet 2021, est une initiative visant à résoudre le problème de pénurie d'eau potable dans la région centre.

L'objectif principal de ce projet est de mettre en œuvre une usine de dessalement d'eau de mer utilisant la technologie de l'osmose inverse. Cette usine aura une capacité de production de 80 000 mètres cubes d'eau douce par jour.

Pour atteindre cette capacité de production, l'usine sera équipée de huit chaînes de production, chacune ayant une capacité d'environ 10 000 mètres cubes par jour. Cette approche de conception avec des chaînes de production indépendantes offre plusieurs avantages, notamment une meilleure disponibilité et fiabilité de l'usine. En cas de panne ou de maintenance sur l'une des chaînes, les autres peuvent continuer à produire de l'eau potable, assurant ainsi un approvisionnement plus constant.

Le dessalement de l'eau de mer par osmose inverse est une technologie couramment utilisée pour produire de l'eau potable à partir de l'eau de mer. Elle consiste à forcer l'eau de mer à travers une membrane semi-perméable pour éliminer les sels et les impuretés, produisant ainsi de l'eau douce de haute qualité.

Ce projet est d'une grande importance pour la région, car il contribuera à résoudre le problème de la pénurie d'eau potable, ce qui est essentiel pour la vie quotidienne, l'agriculture et l'industrie. Il permettra également de réduire la dépendance à l'approvisionnement en eau douce provenant de sources naturelles limitées, notamment en cas de sécheresse ou de conditions climatiques défavorables.

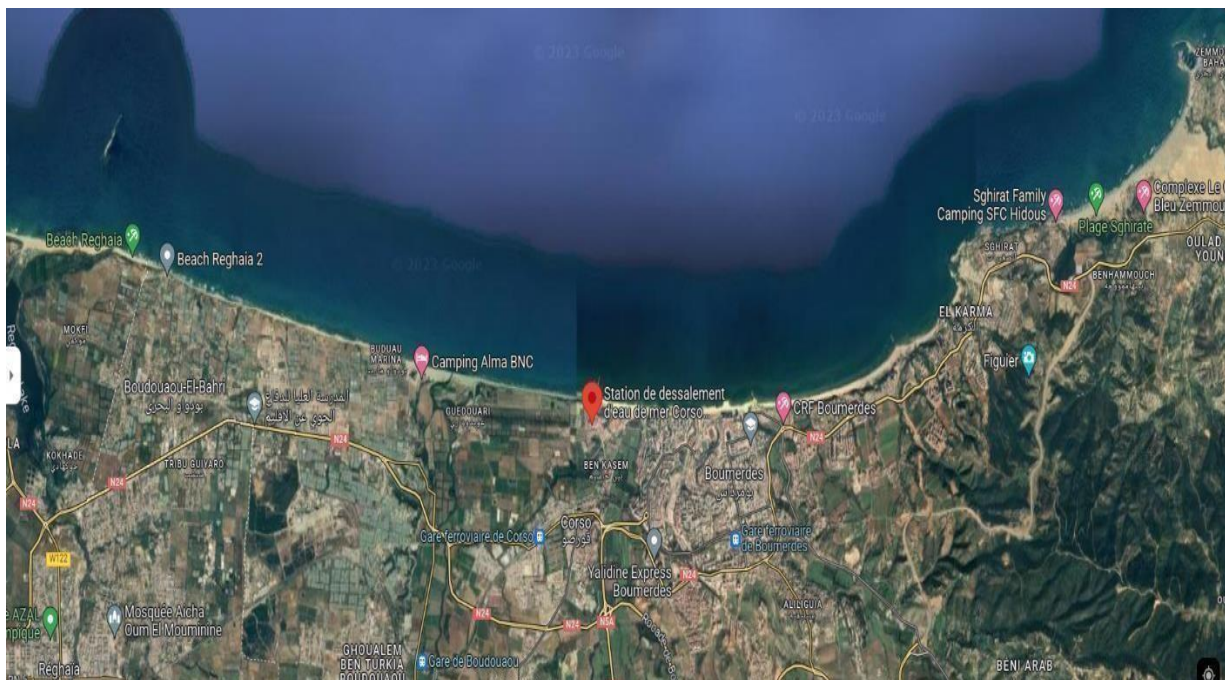
Il est intéressant de noter que le projet de la station de dessalement de Corso a été réalisé par ENGCB DWT (Entreprise National de Génie Civil et Bâtiments : Direction Water Treatment), une entreprise impliquée dans la construction et l'exploitation d'infrastructures liées au traitement de l'eau. Les actionnaires de cette entreprise sont Sonatrach, une importante société nationale algérienne du secteur de l'énergie, et AEC (Algerian Energy Company), une société algérienne spécialisée dans le secteur de l'énergie.

1. Localisation de la station

La localisation de la station est comme suit :

1.1. Situation géographique

La station de dessalement de Corso est située dans la commune de Corso, dans la wilaya de Boumerdes, à une distance d'environ 35 kilomètres à l'est de la wilaya d'Alger, en Algérie. Elle occupe une superficie totale de 6,5 hectares. Voici les délimitations du site de la station :



- Au nord : Bordée par la mer Méditerranée, ce qui fournit une source d'eau de mer pour le processus de dessalement.
- Au sud-est : Proche de la ville de Tidjellabine.
- Au sud-ouest : Proche de la ville de Boudouaou.
- À l'est : Proche de la ville de Boumerdes.
- À l'ouest : Proche de la ville de Boudouaou El Bahri.

Ces coordonnées spatiales (latitude : 36.7768592553304, longitude : 3.4468691111295016) indiquent la position géographique exacte de la station de dessalement de Corso. La proximité de la station à la mer Méditerranée est un atout essentiel pour le dessalement de l'eau de mer, car elle fournit une source abondante d'eau de mer pour le traitement en eau potable. Cette situation géographique stratégique contribue à la résolution du problème de pénurie d'eau potable dans la région.

Figure IV.1. Vue Google MAP sur la station de dessalement de Corso

Ainsi, L'usine se compose de 3 parties essentielles :

1. La chaîne de production d'eau composée de :

- Le captage

- Le Prétraitement
 - L'osmose inverse
 - La reminéralisation
 - Le pompage d'eau produite
2. Le bâtiment administratif
 3. Le laboratoire d'analyse d'eau.



Figure.IV.2. Clarificateur de la station de dessalement de corso en cours de construction

2. Description détaillée de la station

Le processus de la station est dans l'ordre suivant

2.1. Prise d'eau de mer et station de pompage :

Processus de collecte d'eau de mer depuis son environnement naturel, cela implique l'aspiration de l'eau de mer à l'aide de pompes.

- **Tour de captage** : une tour dans laquelle l'eau se capte vers les conduites. À l'aide d'un système de dégrillage fourni pour filtrer les grosses particules indésirables (poisson etc...).
- **Conduite de captage** : deux conduites parallèles en PEHD d'un diamètre de 1.6m et une longueur de 800m jusqu'à l'ouvrage de réception.
- **Ouvrage de captage** : l'eau entre a un débit d'environ 7000m³/h vers la station de pompage qui pompe l'eau vers la bache de réception.
- **Vanne d'isolement** : sur l'arrivée il existe deux vannes motorisées pour isoler les conduites.
- **Système de dessablage** : Au niveau de l'arrivée, la bache d'admission est équipée d'un système de dessablage utilisé pour extraire le sable transité et décanté dans une fosse.
- **Système de dégrillage grossier** : est fourni pour filtrer les grosses particules indigérables

(poisson etc...) provenant de la mer, suivi d'un système de dégrillage fin, la bache est devisée en trois couloirs qui comporte chacun ces deux types de dégrilleur (dégrilleurs à barre).

2.2. Bâche d'eau de mer et station de pompage :

- **La station de pompage d'eau de mer :** se compose principalement d'un réservoir d'eau de mer en béton armé et d'une station de pompage souterraine avec toit couvert. La capacité nominale totale de la station de pompage souterraine avec toit couvert. La capacité nominale totale est 7810 m³/h.
- **Le bache d'eau de mer :** est équipée de deux transmetteurs de niveau qui sont utilisés pour verrouiller le fonctionnement des pompes d'alimentation en eau brute
- **Pompes d'échantillonnage :** pour alimenter les instruments de mesure
- **Pompes d'eau motrices :** pour véhiculer la javel de désinfection des deux tours de captage.
- **Pompes d'alimentation d'eau potable :** neuf pompes à eau de mer (8 en services et 01 secours).

2.3. Le prétraitement :

Le système de prétraitement est composé de

2.3.1. Bâche de coagulation :

La station comporte quatre bâches de coagulation, chaque bache est équipée d'agitateur mécanique, un coagulant qui neutralise les charges des particules est injecté afin d'assurer la déstabilisation des particules, l'eau est ensuite véhiculée vers la zone de floculation

2.3.2. Bâche de floculation :

Après la coagulation, l'eau passe dans huit bâches de floculation, un floculant (un polymère) est injecté qui joue le rôle d'une colle entre les particules et augmente leur masse afin d'aider leur séparation dans les décanteurs lamellaires. Chaque bache comporte un agitateur lent à faible vitesse de puissance de 1.5kw.

2.3.3. Décanteur lamellaire :

La station comporte huit décanteurs lamellaires afin de séparer les particules en suspension qui contiennent l'eau brute et assure une bonne qualité d'eau traitable sur les filtres à sable.

2.3.3.1. Racleur de boues :

Chaque décanteur lamellaire contient un racleur de boues qui fait racler les boues vers une fosse d'extraction.

2.4. Station de pompage intermédiaire :

Comporte huit pompes : 4 qui refoulent dans le premier collecteur et les 4 autres dans le deuxième. Le débit de chaque pompe est de 953 m³/h.

2.5. Système des filtres à sable :

La filtration est une étape majeure du processus de traitement. Le système de filtration consiste en 2 lignes conçues pour alimenter les membranes d'osmose inverse avec une eau de mer de qualité et de composition conforme aux conditions requises par le fabricant de membrane.

2.5.1. Filtre à sable :

La batterie de filtration se compose de 16 filtres à sable sous pression horizontaux (8 filtres par ligne de production) de vitesse nominale de 8.34 m/h (477 m³/h) et de 9.5 m³/h (545 m³/h), en cas de lavage d'un filtre. Chaque filtre a une surface de filtration de 57.2 m² un diamètre de 3.8 m et une longueur de partie rectiligne de 15 m et deux fois bombés de 0.95 m chacun construit en acier au carbone revêtu.

2.5.2. Système de lavage à contre-courant du filtre à sable :

Le lavage à contrecourant des filtres à sable se fait par la saumure à partir de bache de saumure. Le système se compose d'une bache de saumure de capacité de 1334 m³ en béton. La bache constitue un volume de réserve pour le lavage des filtres à sable pour garder la saumure constamment fraîche pour laver les filtres.

2.6. Filtre à cartouche :

Afin d'éviter la pénétration de particules fines du sable, le système de filtre à cartouche est fourni après les filtres à sable comme protection.

2.7. Système osmose inverse :

2.7.1. Système d'osmose inverse

Après le prétraitement, l'eau d'alimentation filtrée et déchlorée est pompée vers le système d'osmose inverse d'eau de mer (SWRO) pour produire une eau de salinité entre 57 à 178 mg/l. La pression de l'eau est d'alimentation de l'eau de filtre à cartouche est ensuite augmentée et requise par une pompe de haute pression.

Le flux de d'alimentation est donc divisé en deux, le flux de production qui s'appelle perméat et celui du rejet appelé saumure suivant les taux respectivement 45% et 55%.

L'unité de l'osmose inverse se compose de pompes haute pression, de tube de pression comportant les membranes, un dispositif de récupération d'énergie et de pompe booster.

2.7.2. Pompes à haute pression :

Les pompes hautes pression pressurisent l'eau d'alimentation à une pression d'environ 68 bars, l'eau d'alimentation sous pression est acheminée vers l'unité RO. Le système se compose de huit pompes haute pression de service (4 pompes par ligne de production) et une pompe de réserve non installée. La capacité de la pompe est de 433 m³/h avec un taux de conversion de 45%.

2.7.3. Pompes booster :

Les pompes booster pressurisent l'eau qui sort de l'échangeur de pression pour atteindre la pression nécessaire pour alimenter les membranes. Le système se compose de huit pompes de surpression (4 par ligne)

2.7.4. Modules de rack RO :

L'eau d'alimentation sous pression provenant de la pompe HP et des sorties PX est introduite dans les tubes de pression RO, Ou environ (45 ±2) % traversant la membrane comme eau douce. Le reste est collecté sous forme de saumure.

Huit racks d'osmose SWRO sont fournis conformément aux exigences du contrat, chaque rack comprend 127 tubes de 7 membranes le nombre total des membranes de 7112 membranes.

La perte de charge à travers les membranes d'osmose inverse est de 1.5 à 2 bars. Grâce au système de récupération de l'énergie, il est possible de réutiliser l'Énergie du concentra. Le concentrât est dirigé vers le système de récupération d'énergie, ou il transmet son énergie directement à une partie de l'eau d'alimentation des membranes. Le perméat du système SWRO sera collecté dans le réservoir de rinçage.

