

Remerciement

Louange à Allah, le très miséricordieux, le très clément.

C'est par sa grâce que ce mémoire a pu voir le jour. A lui reviennent les remerciements les plus sincères pour la force qu'il m'a donnée face aux difficultés, pour la patience qu'il a ancrée en moi dans les moments de doute et pour les opportunités qu'il a placées sur mon chemin tout au long de ce parcours.

Je l'implore de m'accorder toujours sagesse, persévérance et sincérité dans chacun de mes pas, et de faire de ce travail une œuvre utile et bénéfique.

Je tiens ensuite à adresser mes remerciements les plus profonds à ma famille, qui a été le pilier de mon existence et la lumière de mes journées.

A mes parents bien-aimés, qu'Allah leur accorde une longue vie en bonne santé et les comble de ses bienfaits : merci pour votre amour inconditionnel, votre patience infinie, vos sacrifices silencieux, et vos prières qui m'ont accompagnée dans chaque étape de ce parcours. C'est dans vos regards que j'ai puisé ma force et c'est dans votre confiance que j'ai trouvé la motivation de continuer, même lorsque les épreuves semblaient insurmontables.

A mes frères, merci pour votre soutien constant, votre écoute, vos encouragements et les moments de réconfort partagés. Vous avez été une source de chaleur et de stabilité dans cette aventure exigeante.

Je tiens également à exprimer ma plus sincère gratitude à l'ingénieur CHEMIRIK Miloud, pour son accompagnement rigoureux et ses conseils judicieux. Grâce à lui les difficultés ont paru moins lourdes et chaque étape a été franchie avec plus de sérénité. Merci d'avoir cru en mon travail, de m'avoir guidée avec bienveillance et d'avoir su éveiller en moi l'esprit critique et la curiosité intellectuelle nécessaires à la construction de ce travail. Ce travail porte aussi l'empreinte de sa générosité et son engagement à mes côtés.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à SADOUNE Samra pour son encadrement bienveillant, sa disponibilité et ses conseils précieux tout au long de ce travail. Son expertise, sa rigueur et son accompagnement ont été déterminants dans l'élaboration de ce mémoire.

Je souhaite dédier une pensée toute particulière à ma chère grand-mère Aïcha, que le destin a rappelée à elle avant qu'elle ne puisse me voir achever ce parcours. Son amour, ses prières, sa tendresse et ses encouragements ont profondément marqué mon cœur et m'ont accompagnée jusqu'ici.

Même absente, elle reste présente dans chacun de mes pas.

Que son âme repose en paix, enveloppée de lumière et de miséricorde.

Je tiens à remercier chaleureusement l'Ecole Nationale Supérieure d'Hydraulique (ENSH) pour la qualité de l'enseignement dispensé, l'encadrement pédagogique et les valeurs transmises tout au long de ma formation.

Je suis fière d'avoir été formée au sein de cette grande école.

Qu'Allah accorde à chacun d'entre vous sa bénédiction et sa récompense et qu'il vous couvre de sa miséricorde ici-bas et dans l'au-delà

ملخص:

يُبرز هذا المذكرة الدور الحيوي للمعالجة الأولية في عملية تحلية مياه البحر، والتي أصبحت ضرورة ملحة في ظل تزايد ندرة الموارد المائية الصالحة للشرب. بعد استعراض مختلف تقنيات التحلية، تناولت الدراسة بشكل مفصل نظم المعالجة الأولية، التي تُعد ضرورية لحماية أغشية التناضح العكسي وضمان استمرارية وأداء محطات التحلية. وقد تم تطبيق هذه الدراسة على محطة تامدة أوفمون الواقعة بولاية تيزي وزو، حيث تم تصميم سلسلة معالجة مناسبة لتحسين جودة المياه الخام قبل دخولها إلى وحدات التحلية. أثبتت النتائج أن هذه السلسلة قادرة على خفض العكارة وتحسين خصائص المياه بشكل يضمن ملائمتها للمعالجة الغشائية، مع تحقيق مستويات تشغيل مستقرة. وتؤكد هذه المعطيات أن المعالجة الأولية تُعد عنصراً أساسياً لضمان فعالية واستدامة مشاريع التحلية

الكلمات المفتاحية:

المعالجة الأولية، تحلية مياه البحر، الترشيح، المياه الصالحة للشرب، محطة تامدة أوفمون

Résumé :

Ce mémoire met en évidence le rôle essentiel du prétraitement dans le processus de dessalement de l'eau de mer, devenu incontournable face à la raréfaction croissante des ressources en eau potable. Après une présentation des principales technologies de dessalement, l'étude analyse en détail les systèmes de prétraitement, indispensables à la protection des membranes et à la continuité du fonctionnement des stations. L'application est centrée sur le site de **Tamda Ouguemoun** (W. Tizi Ouzou), où une filière complète de prétraitement a été dimensionnée pour un débit de **135504 m³/jour**. La chaîne conçue permet de réduire la turbidité de l'eau brute de **3 NTU à moins de 1 NTU**, avec un **SDI inférieur à 5**, assurant une eau adaptée à l'osmose inverse. Le coût d'investissement est estimé à **23.37 millions DA**. Ces résultats confirment que le prétraitement constitue un pilier central de la fiabilité et de la durabilité des systèmes de dessalement.

Mots-clés : Prétraitement, Dessalement de l'eau de mer, Filtration, Eau Potable, Station de Tamda Ouguemoun.

Abstract:

This thesis highlights the essential role of pretreatment in the seawater desalination process, which has become crucial due to the growing scarcity of potable water resources. After presenting the main desalination technologies, the study provides a detailed analysis of pretreatment systems, which are vital for membrane protection and the continuous operation of desalination plants. The practical application focuses on the **Tamda Ouguemoun** site (Tizi Ouzou Province), where a complete pretreatment line was designed for a flow rate of **135,504 m³/day**. The designed system reduces the raw water turbidity from **3 NTU** to less than **1 NTU**, with a **Silt Density Index (SDI)** below 5, ensuring water suitable for reverse osmosis. The investment cost is estimated at **23.37 million Algerian dinars (DZD)**. These results confirm that pretreatment is a key pillar in ensuring the reliability and sustainability of desalination systems.

Keywords: Pretreatment, Seawater Desalination, Filtration, Drinking Water, Tamda Ouguemoun Plant.

Table des matières

INTRODUCTION GENERALE	1
Chapitre I :	2
Dessalement des eaux de mer et des eaux saumâtres	2
I.1 Introduction :	3
I.2 L'aperçu historique :	3
I.3 La qualité des eaux :	3
I.3.1 La salinité :	4
I.3.2 La température :	4
I.3.3 La teneur en matières en suspension :	5
I.4 La disposition typique :	5
I.4.1 L'alimentation en eau de mer :	5
I.4.2 Le prétraitement :	6
I.4.3 Le dessalement :	6
I.4.4 Le post-traitement :	7
I.5 Les différentes méthodes de dessalement :	7
I.6 Les principales techniques de dessalement :	8
I.6.1 La distillation :	8
I.6.2 La congélation :	9
I.6.3 L'osmose inverse (OI) :	9
I.6.4 L'électrodialyse :	10
I.7 La consommation énergétique des procédés de dessalement :	10
I.8 L'impact environnementaux et la durabilité :	11
I.9 Les défis techniques liés au dessalement :	11
I.10 Conclusion :	11
Chapitre II :	13
Les différents systèmes de prétraitement de dessalement des eaux de mers	13
II.1 Introduction :	14
II.2 Le rôle de prétraitement :	14
II.3 Les types de polluants présents dans l'eau de mer :	14
II.4 Les différents systèmes de prétraitement :	15