2.7.5. Dispositif de récupération d'énergie PX (pressure exchanger) :

Le système d'échangeur de pression transfère l'énergie directement de la ligne de saumure à la ligne d'alimentation de pression transfère l'énergie directement de la ligne de saumure à la ligne d'alimentation RO, avec une efficacité de 95% à 97%. Les appareils fonctionnent sur le concept de cylindre rotatif. La haute pression de la saumure augmente la basse pression de l'eau brute à une pression juste en dessus de la pression de la saumure. En application normale, cette pression est alors augmentée pour compenser les pertes.

L'avantage de ces dispositifs échangeur de pression est qu'il récupère plus de 90% de l'énergie de la saumure pour un travail utile, par rapport aux autres dispositifs de récupération d'énergie, qui en récupéreront probablement plus de 70%. De plus la taille de la pompe haute pression est beaucoup plus petite.

2.8. Perméat / réservoir de rinçage :

Une partie de l'eau produite par les différentes unités d'osmose inverse est collectée dans un

réservoir en PRV situé à l'intérieur du bâtiment de l'osmose inverse. La capacité du réservoir est de 120m³. La cuve assure une réserve permanente pour le rinçage des unités d'osmose inverse si nécessaire et permet d'alimenter en perméat la station de nettoyage chimique des membranes.

2.9. Systeme post-traitement :

2.9.1. Système de reminéralisation :

La reminéralisation est un processus d'ajustement du LSI du perméat d'osmose inverse pour maintenir l'eau dans un état neutre, ni corrosif ni antitartres. Cela se fait en ajustant la dureté la dureté et l'alcalinité de l'eau en dissolvant de la calcite (calcaire) dans l'eau et par injection d'acide ou injection de CO₂

2.9.2 Cellule de calcite :

Après la sortie du perméat des racks d'osmose inverse, le flux est divisé en deux parties, une partie qui se mélange avec l'eau ultérieurement avec l'eau reminéralisé et l'autre partie du flux est introduite dans 8 cellules de calcite après avoir été dosée avec le CO₂.

2.10. Station de pompage d'eau produite :

La station de pompage d'eau produite est principalement composée d'un réservoir d'eau produite et d'une station de pompage en béton armé. Le réservoir d'eau est alimenté par deux tuyaux depuis le réservoir de mélange.

Réservoirs d'eau produite :

Deux réservoirs en béton armé de forme rectangulaire identique de capacité totale de 15000 m³ sont conçus pour le stockage de l'eau traité finale qui sera pompée vers le réseau de distribution. Les réservoirs sont revêtus d'un revêtement approprié à base de peinture époxy ou similaire pour protéger les parois en béton de l'agressivité de l'eau produite.

Pompes d'eau produite :

Des pompes d'eau produite sont fournies pour pomper l'eau vers le réseau. La station de pompage sera dimensionnée pour l'installation de cinq (05) pompes (4 en fonctionnement et 1 en réserve). La capacité de chaque pompe est de 835 m³/h.

Pompes d'eau potable :

Des pompes d'eau potable sont fournies pour pomper le réseau d'eau potable. Le système se compose de deux pompes (une en fonctionnement et l'autre en réserve) la pompe est d'une capacité de 20 m³/h.

2.11. Système de rejet :

Le système de rejet compose les éléments suivants :

Bâche de neutralisation : en béton armé d'une capacité de 266 m³ reçoit l'eau de :

- Eaux de lavage de filtres à sable
- Eaux usées provenant du nettoyage chimique des membranes

L'eau reçue dans la bâche de neutralisation est soumise la soude caustiques et l'acide chlorhydrique pour neutraliser le pH

Pompes neutralisation : pour la neutralisation du flux.

Bâche de rejet : en béton armé de capacité de 1334 m³ reçoit les eaux de saumure par trop-plein de la bâche de saumure .la bâche permet l'évacuation des rejets de la station vers la conduite d'évacuation.

Systèmes de dosage d'acide et de soude caustique.

2.12. Chaîne de traitement de boues

La station comporte une chaîne de traitement des boues qui traite :

- Les eaux de lavage des filtres à sable
- Les eaux boueuses extraites du décanteur lamellaire.

Ces eaux sont regroupées dans une bâche d'eau de capacité de 400 m³, ces eaux sont pompées vers deux décanteurs lamellaires, les eaux claires passent vers la bâche de neutralisation et les eaux boueuses sont pompées vers deux épaisseurs ou l'eau claire passe vers la bâche de neutralisation et la boue vers les centrifugeuses qui fait augmenter la siccité. la boue est récoltée dans la benne et le drain est envoyé vers la bâche de neutralisation.

2.13. Le PFD de la station de dessalement de Corso

Le PFD de la station de dessalement est une représentation visuelle détaillée du processus de dessalement de l'eau de mer. Il met en évidence les principales unités de traitement, les équipements essentiels, les flux de matières et d'énergie, ainsi que les contrôles nécessaires pour convertir l'eau salée en eau potable à travers des méthodes telles que l'osmose inverse ou la distillation multi-effets.

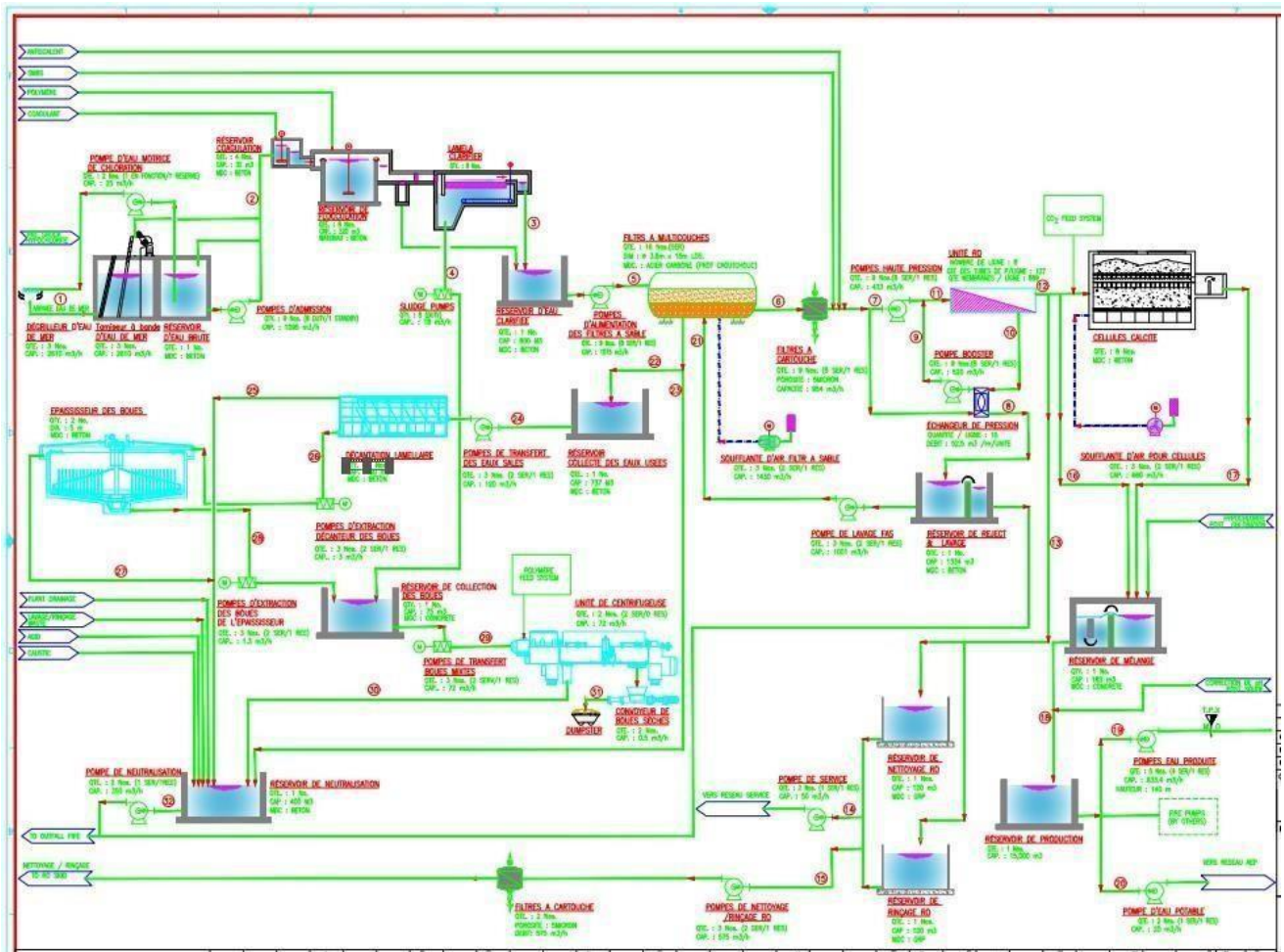


Figure IV.3. PFD (Process Flow Diagram) de la station de dessalement de corso

Chapitre V :
Dimensionnement de la chaîne
de prétraitement de la SD
corso

CHAPITRE V : DIMENSIONNEMENT DE LA CHAÎNE DE PRÉTRAITEMENT DE LA STATION DE DESSALEMENT DE CORSO

Introduction

Le dimensionnement du système de prétraitement est une étape cruciale qui détermine l'efficacité globale du processus de traitement de l'eau. Il nécessite une compréhension approfondie des caractéristiques de l'eau brute, des contaminants présents, des normes de qualité de l'eau à respecter, ainsi que des technologies de prétraitement disponibles. De plus, il est essentiel de prendre en compte les facteurs environnementaux, économiques et opérationnels pour concevoir un système de prétraitement optimal.

Ce chapitre explorera les principaux paramètres et considérations qui influent sur le dimensionnement d'un système de prétraitement, en mettant l'accent sur les différentes étapes du processus et les technologies appropriées. Nous aborderons également les défis potentiels liés au dimensionnement et les meilleures pratiques pour garantir que le système de prétraitement réponde aux besoins spécifiques de chaque application, tout en assurant la qualité de l'eau traitée et la durabilité du système dans le temps.

L'eau de mer est dessalée dans l'usine de dessalement utilisant un procédé à osmose inverse, dans ce procédé, l'eau est filtrée, conditionnée et sa salinité ramenée de 38 000 - 39 000 mg /l à environ 200 - 400 mg/l. L'eau de mer est approvisionnée à partir d'une prise d'eau ouverte, elle est d'abord filtrée par une grille à barreaux et un tamis rotatif avant d'être refoulée vers le bassin de captage, puis vers le clarificateur par la station de pompage, l'eau de mer est dans cette étape dosée par un coagulant puis un floculant ensuite vers le décanteur lamellaire puis pompée à travers une station de pompage intermédiaire vers des filtres à sable pressurisé autonettoyants avant d'alimenter l'usine les rack d'osmose inverse ou le taux de colmatage doit être minimal pour assurer un fonctionnement optimal des membranes.

1. Paramètres de l'eau brute :

Plongeons dans un tableau détaillé des caractéristiques essentielles de l'eau brute. Cette vue d'ensemble permettra de mieux comprendre les propriétés spécifiques de l'eau de mer de ce projet :

Tableau V.1. paramètre de l'eau brute

Paramètres	Unité	Concentration
Ph		8.20
Température	°C	14-29
Hydrocarbure	(Ppm)	<0.1
Matière en suspension MES	(Ppm)	<200
Solide totale dissous TDS	(Ppm)	38500
Calcium Ca ²⁺	(Ppm)	440
Magnésium	(Ppm)	1400
Sodium	(Ppm)	11827.81
Potassium	(Ppm)	445
Baryum	(Ppm)	Néant
Strontium	(Ppm)	Néant
Bicarbonates	(Ppm)	159.9
Carbonates	(Ppm)	
Sulfates	(Ppm)	3110
Chlorure	(Ppm)	21120
Fluor	(Ppm)	0.6
Bore	(Ppm)	4.4
Fer	(Ppm)	<0.05
Aluminium	(Ppm)	<0.05
Nitrates	(Ppm)	0.7
Nitrites	(Ppm)	
PO4	(Ppm)	

Dans le tableau suivant, nous allons détailler les principales cibles et les objectifs du prétraitement, l'usine de dessalement assure les garanties opérationnelles suivantes pour la qualité de l'eau traité :

Tableau V.2. Caractéristique de l'eau après le traitement

Paramètres	Valeur
Ph	7.5-8.5
TDS mg/l	150-500
Bore mg/l	<1.3
Dureté totale mg/l en CaCO ₃	65-80
LSI	0-0.4
Turbidité NTU	1 maximum
Teneur en bromate	
Chlore résiduel mg/l	0.1-03
Alcalinité mg/l	
Autres paramètres	

A travers ces tableaux on fixe le point du départ ainsi que le point d'arriver de notre système de prétraitement.

2. Le dimensionnement de la chaîne de prétraitement de la station de dessalement de corso

La station est composée d'un système de dégrillage manuelle, un bassin de coagulation, floculation, un décanteur à lamelles et un filtre à sable

2.1 Traitement préliminaire

Composé d'un système de dégrillage

2.1.1. Système dégrillage

Le système de dégrillage dans le traitement de l'eau de mer a pour principal rôle d'éliminer les débris solides et les particules de grande taille de l'eau brute, prévenant ainsi les obstructions et les dommages aux équipements navaux tout en assurant un processus de traitement plus efficace. Les dimensions d'un dégrilleur sont calculées à partir du débit d'alimentation, la vitesse de l'eau et le coefficient de colmatage et le coefficient de passage libre par la formule suivante :

$$S = Q_e \cdot a \cdot V_e \cdot c$$

- Q_{\max} : débit d'alimentation maximale (m^3/s)
- V_e : vitesse de l'eau (m/s)
- C : coefficient de colmatage compris entre 0.1 et 0.3 pour une grille manuelle
- a : Coefficient de passage libre donné par la relation :

$$a = \frac{\text{espace libre entre barreaux}}{\text{espace libre} + \text{épaisseur de barreaux}}$$

On a :

- Q_e : $3910 \text{ m}^3/h = 1.086 \text{ m}^3/s$
- Diamètre du conduit : 1.6 m
- C : pour une grille manuelle, est compris entre 0,1 et 0,3 ; on prend 0,25
- Épaisseur des barreaux : $l = 5 \text{ mm}$
- Espacement entre les barreaux : $e = 50 \text{ mm}$
- Hauteur immergée des barreaux : 12.5 m
- **La Vitesse d'approche dans le canal :**

$$v = \frac{Q}{S}$$

- **Le diamètre du conduit de captage est de 1.6 m**

$$S = \pi (R^2 / 2)$$

$$S = 2.01 \text{ m}^2$$

et on a:

$$v = 0.54 \text{ m/s}$$

- **Calcul de la surface du dégrilleur :**

$$a = 0.83$$

$$S = 24.1152 \text{ m}^2$$

- **La largeur de la grille est calculée comme suit :**

$$L = Ne \cdot e + Nb \cdot b$$

- Nb : Nombre des barreaux
- Ne : Nombre d'espacement
- Ne = Nb + 1 e : espacement entre les barreaux (m)
- b : diamètre des barreaux (m)

- **Calcul de la largeur**

On a :

$$L = \frac{S}{H}$$

$$L = 2,00 \text{ m}$$

On prend $L = 2\text{m}$

- Calcul de nombre de barreaux :

$$N_e = N_b + 1$$

$$L = N_e \cdot e + N_b \cdot b$$

⇒

$$L = (N_b + 1) \cdot e + N_b \cdot b$$

$$N_b = 67$$

$$N_e = 68$$

Une surface dégrillée de 24 mètres carrés avec un nombre de 67 barreaux indique que le dégrilleur peut retenir une quantité significative de débris solides avant qu'ils ne pénètrent dans les étapes de traitement suivantes. Cela signifie que le dégrilleur est capable de gérer efficacement les débris de grande taille, tels que des branches, des feuilles et des déchets flottants, ce qui réduit le risque d'obstructions dans le système.

Une surface dégrillée suffisamment grande peut réduire la fréquence nécessaire de nettoyage du dégrilleur. Cependant, il est toujours essentiel d'établir un programme de nettoyage régulier pour garantir un fonctionnement optimal du dégrilleur.

- Calcul de perte de charge :

$$\Delta H = \beta \left(\frac{d}{e}\right)^{3/4} \sin \theta \left(\frac{v}{2g}\right)$$

- β : coefficient qui tient compte de la forme des barreaux choisis selon la forme du dégrilleur: dans le cas d'un dégrilleur de section rectangulaire $\beta = 2.42$
- L'angle d'inclinaison de dégrilleur par rapport à l'horizontal $\theta = 90^\circ$
- Espacement entre les barreaux $e = 25 \text{ mm}$
- Largeur des barreaux $d = 5 \text{ mm}$
- Vitesse de l'eau $v = 0.54 \text{ m/s}$

$$\Delta H = 2.42 * 5^{3/4} * \sin 90 * 0.015$$

$$\Delta H = 0.01 \text{ m}$$

Une perte de charge de seulement 0,01 mètre d'eau indique que le dégrilleur permet un passage relativement fluide de l'eau de mer à travers ses grilles ou barreaux. Cela signifie que le dégrilleur ne crée pas une résistance excessive à l'écoulement de l'eau.

Cette perte de charge faible peut simplifier la maintenance du dégrilleur, car il y a moins de risque d'engorgement ou d'accumulation excessive de débris. Cela peut réduire la fréquence requise de

nettoyage et d'entretien.

2.1.2 Contraintes de conception d'un dégrilleur manuel

La conception d'un dégrilleur manuel dans une station de dessalement est confrontée à plusieurs défis essentiels. En premier lieu, la corrosion due à l'exposition à l'eau de mer nécessite des matériaux de construction résistants et des revêtements de protection. De plus, la gestion de l'accumulation de débris marins, tels que les algues et les coquillages, exige une conception offrant un accès facile pour l'entretien et le nettoyage. Le dimensionnement approprié, adapté à la variabilité saisonnière et climatique de la charge de débris, est crucial pour une performance optimale. Le choix des barreaux, leur taille et leur espacement doivent être soigneusement considérés. En outre, la gestion des débris capturés et la fiabilité du système, ainsi que la sécurité des opérateurs lors de l'entretien, doivent être intégrées dans la conception pour garantir l'efficacité et la disponibilité continues du processus de dessalement tout en minimisant les coûts de maintenance et d'exploitation.

2.1.3 Maintenance du dégrilleur :

La maintenance d'un dégrilleur manuel est essentielle pour garantir son bon fonctionnement et prolonger sa durée de vie. Pour entretenir efficacement un dégrilleur manuel tout d'abord, on doit s'assurer que le dégrilleur est complètement hors service et que l'alimentation en eau a été coupée pour des raisons de sécurité. On doit porter l'équipement de protection individuelle approprié, notamment des gants, des lunettes de protection et des vêtements de travail.

On commence par un nettoyage régulier, On retire manuellement les débris accumulés sur les barreaux ou la grille du dégrilleur. On peut utiliser des outils tels que des pelles ou des râdeaux pour faciliter cette opération. On s'assure de retirer tous les débris, même ceux qui pourraient être incrustés.

On effectue ensuite une inspection visuelle minutieuse. On examine les barreaux, les grilles, les chaînes et les autres composants du dégrilleur à la recherche de signes d'usure, de corrosion ou de tout dommage. On remplace tout composant endommagé pour éviter des problèmes ultérieurs.

Si notre dégrilleur comporte des éléments mobiles, on s'assure qu'ils sont correctement lubrifiés conformément aux recommandations du fabricant. Une lubrification appropriée contribue à réduire l'usure et à maintenir le bon fonctionnement.

Enfin, on vérifie l'alignement des composants du dégrilleur pour nous assurer qu'ils sont correctement positionnés. Un alignement précis est essentiel pour un fonctionnement efficace du

dégrilleur.

2.2 Le traitement physicochimique :

L'objectif principal du prétraitement physico-chimique est de préparer l'eau brute de manière à optimiser l'efficacité des étapes ultérieures du traitement, telles que la filtration, la désinfection, ou l'osmose inverse dans notre cas le dessalement. Il contribue également à prolonger la durée de vie des équipements, à réduire les coûts d'exploitation, et à garantir que l'eau traitée réponde aux normes de qualité requises.

2.2.1. Les bâches de coagulation :

La station comporte quatre bassins de coagulation, chaque bassin est équipé d'un agitateur mécanique, un coagulant qui neutralise les charges des particules est injecté afin d'assurer la déstabilisation des particules, l'eau est ensuite véhiculée vers la zone de floculation.

2.2.1.1. Le volume d'un bassin :

Les bâches de coagulation sont alimentées à partir de la station de pompage, chaque bache est alimentée par deux pompes d'un débit unitaire de 958.7 m³/h.

Le temps de séjour est autour d'une minute avec agitation rapide.

On a :

$$V = Q.t$$

Application :

$$V = 31.95 \text{ m}^3$$

➤ **Le volume unitaire des bassins de coagulation est 32 m³**

2.2.1.2. Les dimensions des bâches :

La forme du bassin de coagulation peut varier en fonction de l'espace disponible et des contraintes de conception. Cependant, il est courant d'avoir un bassin rectangulaire dont la hauteur doit être supérieure ou égale la largeur du bassin

$$32 \text{ m}^3 = \text{Longueur (L)} \times \text{Largeur (W)} \times 4 \text{ m}$$

En réorganisant la formule pour résoudre L et W, vous obtenez :

$$L \times W = 32 \text{ m}^3 / (4 \text{ m}) = 8 \text{ m}^2$$

On peut donc avoir un bassin rectangulaire avec des dimensions de 2 mètres de longueur (L) et 4 mètres de largeur (W), ce qui donnerait un volume de 32 mètres cubes

Cette configuration offre un bassin de coagulation plus allongé avec une profondeur de 4 mètres. Elle peut être adaptée à des applications où une coagulation plus efficace. La forme allongée permet une agitation plus efficace, ce qui peut améliorer la performance du processus.

2.2.1.3. L'Agitation :

➤ Gradient de Vitesse :

$G = dv/dy$ c'est la variation verticale de la vitesse, Il est utilisé pour estimer l'énergie dissipée.

G varie de 600 à 1000s⁻¹ et dans notre cas est considéré 600 s⁻¹

$$G = \frac{dv}{dy} = \frac{P}{\mu V}$$

$$P = G^2 \cdot V \cdot \mu$$

- G = gradient de vitesse (s⁻¹)
- P = puissance fournie au liquide (W)
- μ = viscosité (N.s/m²)

On prend la viscosité dynamique de l'eau de mer égale à 10⁻³ N.s/m² et Le volume de bache 32 m³

Application :

$$P = 19.7 \text{ W}$$

- Calcul du diamètre de mélangeur :

On a :

$$P = N_p \cdot n^3 \cdot D_i^5 \cdot \rho$$

$$\Rightarrow D = \sqrt[5]{\frac{P}{N_p \cdot n^3 \cdot \rho}}$$

- D : diamètre des pales l'agitateur (hélice)
- n : vitesse de rotation (s-1) égales à 1.28 s⁻¹
- ρ : masse volumique de l'eau de mer à 25° c'est 1.025 g/l
- Np : constante de l'agitateur donnée dans le tableau suivant :

Tableau V.3. Constante d'agitation selon le type d'agitateur [16]

Type d'Agitateur	Plage de numéros de Puissance
Ancre	0.1 – 0.3
Ruban Hélicoïdal	0.3 – 0.5
Pagaie	0.3 – 0.5
Hélice	0.5 – 2.5
Turbine	2.5 – 5.0
Disque	5.0 – 10.0

Application :

$$D = 1.4 \text{ m}$$

Un agitateur de 1,4 mètre de diamètre offre une grande capacité de mélange, ce qui est essentiel pour assurer la dispersion efficace du coagulant dans l'eau brute. Cette capacité permet de traiter des volumes d'eau plus importants.

2.2.1.4. Dosage et produit chimique :

Produit à utiliser : chlorure de fer (FeCl₃)

L'utilisation du FeCl₃ (chlorure ferrique) comme coagulant dans le processus de dessalement de l'eau de mer est moins courante que dans d'autres applications de traitement de l'eau, mais elle peut être envisagée dans certaines circonstances et peut être efficace pour réduire la turbidité de l'eau de mer en favorisant l'agglomération des particules en suspension. Cela peut être particulièrement utile dans le cas où l'eau de mer contient des particules fines ou des matières en suspension.

- **Calcul du débit de dosage :**

$$\text{Débit de dosage} = \frac{\text{débit} \times \text{dose de produit}}{1000 \times \text{masse volumique} \times \text{concentration}}$$

On a :

- Concentration de dosage : 40%
- Dose a utilisé : 10 ppm
- Masse volumique : 1.42 kg/l
- Débit d'écoulement : 7810 m³/h
- N° Compartiment : 4

Application :

$$\text{Débit de dosage} = 556.26 \text{ l/h}$$

L'un des inconvénients majeurs de l'utilisation de FeCl₃ est la formation de précipités insolubles, notamment de précipités d'hydroxyde de fer. Ces précipités peuvent s'accumuler dans les systèmes de traitement de l'eau et causer des problèmes de colmatage des tuyaux, des pompes et des équipements. Ils peuvent également se déposer sur les membranes, réduisant leur efficacité et augmentant les coûts d'entretien.

Le sulfate d'aluminium est un coagulant efficace pour la coagulation des particules en suspension dans l'eau. Il peut favoriser la formation de floccs solides qui sont plus faciles à éliminer lors de l'étape de floculation.

Contrairement au FeCl₃, le sulfate d'aluminium forme généralement moins de précipités insolubles, ce qui réduit le risque de colmatage des équipements et de détérioration des membranes. Il est souvent préféré pour son impact environnemental moindre par rapport à certains autres coagulants.

2.2.2 Dimensionnement de système floculation :

Après la coagulation, l'eau passe dans huit baches de floculation, un flocculant (un polymère) est injecté qui joue le rôle d'une colle entre les particules et augmente leur masse afin d'aider leur séparation dans les décanteurs lamellaires. Chaque bache comporte un agitateur lent à faible vitesse.

2.2.2.1. Volume de bassin

Les huit bassins de floculation sont alimentés par un débit unitaire de 958.7 m³/h et le temps de séjours est environs 20 min.

On a :

$$V = Q.t$$

Et

$$Q = 15.97 \text{ m}^3/\text{min}$$

Application :

$$V = 319.56 \text{ m}^3$$

On prend la valeur : 320 m³

2.2.2.2. Les dimensions du bassin de floculation :

La profondeur du bassin de floculation peut varier en fonction des besoins du processus, mais elle est généralement comprise entre 3 et 5 mètres. Une profondeur de 3.2 mètres pourrait être une bonne option.

Avec une profondeur de 3,2 mètres On a :

$$V = S.h$$

- S : surface de l'ouvrage de floculation
- V : volume de l'ouvrage de floculation
- H : profondeur de l'ouvrage de floculation

Application :

$$s = 100 \text{ m}^2$$

- La forme de la base du bassin est en forme rectangulaire, les dimensions seront donc $10 \times 10 \times 3.2 \text{ m}^3$

2.2.2.3. Agitation :

Le choix d'un système d'agitation pour un bassin de floculation dépend de plusieurs facteurs, notamment la taille du bassin, la profondeur, le débit d'alimentation, les caractéristiques de l'eau brute, et les objectifs de floculation

Les turbines à mélange lent, également appelées turbines à faible vitesse, sont couramment utilisées dans les bassins de floculation. Elles fonctionnent à des vitesses de rotation lentes et créent un mouvement de mélange doux et uniforme dans le bassin. Cela permet aux agents de floculation d'être dispersés de manière homogène dans l'eau brute, favorisant la formation de floccs.

- Largeur maximale de 6 m et profondeur variant entre 3 et 5 m ;
- Utilisés dans des applications où l'on veut fournir plus d'énergie (pour filtration directe) ;
- Vitesse maximale des pales : 3 m/s

2.2.2.4. Dosage et produits chimiques :

Produit à utiliser : polymère anionique

Les polymères anioniques sont ajoutés à l'eau brute pour améliorer la floculation. Ils agissent en neutralisant les charges électriques négatives des particules en suspension, ce qui les aide à s'agglomérer et à former des floccs.

- **Calcul du débit de dosage :**

$$\text{Débit de dosage} = \frac{\text{débit} \times \text{dose de produit}}{1000 \times \text{masse volumique} \times \text{concentration}}$$

- Concentration de dosage : 0.5%
- Dose à utiliser : 0.5 ppm

- Masse volumique : 1.06 kg/l
- Débit d'écoulement : 7810 m³/h
- N° Compartiment : 8

Application :

Débit de dosage = 14735.8 l/h

2.2.2.4. Maintenance du système coagulation /floculation

La maintenance des systèmes de coagulation-floculation d'une station de dessalement est essentielle pour garantir leur efficacité et leur fiabilité. Pour entretenir ces systèmes, on doit suivre plusieurs étapes importantes.

Tout d'abord, il est impératif d'arrêter complètement l'opération du système de coagulation-floculation avant d'entreprendre toute tâche de maintenance. Assurons-nous que les pompes et les alimentations en produits chimiques sont coupées.

La sécurité est une priorité. On porte l'équipement de protection individuelle approprié, notamment des gants, des lunettes de protection et des vêtements de travail, car certains produits chimiques utilisés dans le processus peuvent être corrosifs ou irritants.

Procédons au nettoyage des réservoirs de coagulation-floculation. Vidangeons-les et effectuons un nettoyage en profondeur pour éliminer les dépôts et les résidus de produits chimiques. Cette étape est essentielle pour maintenir l'efficacité du processus.

Inspectons minutieusement tous les équipements, y compris les pompes, les agitateurs, les mélangeurs, les vannes et les instruments de mesure. Recherchons tout signe d'usure, de corrosion ou de dysfonctionnement. Remplaçons ou réparons tout composant défectueux pour éviter les pannes potentielles.

Assurons-nous que les produits chimiques utilisés dans le processus de coagulation-floculation sont correctement stockés et que leurs niveaux sont surveillés régulièrement. Veillons à ce que les conteneurs de produits chimiques soient en bon état et bien scellés pour éviter les fuites ou les déversements.

En suivant ces étapes de maintenance régulièrement et en veillant à la sécurité et à la qualité des produits chimiques, on contribuera à maintenir la performance optimale du système de coagulation-floculation dans une station de dessalement.

2.2.2.5. Contraintes de conception de système coagulation /floculation

La conception d'un système de coagulation-floculation pour le traitement de l'eau et des eaux usées présente plusieurs défis cruciaux. Le choix des produits chimiques, tels que les

coagulants et les flocculants, est fondamental, en prenant en compte la composition de l'eau brute et les objectifs de traitement. Assurer un dosage précis de ces produits chimiques, sans surdosage ni sous-dosage, est tout aussi délicat, nécessitant des systèmes de dosage précis. La vitesse de mélange doit être contrôlée avec soin pour assurer la dispersion des produits chimiques sans turbulence excessive. De plus, la variabilité de l'eau brute et la gestion de la taille optimale des floccs sont des défis à relever. La séparation efficace des floccs formés est essentielle, tout comme la gestion des résidus de coagulation-floculation. L'automatisation, la conformité réglementaire, la durabilité et la réduction des coûts opérationnels sont également des préoccupations clés. La conception d'un système de coagulation-floculation efficace nécessite une approche réfléchie pour relever ces défis et garantir un traitement de l'eau de haute qualité.

2.2.3. Décanteur lamellaire :

L'eau de mer, qui contient diverses impuretés telles que des particules en suspension, des matières organiques et des colloïdes, est introduite dans le décanteur lamellaire. À l'intérieur du décanteur lamellaire, il y a une série de plaques inclinées, appelées lamelles. Les lamelles sont disposées à un angle précis, généralement entre 45 et 60 degrés par rapport à l'horizontale.

Lorsque l'eau de mer traverse les lamelles inclinées, les particules en suspension et les floccs plus gros ont tendance à descendre sous l'effet de la gravité. Les lamelles inclinées augmentent la distance que les particules doivent parcourir pour atteindre le fond du décanteur, ce qui prolonge le temps de sédimentation.

2.2.3.1. Volume :

Les dimensions du décanteur sont calculées par la charge hydraulique, on obtient la surface puis les dimensions du décanteur.

La charge est donnée égale à $4.78 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{h}$

On a 8 décanteurs dont la surface est calculée ainsi :

$$S = Q/H$$

Tels que :

- S : surface décanteur
- Q : débit d'entrée du décanteur $958.7 \text{ m}^3/\text{h}$
- H : charge hydraulique

$$S = 200 \text{ m}^2$$

➤ On cherche le temps de séjour avec la vitesse de Hazen

La relation entre la vitesse de Hazen (V) et le temps de séjour (t) dans un système de traitement de l'eau ou de filtration n'est généralement pas décrite par une formule mathématique unique, car elle dépend de nombreux facteurs spécifiques au système et aux conditions de traitement. Cependant, vous pouvez obtenir une relation générale en fonction de certains paramètres clés.

La relation entre la vitesse de Hazen, le temps de séjour et la géométrie du système peut être approximée de la manière suivante :

$$V = L/t \text{ alors}$$

$$t = L/V$$

Où :

- V est la vitesse de Hazen en unités de vitesse (dans notre cas 4.78 m/h).
- L est la longueur caractéristique du trajet de l'eau à travers le système en unités de longueur (5m)
- t est le temps de séjour en unités de temps (par exemple, heures).

Application :

$$t = 1\text{h } 3\text{min}$$

Un temps de séjour d'une heure dans un décanteur peut être considéré comme relativement court en comparaison avec certains autres types de décanteurs ou de clarificateurs, mais cela peut être tout à fait approprié en fonction des besoins spécifiques de notre système de traitement de l'eau.

2.2.3.2. Maintenance du décanteur à lamelles :

La maintenance du décanteur à lamelles est une étape cruciale pour assurer son bon fonctionnement dans une station de traitement des eaux. Pour entretenir ce système, on doit suivre attentivement plusieurs étapes essentielles.

Tout d'abord, on veillera à ce que le décanteur à lamelles soit hors service et que l'alimentation en eau ait été coupée avant de débiter toute opération de maintenance. On portera l'équipement de protection individuelle approprié, y compris des gants et des lunettes de protection, pour garantir la sécurité pendant les travaux.

Le nettoyage régulier du décanteur à lamelles est fondamental. On devra vider les compartiments et éliminer les boues accumulées. L'utilisation d'outils tels que des racleurs automatisés peut

faciliter cette tâche. On vérifiera également l'état des plaques inclinées (lamelles) pour s'assurer qu'elles sont exemptes de dépôts et de colmatage.

Une inspection visuelle détaillée s'impose. On examinera les composants du décanteur, y compris les lamelles, les conduites, les agitateurs et les dispositifs de réglage de l'angle des lamelles, à la recherche de signes d'usure, de corrosion ou de tout dommage. Si on repère des problèmes, on prendra les mesures nécessaires pour les corriger.

La lubrification des mécanismes, tels que les agitateurs, sera réalisée selon les recommandations du fabricant pour garantir leur bon fonctionnement. Ensuite, on s'assurera que tous les dispositifs de contrôle et d'automatisation sont opérationnels, ce qui contribuera à maintenir la performance du décanteur.

Enfin, on planifiera des activités de maintenance préventive régulières pour minimiser les temps d'arrêt non planifiés et prolonger la durée de vie du décanteur à lamelles. Un suivi attentif des performances et un enregistrement des données seront également essentiels pour garantir la qualité de l'eau traitée.

En suivant ces étapes de maintenance, on contribuera à maintenir le décanteur à lamelles en bon état de fonctionnement et à assurer l'efficacité du processus de traitement des eaux dans la station.

2.2.3.3. Contraintes de conception de décanteur lamellaire

La conception d'un décanteur lamellaire pour le traitement des eaux usées ou de l'eau potable est confrontée à plusieurs défis significatifs. L'un des problèmes majeurs est l'espace limité, car ces décanteurs sont souvent choisis pour leur capacité à économiser de l'espace. Concevoir un système qui optimise l'efficacité de la décantation tout en respectant ces contraintes d'espace est un défi clé. De plus, le choix du type de lamelles est une décision délicate, car il existe différentes options, telles que les lamelles en plastique, en métal ou en bois, chacune ayant ses avantages et inconvénients en fonction de la charge de solides, de la composition de l'eau et d'autres facteurs. En outre, la conception hydraulique est un élément essentiel, car elle doit garantir une distribution uniforme de l'eau à travers les lamelles et une collecte efficace des boues décantées pour maintenir la performance du décanteur lamellaire. La gestion de ces défis est cruciale pour assurer le bon fonctionnement de ce composant essentiel des systèmes de traitement de l'eau.

2.3. Filtre à sable :

Le dimensionnement d'un filtre à pression dépend de plusieurs facteurs, notamment le débit d'eau que vous souhaitez traiter, la taille des particules que vous souhaitez retirer, la pression d'opération, et d'autres caractéristiques spécifiques du système. Il existe 16 filtres dans la station

alimenté par un débit unitaire de 476.85m³/h avec un temps de fonctionnement de 24h

2.3.1. Calcul de la surface du filtre :

Le filtre de cette station est d'une forme cylindrique dont la surface sera :

$$S = Q.V$$

La vitesse de filtration est égale a 8.5m/h

Application

$$S = 56.10 \text{ m}^2$$

La Surface de filtration est égale a : 56.10 m²

2.3.2. Diamètre de filtration

$$d = \sqrt{\frac{2.S}{\pi}}$$
$$d = 5.97\text{m}$$

Un filtre à pression avec un diamètre de presque 6 mètres est en effet très grand et ne serait généralement pas considéré comme normal pour la plupart des applications courantes. Il est considéré extrêmement volumineux et coûteux à construire et à entretenir.

On choisira donc un filtre avec un diamètre plus petit et admissible, cela nécessitera une augmentation de vitesse de filtration ce qui entraînera une pression de pompe plus élevée, ainsi qu'une augmentation du volume des médias filtrants.

Le diamètre conforme au filtre disponible dans le marché est donc 4m ce qui nous donne les dimensions suivantes :

Longueurs : 14.02 m on prend 15m

Volume : 170.031 m³

2.3.3. Volume des médias :

Le volume des médias d'un filtre à sable est un aspect crucial de la conception de ce type de filtre. Le volume des médias fait référence à la quantité de sable ou d'autres matériaux filtrants qui remplissent l'intérieur du filtre à sable.

$$\text{Volume des médias (m}^3\text{)} = \text{Surface de filtration (m}^2\text{)} \times \text{Profondeur des médias (mètres)}$$

Le filtre se compose de trois 3 couches de filtration : gravier, sable, filtralite. Le volume de chacune dépend de sa profondeur.

Dans un filtre conventionnel, la profondeur des couches des médias filtrant est comme suit :

Gravier : La couche de gravier de soutien est située en dessous de la couche de sable. Sa profondeur varie généralement entre 15 et 30 centimètres donc un volume entre 8.4 et de 16.8 m³

Sable : La couche de sable propre, qui est le média filtrant principal, se trouve au-dessus du gravier de soutien. Sa profondeur typique varie entre 60 et 120 centimètres don un volume entre 33.6 et 67.3 m³

Filtralite : est un média filtrant léger qui est utilisé pour améliorer l'efficacité de la filtration dans diverses applications, son volume dépend des volumes de sable et gravier.

2.3.4. Lavage des filtres :

Le lavage et l'entretien d'un filtre à sable sont essentiels pour maintenir son efficacité de filtration etsa durée de vie. Voici les étapes à suivre pour le lavage et l'entretien d'un filtre à sable :

1. Arrêt du système : Avant de commencer le lavage, le filtre doit être en état d'arrêt
2. Lavage à contre-courant : Le lavage du filtre à sable implique l'inversion du flux d'eau à travers le lit de sable pour éliminer les particules piégées dans le sable. Voici les étapes du lavage à contre-courant :
 - a. Ouverture de la vanne de lavage pour diriger l'eau vers le bas à travers le lit de sable. Cela permettra de desserrer et de détacher les particules emprisonnées.
 - b. Activation de la pompe pour créer un flux d'eau à contre-courant à travers le filtre. Le temps de lavage varie en fonction de la taille du filtre et du degré de colmatage, mais il dure généralement de 1 à 3 minutes.
 - c. Pendant le lavage à contre-courant, l'eau évacuée par le tuyau de lavage sera trouble au début mais devrait devenir plus claire à mesure que le lavage progresse. Lorsque l'eau devient claire, le lavage est terminé.
3. Rinçage : Après le lavage à contre-courant, le rinçage permet de rétablir la circulation normale de l'eau à travers le filtre. Le rinçage dure généralement de 20 à 30 secondes pour éliminer les dernières particules de l'eau.
4. Retour en mode de filtration : Après le rinçage, le filtre reprendre le fonctionnement normal.

2.3.5. Contraintes de conception de filtre à sable

La conception d'un filtre à sable pressurisé, largement utilisé dans le traitement de l'eau potable et des eaux usées, présente plusieurs défis essentiels. Tout d'abord, la sélection du

média filtrant approprié est cruciale, en tenant compte des caractéristiques du sable, de sa granulométrie, de sa propreté et de sa compatibilité chimique. Assurer une distribution uniforme de l'eau à travers le lit de sable est un autre défi, nécessitant une conception hydraulique soignée du système de distribution. La gestion de la pression est également complexe pour éviter la rupture du lit de sable. De plus, le rétro lavage efficace pour éliminer les particules accumulées exige une conception réfléchie du système de nettoyage. La gestion des sous-produits du traitement et la mise en place d'un système de surveillance et d'automatisation sont des considérations importantes pour un fonctionnement efficace. Enfin, la conformité réglementaire et l'entretien régulier pour garantir la durabilité sont des facteurs essentiels à prendre en compte dans la conception d'un filtre à sable pressurisé pour le traitement de l'eau.

3. Consommation énergétique du système de prétraitement :

La consommation d'énergie d'un système de prétraitement joue un rôle significatif dans l'évaluation de sa fiabilité et de son efficacité globale. Cette consommation d'énergie a des répercussions directes sur les coûts d'exploitation, car un système de grande consommation énergétique peut engendrer des dépenses plus élevées à long terme, ce qui peut affecter la viabilité financière du système et ainsi sa fiabilité. De plus, une consommation excessive d'énergie a un impact environnemental négatif, contribuant aux émissions de gaz à effet de serre et à d'autres problèmes environnementaux. Par conséquent, un système de prétraitement économe en énergie est souvent considéré comme plus fiable d'un point de vue environnemental et financier. De plus, la fiabilité opérationnelle du système dépend également de sa consommation d'énergie, car des fluctuations ou des ajustements fréquents peuvent compromettre son efficacité. La consommation d'énergie affecte l'intégration du système dans le processus global de traitement, car elle peut réduire la disponibilité d'énergie pour d'autres étapes du processus, pouvant ainsi compromettre la fiabilité globale du système de dessalement. Ainsi, la consommation d'énergie est un critère essentiel pour évaluer la fiabilité d'un système de prétraitement.

Ci-dessous le tableau qui résume le bilan énergétique du système de prétraitement de la station de dessalement de Corso :

Tableau V.4. Consommation énergétique de la station de dessalement de Corso

L'équipement	N° d'unité	Consommation horaire d'électricité en kW	N° d'heures de fonctionnement	Consommation totale en kWh
Pompes d'eau demer	8	134.93	24	25906.56
Pompes doseuse du chlorure ferrique	4	0.35	24	33.6
Pompes doseuses Du polymère	8	0.56	24	68.352
Agitateur du bassin de coagulation	4	1.94	24	186.24
Agitateur du bassin d floculation	8	0.66	24	126.72
Racleur	8	2.82	3	67.68
Pompes d'alimentation filtre à sable	8	170.5	24	32736

La consommation approximative de ce système est donc : **59152.152 kWh**

C'est-à-dire : **0.74 kW h/m³**

4. Frais de consommation énergétique

Les frais de consommation énergétique du système de prétraitement représentent un élément essentiel dans le processus de dessalement, impactant directement les coûts opérationnels. La gestion optimisée de l'énergie dans cette phase préliminaire revêt une importance capitale pour garantir l'efficacité globale du système de dessalement et réduire les dépenses énergétiques associées.

Selon les tarifs applicables aux clients alimentés en haute tension de SONALGAZ on a :

- Heures de jour = 7.5h (6 :00 - 22 :30) → prix d'énergie = **428,30 DA/kWh**
- Heures de nuits = 16.5h (22 :30 - 6 :00) → prix d'énergie = **102,40 DA/kWh**

Pour 59125.125 kWh on trouve le frais d'énergie égale à :

- La nuit : **45.408.096,00 DA**
- Le jour : **417.855.502,96 DA**

Les frais totaux par jour : 463.263.598,96 DA

5. Optimisation du système de prétraitement de la SDEM de Corso

Pour améliorer la chaîne de prétraitement on pourrait envisager plusieurs améliorations pour augmenter l'efficacité du processus et réduire les coûts opérationnels.

1. Automatisation du dégrillage :

- On remplace le dégrilleur manuel par un dégrilleur automatique. Cela réduira la main d'œuvre nécessaire, améliorera la fiabilité de l'élimination des débris et réduira les risques de colmatage.

2. Optimisation de la coagulation-floculation :

- Utilisation des équipements de dosage automatique pour doser avec précision les produits chimiques de coagulation et de floculation en fonction de la qualité de l'eau brute.
- Installation un système de surveillance en ligne pour mesurer en temps réel la turbidité et d'autres paramètres de qualité de l'eau, ce qui permettra d'ajuster automatiquement les doses de produits chimiques.

3. Amélioration de la décantation lamellaire :

- Augmentation de la surface de décantation en ajoutant des modules lamellaires supplémentaires.

4. Utilisation de médias filtrants avancés :

- Si le filtre à pression est équipé de médias filtrants, on propose l'usage des médias plus avancés, tels que la zéolite, qui peuvent améliorer l'efficacité de la filtration.

5. Système de récupération de l'eau de lavage :

- Installation d'un système de récupération de l'eau de lavage du filtre à pression pour réduire la consommation d'eau et minimiser le rejet d'eau traitée.

6. Gestion de l'énergie :

- Opter pour des pompes à haut rendement énergétique pour réduire la consommation d'énergie de la station de pompage.
- Utilisation des variateurs de fréquence pour ajuster la vitesse des pompes en fonction de la demande, ce qui permet d'économiser de l'énergie.

7. Système de surveillance et de contrôle avancé :

- Mettre en place un système de surveillance et de contrôle automatisé pour surveiller l'ensemble du processus de prétraitement en temps réel.
- Utilisation des algorithmes de contrôle avancés pour optimiser les paramètres de traitement en fonction des conditions changeantes de l'eau brute.

8. Formation du personnel.

9. Maintenance préventive :

- Etablissement d'un programme de maintenance préventive pour minimiser les temps d'arrêt non planifiés et prolonger la durée de vie des équipements.

10. Gestion des boues :

- Disposition d'un plan de gestion des boues pour éliminer ou réutiliser les boues de manière efficace et conforme à la réglementation.

Chapitre VI :
Proposition d'autres variantes
pour la chaîne de
prétraitement

CHAPITRE VI : PROPOSITION D'AUTRES VARIANTES POUR LA CHAÎNE DE PRÉTRAITEMENT

Introduction :

L'objectif de cette étude comparative est d'évaluer et de comparer différents systèmes de prétraitement en termes d'efficacité, de coût, de durabilité environnementale et d'adaptabilité aux conditions variables de l'eau brute. Nous examinerons de près plusieurs technologies de prétraitement couramment utilisées, notamment la coagulation-floculation, la filtration à plusieurs niveaux, la décantation lamellaire, et d'autres processus novateurs.

1. Evaluation du système de prétraitement de la station corso :

Le système de cette station est une approche courante pour le prétraitement de l'eau de mer ou de l'eau saumâtre avant le dessalement. Cependant, comme tout système, il présente à la fois des avantages et des inconvénients.

Avantages :

1. Élimination des particules en suspension : La coagulation-floculation-décantation est efficace pour éliminer de nombreuses particules en suspension, y compris les sédiments, les matières organiques et les contaminants colloïdaux, ce qui peut réduire la charge sur le filtre à sable.
2. Réduction de la turbidité : Ce système réduit la turbidité de l'eau brute, ce qui peut améliorer l'efficacité des processus de dessalement suivants, tels que l'osmose inverse.
3. Protection du filtre à sable : Le prétraitement par coagulation et décantation aide à protéger le filtre à sable en réduisant la charge de particules fines et en minimisant le colmatage du média filtrant.
4. Élimination des impuretés dissoutes : Bien que ce système soit principalement destiné à l'élimination des particules en suspension, il peut également contribuer à éliminer certaines impuretés dissoutes, telles que les métaux lourds adsorbés sur les particules en suspension.

Inconvénients :

1. Consommation d'énergie : La coagulation-floculation-décantation nécessite des pompes et des équipements de mélange, ce qui peut entraîner une consommation d'énergie significative.
2. Formation de sous-produits : Le processus de coagulation peut entraîner la formation de sous-produits indésirables, tels que des résidus de coagulants, qui nécessitent une gestion appropriée.
3. Espace et infrastructure : Ce système nécessite un espace considérable et une infrastructure complexe, y compris des décanteurs et des équipements de dosage de produits chimiques, ce qui peut être coûteux à construire et à entretenir.

4. Maintenance : Les équipements de coagulation-floculation-décantation nécessitent une maintenance régulière pour garantir leur bon fonctionnement.
5. Nécessité de produits chimiques : Ce système nécessite l'ajout de produits chimiques de coagulation et de floculation, ce qui entraîne des coûts opérationnels supplémentaires et des préoccupations environnementales liées à l'utilisation de produits chimiques.
6. Limitation dans l'élimination des contaminants dissous : Ce système est moins efficace pour l'élimination des contaminants dissous, tels que le sel, qui nécessitent généralement un traitement supplémentaire par osmose inverse ou d'autres technologies de dessalement.

En résumé, le système de prétraitement de dessalement basé sur la coagulation, la floculation, la décantation et un filtre à sable à pression présente des avantages en termes d'élimination des particules en suspension et de protection du filtre à sable, mais il comporte également des inconvénients liés à la consommation d'énergie, à l'espace nécessaire, à l'utilisation de produits chimiques et à la gestion des sous-produits. Le choix de ce système dépendra des besoins spécifiques de l'application et des contraintes budgétaires et environnementales.

Suite à cette critique, on va étudier la possibilité d'utiliser d'autres systèmes de prétraitement comme le DAF et le filtre gravitaire

2. Dimensionnement d'un système DAF

Les systèmes de flottation basés sur le principe de la flottation par air dissous (DAF) utilisés dans le prétraitement des installations d'osmose inverse. Dans ces systèmes, l'air nécessaire est produit en saturant une partie de l'eau sous pression avec de l'air, puis cette solution air/eau est recirculé dans une zone de contact avec l'eau brute. Dans cette zone, l'air sous pression est libéré pour former des bulles d'air, ce qui facilite la flottation des particules. Les agglomérats de particules/bulles d'air sont ensuite séparés et éliminés. Le texte mentionne également des combinaisons de DAF avec la filtration par gravité granulaire, appelées systèmes de flottation par air dissous/filtre (FDAF), qui peuvent réduire l'encombrement, mais ont des limitations en termes de charge surfacique. En cas de besoin de lavage du filtre, la zone de flottation doit être mise hors service dans ces systèmes.

La conception de ce système est divisée en trois parties essentielles :

- Les chambres de coagulation/floculation
- La zone de saturation
- La chambre de flottation
- Le système de recirculation



Figures VI.1. Système DAF

2.1. Les chambres de coagulation/floculation :

Pour dimensionner les compartiments de coagulation et floculation on suit le même principe utilisé pour la décantation ordinaire.

Les principaux critères de conception pour les chambres de coagulation et de floculation, la chambre de flottation et le système de recyclage d'un clarificateur DAF typique sont présentés ci-dessous [12] :

Tableau VI.1. Critères de conception du système DAF [12]

MÉLANGEUR STATIQUE EN LIGNE (OU CHAMBRE DE COAGULATION)	
Gradient de vitesse ($G \times T$)	500 à 1600 s^{-1}
CHAMBRE DE FLOCCULATION	
Temps de contact	10-20 minutes
Chambres de flocculation en série	2-4
Profondeur de l'eau	3,5-4,5 m (11,5 à 15 pieds)
Type de mélangeur	Arbre vertical avec pales d'hydroptère
Surface de la lame / Surface du réservoir	0.1%–0.2%
Vitesse de l'arbre	40 à 60 tr / min
CHAMBRE DE FLOTTAISON	
Nombre minimum de réservoirs	2 (identique aux cellules filtrantes si elles sont combinées avec des filtres)
Largeur du réservoir	3-10 mètres (10-33 pieds)
Longueur du réservoir	8 à 12 m (26 à 39 pieds)
Profondeur du réservoir	2,5 à 5 m (8 à 16 pieds)
Rapport longueur / largeur	1,5-2,5 à 1
Taux de chargement en surface	20 à 35 $m^3 / m^2 h$ (8 à 14 gal/min / pi ²)
Temps de rétention hydraulique	10-20 minutes
Système de recyclage de l'eau traitée	
Taux de recyclage	10% -15% du débit d'admission
Chargement d'air	8 à 12 g / m^3
Taux de chargement du saturateur	60 à 80 $m^2 / m^2 h$ (25 à 33 gal/min / f ²)
Pression de fonctionnement	6,0 à 8,0 bars (87 à 116 psi)

2.1.1. Bâche de coagulation :

Le temps de séjour est autour d'une minute avec agitation rapide et un débit de 7762.90 m^3/h répartie sur 4 compartiments d'un débit unitaire de 3881,45 m^3/h

On a:

$$V = Q.t$$

Application:

$$V = 64,69 \text{ m}^3$$

➤ **Le volume unitaire réel des bassins de coagulation choisie est 63 m^3**

Les dimensions des bâches

On choisit une forme carrée dont la profondeur doit être deux fois ou plus la largeur du bassin donc :

$$V_{\text{eau/coag}} = 3 \times 3 \times 7 \text{ m}^3$$

Et en respectant les normes de sécurité un mètre de plus de profondeur est conseillé dans pour éviter le renversement durant l'agitation :

$$V_{\text{bâche/coag}} = 3 \times 3 \times 8 \text{ m}^3$$

Notre bâche de coagulation aura donc une largeur de trois mètres et une profondeur de huit mètres ce qui est bien supérieur à celui de la bâche de coagulation dans le décanteur lamellaire

2.1.2. Bâches de floculation :

- **Volume :**

Selon les normes de conception d'un système DAF le nombre d'unités de floculation est entre 2 et 4, pour cette étude on a choisi d'utiliser 4 unités, et le temps de séjour est compris entre 10 et 15 min.

Le débit entrant sera égal à 1940.725 m³/h et le temps de séjour égal à 12 min.

$$V = Q.t$$

Application :

$$V = 388.145 \text{ m}^3$$

Le volume réel du bassin : 390 m³

- Les dimensions du bassin de floculation :

On prend h= 4 m On a :

$$V = S \times h$$

$$\Rightarrow S = \frac{V}{H}$$

Tq:

- S : surface de l'ouvrage de floculation
- V : volume de l'ouvrage de floculation
- H : profondeur de l'ouvrage de floculation

Application :

$$S = 72 \text{ m}^2$$

La forme de bassin est on forme rectangulaire, les dimensions seront donc 10 x 9 m², aussi un volume considérable par rapport le système actuel de la station

2.2. La chambre de flottation :

Le dimensionnement de cet ouvrage dépend de la charge hydraulique souvent supposé entre 20 et 25 m³/m²/h, dans notre étude on prend 20 m³/m²/h

Cette partie est composé d'un seul bassin alimenter par un débit de 7762.90 m³/h à partir des 4 bâches de floculation ou la surface du bassin est calculée ainsi :

$$S = \frac{Q}{\text{charge hydraulique}}$$

Application

$$S = \frac{7762.90}{20} = 388.145 \text{ m}^2$$

$$S = 388.145 \text{ m}^2$$

On cherche le temps de séjour qui doit être compris entre 10 et 15 min en calculant le volume en supposant la hauteur d'eau égale à 4.5 m

$$V = S.H$$

$$V = 1746.6525 \text{ m}^3$$

Maintenant on calcule le temps de séjour :

$$T_s = V/Q$$

$$T_s = 13.5 \text{ min}$$

Le temps de séjour est convenable aux normes de conception : [10-15] min

2.2.1. Système de recirculation :

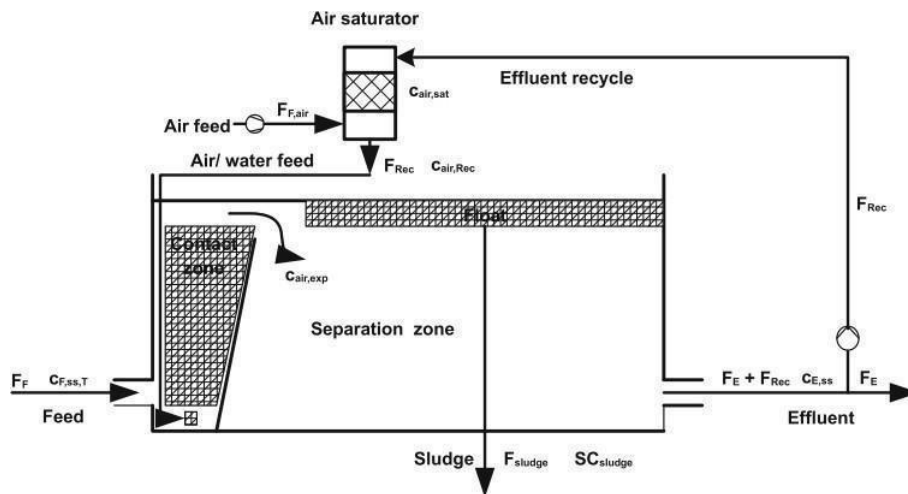


Figure VI.2. Système recirculation du système DAF

La quantité d'air libérée dans la zone de contact de l'unité de flottation dépend du taux de recyclage et de la pression pair à laquelle le système de saturation en air est opéré. Le taux de recyclage est défini comme le quotient du débit d'eau recyclée F_{Rec} et du débit d'alimentation en eau brute F_F de l'unité de flottation.

$$R_{Recyclage} = F_{Rec}/F_f$$

$r_{recycle}$: représente le taux de recyclage de l'unité de flottation (sans unité de mesure).

F_{Rec} : représente le débit d'eau recyclée de l'unité de flottation en mètres cubes par heure (m^3/h).

F_F : représente le débit d'alimentation en eau brute de l'unité de flottation en mètres cubes par heure (m^3/h).

Selon la pression dans le saturateur d'air, une concentration correspondante d'air dissous $c_{air,Rec}$ est établie dans l'admission de recyclage vers la zone de contact. Cette concentration est égale à la concentration de saturation de l'air $c_{air,sat}$ à cette pression, multipliée par le facteur d'efficacité $f_{eff,sat}$ du saturateur d'air. Pour les saturateurs d'air équipés de matériaux de remplissage, ce

facteur d'efficacité se situe généralement entre 0,8 et 0,95. La quantité d'air $a_{\text{air,rel}}$ libérée dans la zone de contact lorsque la solution air/eau recyclée sous pression est décompressée à la pression atmosphérique est calculée à partir des paramètres mentionnés précédemment et de la concentration de saturation de l'air à la pression atmosphérique $c_{\text{air,exp}}$, comme indiqué dans les équations.

$$a_{\text{air,rel}} = (f_{\text{eff,sat}} * c_{\text{air,sat}} - c_{\text{air,exp}}) * F_{\text{Rec}}$$

$$a_{\text{air,rel}} = (f_{\text{eff,sat}} * c_{\text{air,sat}} - c_{\text{air,exp}}) * F_{\text{F}} * r_{\text{recycle}}$$

- $a_{\text{air,rel}}$ représente la quantité d'air libérée dans la zone de contact en (g air/h).
- $c_{\text{air,sat}}$ représente la concentration de saturation de l'air à la pression du saturateur en milligrammes par litre (mg/l).
- $c_{\text{air,exp}}$ représente la concentration de saturation de l'air dans des conditions d'expansion en milligrammes par litre (mg/l).
- $f_{\text{eff,sat}}$ représente le facteur d'efficacité du saturateur (sans unité).

Le facteur d'efficacité du saturateur, $f_{\text{eff,sat}}$, est un paramètre sans unité qui mesure l'efficacité du saturateur d'air dans le processus. Il peut varier en fonction de la conception et de la performance du saturateur.

La concentration d'air disponible pour la flottation dans les zones de contact et de séparation est calculée en prenant en considération le déficit de saturation en air dans l'eau d'alimentation de la flottation, tel que défini dans l'équation

$$c_{\text{air,sat,exp}} = c_{\text{O}_2,\text{sat,exp}} + c_{\text{N}_2,\text{sat,exp}}$$

- $c_{\text{air,sat,exp}}$ représente la concentration d'air dans des conditions de saturation ou d'expansion en milligrammes par litre (mg/l).
- $c_{\text{O}_2,\text{sat,exp}}$ représente la concentration d'oxygène dans des conditions de saturation ou d'expansion en milligrammes par litre (mg/l).
- $c_{\text{N}_2,\text{sat,exp}}$ représente la concentration d'azote dans des conditions de saturation ou d'expansion en milligrammes par litre (mg/l).

Les concentrations de saturation de l'oxygène et de l'azote dans l'eau sous pression, notées $c_{\text{O}_2,\text{sat,exp}}$ et $c_{\text{N}_2,\text{sat,exp}}$, respectivement, ainsi que sous pression atmosphérique, sont déterminées à l'aide des équations suivante :

$$c_{O_2, \text{sat, exp}} = MW_{O_2} \times 10^3 * h_{O_2, V} * p_{g_{O_2}}$$

$$c_{O_2, \text{sat, exp}} = 32 \times 10^3 * h_{O_2, V} * \frac{c_{V, O_2, \text{air}}}{100} * p_{\text{air}}$$

$$c_{O_2, \text{sat, exp}} \approx 32 \times 10^3 * h_{O_2, V} * 0.209 * p_{\text{air}}$$

- MW_{O_2} représente le poids moléculaire de l'oxygène, égal à 32,0 grammes par mole (g/mole).
- $h_{O_2, V}$ représente le coefficient de solubilité d'Henry de l'oxygène en volume, mesuré en moles par litre par atmosphère (mol/l, atm).
- $p_{g_{O_2}}$ représente la pression partielle de l'oxygène, mesurée en bars (bar).
- p_{air} représente la pression de l'air, également mesurée en bars (bar).
- $c_{V, O_2, \text{air}}$ représente la concentration d'oxygène dans l'air, exprimée en pourcentage en volume (Vol%).

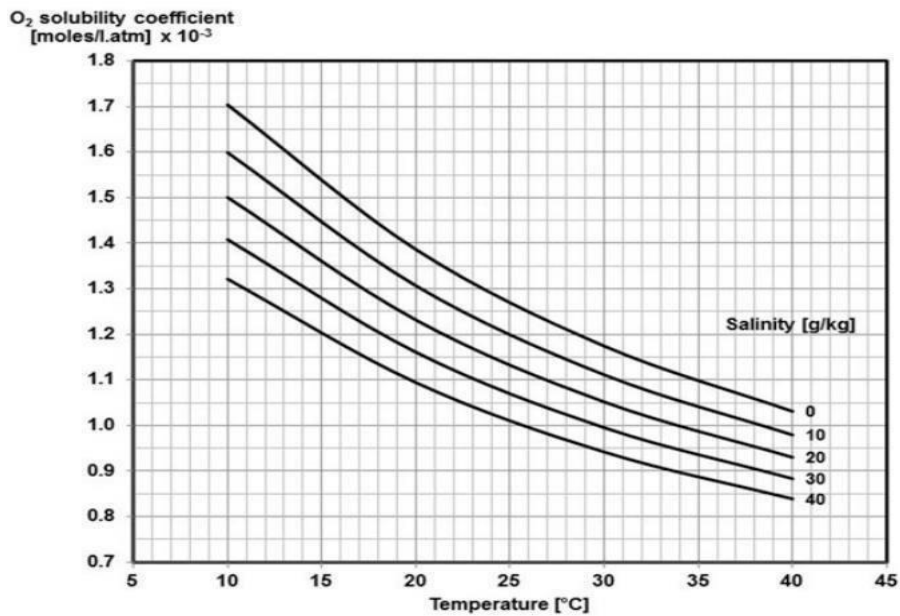
$$c_{N_2, \text{sat, exp}} = MW_{N_2} \times 10^3 * h_{N_2, V} * p_{g_{N_2}}$$

$$c_{N_2, \text{sat, exp}} = 28.01 \times 10^3 * h_{N_2, V} * \frac{c_{V, N_2, \text{air}}}{100} * p_{\text{air}}$$

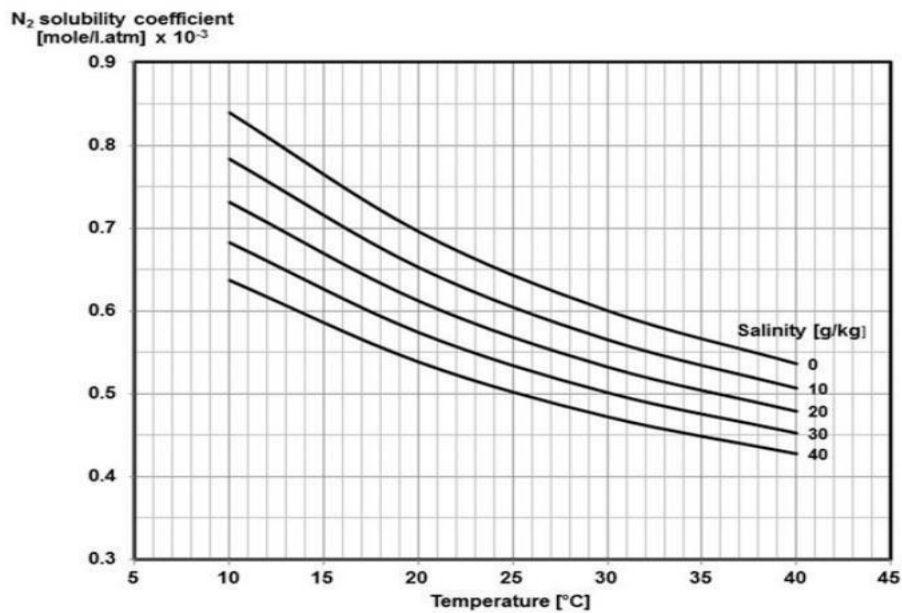
$$c_{N_2, \text{sat, exp}} \approx 28.01 \times 10^3 * h_{N_2, V} * 0.791 * p_{\text{air}}$$

- MW_{N_2} représente le poids moléculaire de Nitrogène, égal à 28.01 grammes par mole (g/mole).
- $H_{N_2, V}$ représente le coefficient de solubilité d'Henry de Nitrogène en volume, mesuré en moles par litre par atmosphère (mol/l, atm).
- $p_{g_{N_2}}$ représente la pression partielle de Nitrogène, mesurée en bars (bar).
- p_{air} représente la pression de l'air, également mesurée en bars (bar) et égale à : 1,013 bar
- $c_{V, N_2, \text{air}}$ représente la concentration de Nitrogène dans l'air, exprimée en pourcentage en volume (Vol%)

Le coefficient de solubilité, applicable à ces deux gaz dans l'eau de mer selon la loi de Henry, peut être calculé en fonction de la température et de la salinité, ou ce coefficient peut être extrait des graphiques des Figures pour l'oxygène et l'azote [12] :



a



b

Figure VI.3. Coefficient de henry selon la salinité et la température de l'eau de mer

Application :

On considère la salinité dans la méditerranée égale à 40 g/kg, le coefficient de henry sera donc

- Pour l'oxygène : 1.01×10^{-3} [mole/l.atm]
- Pour le Nitrogène : 0.5×10^{-3} [mole/l.atm]

Dans ce cas on trouve :

- $C_{O_2,exp,sat} = 6.8426$ mg/l
- $C_{N_2,exp,sat} = 11.2219$ mg/l

- $C_{\text{air,sat,exp}}=18.06466 \text{ mg/l}$

En remplaçant dans notre formule de calcul de concentration d'air avec

- $f_{\text{eff,sat}} = 0.9$
- $r_{\text{recycl}} = 15 \%$

On trouve :

$$a_{\text{air,rel}} = 1051.717 \text{ g}_{\text{air}}/\text{l}$$

2.3. Contrainte de conception du système DAF

La conception d'un système de flottation par air dissous (DAF) pour le traitement des eaux usées et d'autres applications de clarification présente plusieurs défis majeurs. Tout d'abord, l'optimisation de la saturation en air est essentielle pour la formation de bulles et la flottaison des particules. Le choix du type de flottateur, qu'il s'agisse d'un système à courants ascendants ou descendants, dépend des caractéristiques de l'eau à traiter et des objectifs de clarification. La gestion de la charge en solides variable, la mise en place d'un mécanisme efficace d'élimination des flottants, la conception d'un système de recirculation adéquat et la prévention des colmatages sont autant de défis cruciaux. De plus, la conformité réglementaire, l'efficacité énergétique, l'automatisation et le contrôle du système nécessitent une attention particulière. La conception d'un système DAF performant exige une planification méticuleuse et une adaptation aux besoins spécifiques de l'application, tout en relevant ces défis pour garantir une clarification efficace de l'eau.

2.3. Comparaison entre le DAF et le décanteur lamellaire

a. Décanteur Lamellaire :

Avantages :

1. Élimination efficace des particules en suspension (MES) : Les décanteurs lamellaires sont efficaces pour éliminer les particules en suspension de l'eau, y compris les MES.
2. Moins de consommation d'énergie : Ils ont tendance à consommer moins d'énergie que les systèmes DAF, car ils n'ont pas besoin de générer de microbulles d'air.
3. Espace réduit : Ils nécessitent généralement moins d'espace que les systèmes DAF.

Inconvénients :

1. Moins efficace pour les matières organiques : Les décanteurs lamellaires sont moins efficaces pour éliminer les matières organiques dissoutes que les DAF.

2. Possibilité de colmatage : Bien qu'ils réduisent le colmatage des membranes OI, les décanteurs lamellaires ne l'éliminent pas complètement.

b. Système DAF (Flottation par Air Dissous) :

Avantages :

1. Élimination efficace des MES : Les systèmes DAF sont efficaces pour éliminer les MES, y compris les particules fines.
2. Élimination des matières organiques : Ils sont efficaces pour éliminer les matières organiques dissoutes et les contaminants organiques.
3. Réduction significative de la turbidité : Ils peuvent réduire la turbidité de l'eau brute de manière plus significative que les décanteurs lamellaires.

Inconvénients :

1. Plus de consommation d'énergie : Les systèmes DAF consomment généralement plus d'énergie que les décanteurs lamellaires en raison de la nécessité de générer des microbulles d'air.
2. Plus d'espace requis : Ils ont tendance à occuper plus d'espace que les décanteurs lamellaires.

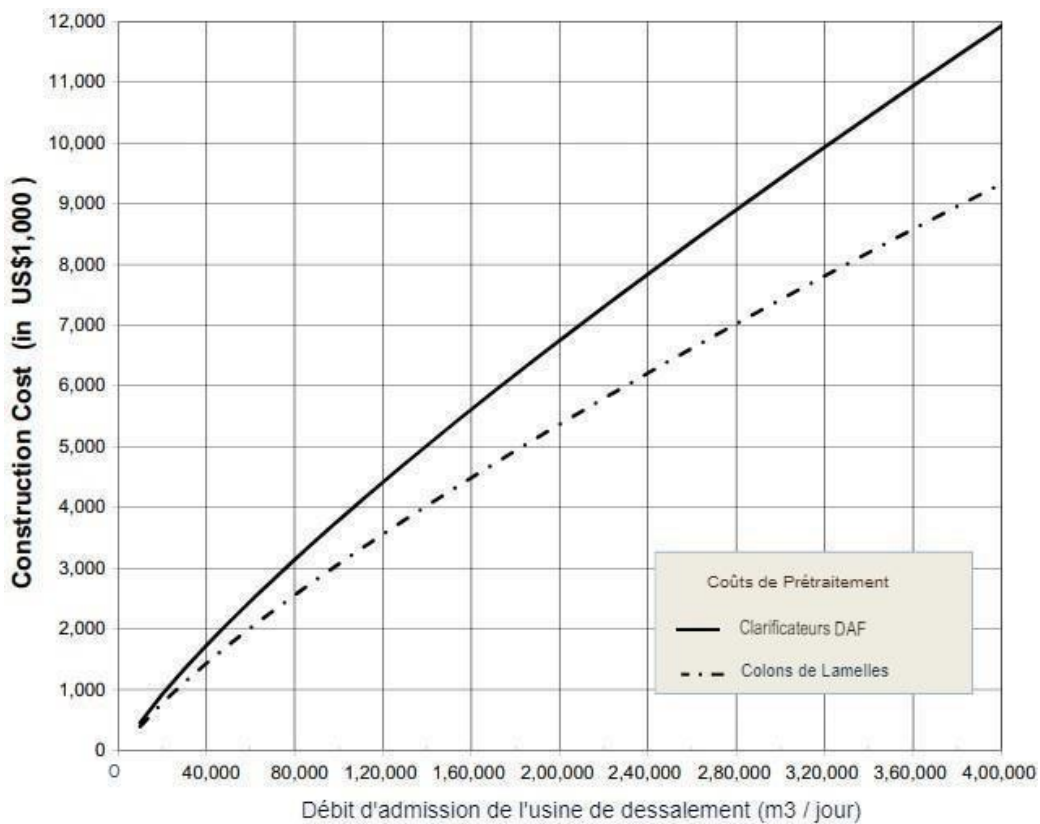


Figure.VI.4. Cout de construction des décanteurs lamellaire et les systèmes DAF [12]

Conclusion

Si l'élimination des MES est le principal objectif de la station d'eau de mer et que l'espace est limité, un décanteur lamellaire peut être une option appropriée en raison de sa simplicité, de sa faible consommation d'énergie et de son encombrement réduit. Cependant, s'il existe un besoin de traiter des matières organiques, des huiles, des graisses ou si on vise une réduction significative de la turbidité et si la prévention du colmatage des membranes OI est la priorité absolue et que l'espace et la consommation d'énergie ne sont pas des contraintes majeures, un système DAF peut être plus approprié en raison de sa capacité à éliminer les particules fines et les matières organiques.

3. Dimensionnement du filtre gravitaire :

L'objectif principal d'un filtre gravitaire est de permettre à l'eau de passer à travers un milieu filtrant pour éliminer les contaminants présents. Ce milieu filtrant peut être composé de divers matériaux, tels que du sable, du charbon actif ou d'autres médias spécifiques, en fonction des besoins de traitement. Le processus de filtration gravitaire est principalement basé sur la gravité, ce qui signifie que l'eau s'écoule à travers le média filtrant sous l'influence de la gravité, sans nécessiter de pompage actif.

Il est essentiel de déterminer le débit d'eau à traiter, c'est-à-dire la quantité d'eau qui passera à travers le filtre chaque heure ou chaque jour, le débit sortant de chaque décanteur alimentera un filtre gravitaire, se débit est égale à $958.7 \text{ m}^3/\text{h}$

3.1. Calcul de la surface de filtration

On peut estimer la surface de filtration requise en divisant le débit quotidien (en litres par jour) par le taux de filtration souhaité (en l/m^2) :

$$\text{Surface de Filtration (m}^2\text{)} = \text{Débit Quotidien (litres/jour)} / \text{Taux de Filtration (l/m}^2\text{)}$$

- **Le taux de filtration d'un filtre gravitaire** : tout comme tout autre type de filtre, dépend de plusieurs facteurs, notamment la conception spécifique du filtre, le type de média filtrant utilisé, la qualité de l'eau et les objectifs de traitement. Cependant, en tant que ligne directrice générale, le taux de filtration pour un filtre gravitaire se situe généralement dans la plage de 12 à 24 litres par minute par mètre carré (lpm/m^2).

En général, pour une eau contenant une concentration relativement élevée de MES comme 200 ppm, on envisage souvent des taux de filtration plus lents pour permettre une élimination efficace des particules. Un taux de filtration plus lent, généralement inférieur à 25 litres par minute par mètre carré (l/m/m²), pourrait être approprié, on la prend 20 l/m/m²

$$\text{Surface de Filtration (m}^2\text{)} = \text{Débit Quotidien (litres/jour)} / \text{Taux de Filtration (l/m/m}^2\text{)}$$

$$\text{Surface de Filtration (m}^2\text{)} = (985.7/24) * 20 = 821.41 \text{ m}^2$$

$$\text{Surface de Filtration (m}^2\text{)} = 821.41 \text{ m}^2$$

3.2. Calcul du volume des médias et profondeur du filtre

Le calcul des médias dans les filtres à sable gravitaires repose principalement sur le volume de sable nécessaire pour remplir le lit de sable du filtre.

La formule de base pour calculer la quantité de médias (sable) nécessaire pour un filtre à sable gravitaire :

$$\text{Volume de sable nécessaire (en mètres cubes)} = \text{Surface du filtre (aire)} \times \text{Profondeur du lit de sable} \times \text{Porosité}$$

1. La surface du filtre (en mètres carrés) est déterminée par les dimensions du filtre à sable, généralement sa longueur et sa largeur.
2. La profondeur du lit de sable (en mètres) est la distance entre la surface supérieure du sable et la base du filtre.
3. La porosité est la proportion de l'espace du lit de sable qui sera occupée par le sable. Elle est généralement exprimée en pourcentage.

Les valeurs de porosité et de profondeur du lit de sable, de gravier et de Filtralite dans un filtre gravitaire peuvent varier en fonction des spécifications du projet, des matériaux utilisés et des besoins de traitement spécifiques. Cependant, voici des estimations générales pour la porosité et la profondeur du lit pour ces matériaux dans un filtre gravitaire :

Sable :

Porosité : La porosité du sable utilisé dans un filtre gravitaire est généralement d'environ 40 % à 45 %. Cela signifie que dans un lit de sable, environ 40 % à 45 % de l'espace est constitué de vides où l'eau peut circuler.

Profondeur du lit : La profondeur du lit de sable dans un filtre gravitaire peut varier en fonction des besoins du traitement, mais elle se situe généralement dans la plage de 0,6 à 1,2 mètres (60 à 120 centimètres) ou plus, selon les spécifications du projet.

Gravier :

Porosité : La porosité du gravier utilisé dans un filtre gravitaire est généralement d'environ 35 % à 45 %, ce qui est légèrement plus bas que celle du sable.

Profondeur du lit : La profondeur du lit de gravier peut également varier en fonction des besoins du traitement, mais elle est généralement similaire à celle du lit de sable, dans la plage de 0,6 à 1,2 mètres (60 à 120 centimètres) ou plus, selon les spécifications du projet.

Filtralite :

Porosité : Les produits Filtralite sont conçus pour avoir une porosité élevée, généralement supérieure à 50 %. Cela signifie qu'ils ont une plus grande capacité à retenir les particules tout en permettant un bon écoulement de l'eau.

Profondeur du lit : La profondeur du lit de Filtralite peut également varier en fonction des besoins du traitement, mais elle est généralement comparable à celle du lit de sable et du lit de gravier, dans la plage de 0,6 à 1,2 mètres (60 à 120 centimètres) ou plus, selon les spécifications du projet.

Avec les données précédentes, on peut avoir une estimation du volume de chaque média comme suit :

Volume sable : entre 197.138 m³ et 443.56 m³

Volume gravier : entre 172.4961 m³ et 443.45 m³

Volume filtralite : entre 246.423 m³ et 492.84 m³

La capacité de traitement d'un filtre est souvent liée à sa taille, et des volumes plus grands de médias permettent généralement de traiter des charges hydrauliques plus élevées, en revanche ses volumes sont considérés relativement grand, Il est également important de prendre en compte les coûts associés à la construction et à l'exploitation de filtres de grande taille, ainsi que l'espace disponible sur le site.

L'installation d'un filtre de cette taille nécessite un espace adéquat sur le site, l'espace réserver pour l'étape de filtration dans la station est : 3100 m² ce qui est insuffisant pour les 8 filtres.

Pour pouvoir dimensionner des filtres de surface plus petite il faudra réduire le taux de filtration ce qui va affecter la qualité de l'eau.

On pourrait aussi opter pour une filtration multicouche ou un compactage du filtre pour assurer une efficacité de filtration en réduisant la surface du filtre.

3.3. Contraintes de conception du filtre gravitaire :

La conception d'un filtre gravitaire pour le traitement de l'eau comporte plusieurs contraintes importantes à prendre en compte. Ces contraintes peuvent varier en fonction des besoins spécifiques de chaque projet, mais voici certaines des contraintes couramment rencontrées lors de la conception d'un filtre gravitaire

1. **Espace Disponible** : L'une des contraintes les plus évidentes est l'espace disponible pour l'installation du filtre. Dans de nombreuses situations, l'espace est limité, ce qui nécessite une conception compacte et efficace.
2. **Topographie du Site** : La topographie du site est un facteur critique. Les filtres gravitaires dépendent de l'écoulement gravitaire de l'eau à travers le média filtrant. Si le terrain est plat ou si la pente naturelle n'est pas suffisante pour permettre un écoulement gravitaire, cela peut rendre la construction d'un filtre gravitaire difficile ou impossible.
3. **Qualité du Sol** : La possibilité de construire un filtre gravitaire dépend en grande partie de la qualité du sol et de la topographie du site. Certains sols très meubles, la présence de roches, les sols marécageux, une topographie encaissée, des sols instables, Il est essentiel d'effectuer des évaluations approfondies du sol, de la topographie et de prendre en compte les réglementations locales pour déterminer la faisabilité de la construction d'un filtre gravitaire sur un site donné.

3.4. Comparaison entre le filtre gravitaire et le filtre pressurisé :

La comparaison entre un filtre gravitaire et un filtre pressurisé réside principalement dans leur mode de fonctionnement, leurs avantages et leurs inconvénients. Voici une comparaison des deux types de filtres :

a. Filtre Gravitaire :

Mode de Fonctionnement : Les filtres gravitaires fonctionnent en utilisant la gravité pour permettre à l'eau brute de s'infiltrer à travers le média filtrant, généralement du sable, pour

éliminer les particules en suspension. L'eau entre dans le haut du filtre et s'écoule lentement vers le bas à travers le lit filtrant.

Avantages :

1. **Faible coût initial** : Les filtres gravitaires sont souvent moins coûteux à construire que les filtres pressurisés.
2. **Faible consommation d'énergie** : Ils ne nécessitent généralement pas de pompes pour l'alimentation en eau.
3. **Maintenance simplifiée** : Le nettoyage et la maintenance des filtres gravitaires sont relativement simples.

Inconvénient :

1. **Débit limité** : Les filtres gravitaires ont généralement un débit limité en raison de la gravité comme seule source d'alimentation en eau.
2. **Encombrement** : Ils occupent plus d'espace que les filtres pressurisés en raison de la nécessité d'une grande surface au sol.

b. Filtre Pressurisé :

Mode de Fonctionnement : Les filtres pressurisés utilisent une pompe pour forcer l'eau brute à travers le média filtrant. L'eau est poussée sous pression à travers le lit filtrant, ce qui permet d'atteindre des débits plus élevés.

Avantages :

1. **Débits élevés** : Les filtres pressurisés sont capables de traiter de grandes quantités d'eau à des débits plus élevés.
2. **Flexibilité de conception** : Ils peuvent être adaptés à des espaces restreints et à des besoins spécifiques en débit.
3. **Possibilité d'automatisation** : Les systèmes de filtration pressurisés peuvent être automatisés pour un fonctionnement continu.

Inconvénients :

1. **Coût initial plus élevé** : La construction et l'installation de filtres pressurisés sont généralement plus coûteuses en raison de la nécessité de pompes et d'équipements associés.
2. **Consommation d'énergie** : Les pompes nécessaires pour alimenter les filtres pressurisés consomment de l'énergie électrique.

Le choix entre un filtre gravitaire et un filtre pressurisé dépend des besoins spécifiques du projet, de la qualité de l'eau brute, de l'espace disponible et du budget. Les filtres gravitaires sont souvent préférés lorsque les débits sont plus faibles, les coûts doivent être réduits, et l'espace n'est pas un problème majeur. Les filtres pressurisés sont privilégiés pour les projets nécessitant des débits élevés, une flexibilité de conception, ou une automatisation avancée. En fin de compte, le choix doit être basé sur une évaluation approfondie des besoins et des contraintes spécifiques du projet de traitement de l'eau.

4. Consommation énergétique du système :

La comparaison entre différents systèmes de prétraitement en fonction de leur consommation d'énergie est essentielle pour déterminer quel système est le plus efficace et le plus économique.

Afin d'estimer la consommation énergétique du nouveau système, nous avons utilisé les données d'une autre usine de dessalement qui produit 300 000 m³/jour avec un système de prétraitement qui se compose d'un dégrilleur automatique ainsi que d'un système DAF et d'un filtre gravitaire.

La consommation d'énergie journalière du nouveau système de prétraitement est de : **0.92 kWh/m³**, ce qui est nettement plus élevé par rapport au système précédent

5. Frais énergétique du système DAF et filtre gravitaire :

Les frais de consommation énergétique du système de prétraitement représentent un élément essentiel dans le processus de dessalement, impactant directement les coûts opérationnels. La gestion optimisée de l'énergie dans cette phase préliminaire revêt une importance capitale pour garantir l'efficacité globale du système de dessalement et réduire les dépenses énergétiques associées.

Selon les tarifs applicables aux clients haute tension de SONALGAZ on a :

- Heures de jour = 7.5h (6 :00 – 22 :30) → prix d'énergie = **428,3 DA/Kwh**
- Heures de nuit = 16.5h (22 :30 - 6 :00) → prix d'énergie = **102,4 DA/Kwh**
- Pour 0.92kWh/m³ on trouve le frais d'énergie égale a :
 - La nuit : **56.524.800,00 DA**
 - Le jour : **520.127.520,00 DA**

Les frais totaux par jour : 576.652.320,00 DA

Conclusion

CONCLUSION

Dans le cadre de notre étude comparative entre deux systèmes de prétraitement de l'eau de la station de dessalement d'eau de mer de CORSO W.BOUMERDES , à savoir le décanteur lamellaire suivi d'un filtre à pression et le système de flottation par air dissous(DAF) suivi d'un filtre gravitaire, nous avons examiné attentivement les avantages et les inconvénients de chaque approche pour le traitement de l'eau brute. Les résultats de notre étude permettent de définir les avantages et inconvénients de chaque processus dans le choix du système de prétraitement le plus approprié pour une application spécifique.

Le décanteur lamellaire associé au filtre à pression offre une très bonne capacité de clarification de l'eau brute en éliminant efficacement les particules et les matières en suspension. Ce système a démontré sa capacité à réduire la turbidité et à améliorer la qualité de l'eau brute. De plus, il est généralement moins sensible aux variations de charge et offre une performance stable dans des conditions opérationnelles normales.

En revanche, le système de flottation par air dissous (DAF) suivi d'un filtre gravitaire présente des avantages distincts. Le DAF est efficace pour l'élimination des matières organiques, des huiles et des graisses, il est particulièrement adapté aux eaux brutes contenant des impuretés de cette nature. Il offre également une bonne efficacité dans la réduction de la turbidité.

Le choix entre un Dispositif de Flottation par Air Dissous (DAF) et un décanteur lamellaire repose sur divers facteurs clés. En général, les DAF sont souvent plus performants pour la clarification de l'eau, en particulier pour l'élimination de particules fines, de matières organiques et d'huiles. Ils s'adaptent également mieux aux fluctuations de la charge hydraulique. Cependant, les décanteurs lamellaires offrent une clarification efficace, mais peuvent être moins efficaces pour les petites particules et les matières organiques. Le DAF offre une efficacité de clarification élevée, atteignant généralement 90% ou plus, tandis que le décanteur lamellaire affiche une bonne efficacité, généralement entre 80% et 90%.

En comparant les coûts d'investissement, les systèmes de flottation par air dissous (DAF) ont généralement un coût initial plus élevé en raison de leur complexité, nécessitant des équipements de mélange d'air et des composants de flottation. En revanche, les décanteurs lamellaires sont généralement plus économiques pour les petits projets en raison de leur conception plus simple et de leur coût initial moins élevé.

BIBLIOGRAPHIES

- [1] Jane Kucera, *Desalination 2nd Edition Water from Water* publié en 2019 par John Wiley & Sons, Inc., 111 River Street, Hoboken, NJ 07030, États-Unis et Scrivener Publishing LLC, 100 Cummings Center, Suite 541J, Beverly, MA 01915, États-Unis © 2019 Scrivener Publishing LLC page (1 -16).
- [2] : *desalination of sea water Manual of Water Supply Practices; American Water Works Association, page 3-7*
- [3] Cardot C, (1999), *Les traitements de l'eau du génie de l'environnement "procédés physico chimiques et biologiques"*, Edition ellipses, Paris.
- [4] Lefebver M Y, (1993), *Comité des techniciens, Circuits eaux de mer : Traitement et Matériau, édition technip, Paris*
- [5] Maurel A, (2007), *Dessalement de l'eau de mer, Technique de l'ingénieur J2700 (11-22).*
- [6] *Mémento technique de l'eau, (1995), L'eau : ses propriétés, Processus élémentaires du génie physico-chimique en traitement de l'eau, Tome 1, Edition de cinquantenaire, Dixième édition, Paris.*
- [7] Desjardins R, (1990), *Le traitement des eaux, Editions de l'école polytechnique de Montréal, 2ème édition, Paris.*
- [8] Marion Chapalain. *Dynamique des matières en suspension en mer côtière : caractérisation, quantification et interactions sédiments/matière organique. Océanographie. Université de Bretagne occidentale - Brest, 2019. Français*
- [9] Heinz Ludwig *Reverse Osmosis Seawater Desalination Volume 2 Planning, Process Design and Engineering – A Manual for Study and Practice*
- [12] NIKOLAY VOUTCHKOV *PRETREATMENT FOR REVERSE OSMOSIS DESALINATION Water Globe Consultants, LLC, Winter Springs, Florida, United States page 95.*
- [13] Jamaly, S., Darwish, N.N., Ahmed, I., Hasan, S.W., 2014. *A short review of reverse osmosis pretreatment technologies. Desalination 354, 30e38. Elsevier*
- [14] Ludwig, H., *Reverse Osmosis Seawater Desalination Volume 1, Springer, 2022*

[15] van der Kooij D., Veenendaal H.R., Baars-Lorist C., van der Klift D.W., Drost Y.C.,
“BIOFILM FORMATION ON SURFACES OF GLASS AND TEFLON EXPOSED TO TREATED
WATER,” *Water Research*, vol. 29, no. 7, pp. 1655 - 1662, 1995.

[16] Chiang PATEL and Yerbi INC, *water works engineering, planning, design and operation*,
prentice hall of India 2002

[17] Wentworth (1922) *grain size classification*

[18] Dupont JP, Guézennec L, Lafite R, Le Hir P et Lesueur P (2001) *Matériaux fins : le
Cheminement des particules en suspension*. Vol 1.2.

Annexe

ANNEXE

Dans le cadre de cette étude, nous avons entrepris une analyse approfondie des systèmes de prétraitement. Afin d'éclairer cette question, nous avons élaboré un tableau comparatif simplifié, synthétisant les caractéristiques et les performances de divers systèmes de prétraitement couramment utilisés. Ce tableau permettra de visualiser rapidement les différences entre ces systèmes, aidant ainsi les chercheurs, les professionnels et les décideurs à prendre des décisions.

<i>Critères d'évaluation</i>	<i>Décanteur lamellaire</i>	<i>Système DAF</i>	<i>Filtre à pression</i>	<i>Filtre gravitaire</i>
Effacité de l'élimination des contaminants	<i>Très bonne</i>	<i>Excellente</i>	<i>Excellente</i>	<i>Très bonne</i>
Coûts d'investissement.	<i>Moins élevés</i>	<i>Elevés</i>	<i>Elevés</i>	<i>Moins élevés</i>
Coûts d'exploitation (y compris l'énergie, la maintenance, les produits chimiques, etc.).	<i>Moins élevés</i>	<i>Elevés</i>	<i>Elevés</i>	<i>Très bas</i>
Consommation d'énergie.	<i>Moyenne</i>	<i>Elevée</i>	<i>Elevée</i>	<i>Faible</i>
Facilité de maintenance et de gestion.	<i>Bonne</i>	<i>Faible</i>	<i>Faible</i>	<i>Très bonne</i>
Fiabilité et disponibilité opérationnelle.	<i>Très bonne</i>	<i>Très bonne</i>	<i>Très bonne</i>	<i>Très bonne</i>