Table des Matières

II.4.1 Prise d'eau de mer :	15
II.4.2 Désinfection :	15
II.4.3 Traitement préliminaire :	16
II.4.4 Techniques physico-chimiques du traitement de l'eau :	19
II.4.5 Séparation des solides :	20
II.5 Conclusion.....	23
.....	13
Chapitre III :	13
Présentation de la zone D'étude	13
III.1 Introduction :	14
III.2 : La localisation de la station de dessalement.....	14
III.2.1 : La situation géographique.....	14
III.3 : La climatologie de la région	15
III.4 : Prélèvement et étude physico-chimique et biologique	15
□ Objectifs de l'étude.....	16
□ Paramètres mesurés	16
III.5 : Mesure IN-SITU des paramètres physico-chimiques.....	18
III.6 : Discussion et interprétation des résultats des mesures in-situ	18
III.7 : Méthodologie d'analyse pour la matrice eau de mer.....	19
III.7.1 : Résultats et interprétations des paramètres physico-chimiques	19
III.7.2 : Interprétations	23
III.8 : Synthèse des résultats d'analyse	23
III.9 : Conclusion.....	24
Chapitre IV :	27
Le dimensionnement de prétraitement de la station de dessalement Tamda Ouguemoun.....	27
INTRODUCTION	28
IV.1 : Les analyses de l'eau brute.....	28
IV.2 : Note de calcul gravitaire	28
IV.2.1 : Les formules utilisées	29
□ Ecoulement laminaire ($Re < 2000$).....	31
IV.3 : Le dimensionnement des unités de prétraitement	32
IV.3.1 : Le traitement préliminaire	32
IV.3.1.1 : Le système de dégrillage	32

Table des Matières

IV.3.1.2 : Contraintes de conception d'un dégrilleur grossier automatique	34
IV.3.1.3 : La maintenance du dégrilleur automatique	34
IV.3.1.4 : Tamis fin.....	35
IV.3.2 : Le traitement physico chimique	35
IV.3.2.1 : Le mélangeur statique de coagulation	35
IV.3.2.1.1 : La vérification de nombre de Reynolds.....	35
IV.3.2.1.2 : Le dosage de coagulant.....	35
IV.3.2.1.3 : La maintenance des mélangeurs statiques de la coagulation.....	36
IV.3.2.2 : Le dimensionnement du système de floculation.....	37
IV.3.2.2.1 : Volume de bassin de floculation	37
IV.3.2.2.2 : Les dimensions du bassin de floculation	37
IV.3.2.2.3 : L'agitation	37
IV.3.2.2.4 : Le calcul hydraulique des pertes à travers le déversoir de sortie de bassin de floculation	39
IV.3.2.2.5 : Le calcul hydraulique des pertes par l'ouverture de bassin de floculation....	40
IV.3.2.2.6 : Le calcul hydraulique des pertes à travers le déversoir d'entrée de bassin de floculation	41
IV.3.2.2.7 : La maintenance des bassins de floculation.....	41
IV.3.2.3 : Contraintes de conception d'un système de coagulation-floculation	42
IV.3.2.4 : Le décanteur lamellaire	42
IV.3.2.4.1 : Les caractéristiques de décanteur lamellaire	42
IV.3.2.4.5 : Calcul des pertes à travers le bassin de décantation	44
IV.3.2.4.6 : La maintenance de décanteur lamellaire	46
IV.3.2.4.7 : Contraintes de conception de décanteur lamellaire	47
IV.3.2.4.6 : Le filtre à sable	47
IV.3.2.4.6.1 : Les médias filtrants.....	48
IV.3.2.4.6. : Calcul des pertes de charge de filtre à sable	49
IV.3.2.4.6.1 : Lavage des filtres.....	50
IV.3.2.4.7 : Le réservoir d'eau filtrée	50
IV.3.2.4.7.1: Calcul des pertes par l'ouverture réservoir d'eau filtrée	50
IV.3.2.4.7 : Le filtre à cartouche.....	51
IV.3.2.4.7.1 : Le rôle de la microfiltration.....	51
IV.3.2.4.7.2 : Description et fonctionnement du procédé	51
IV.3.2.4.7.3 : Instructions essentielles pour l'installation.....	51

Table des Matières

IV.3.2.4.7.4 : Calcul de filtre à cartouche	52
IV.3.2.4.7.5 : La maintenance de filtre à cartouche	52
CONCLUSION	53
Chapitre V :	54
Les couts d'investissements de prétraitement	
V.1 : Introduction	55
V.2 : L'estimation des coûts d'investissement de la chaîne de prétraitement.....	55
V.2.1 : Estimation des couts des équipements de traitement primaire	56
V.2.2 : Coagulation – Flocculation.....	56
V.2.3 : La décantation lamellaire	56
V.2.4 : La filtration	57
V.2.5 : Pompes et systèmes de transfert	57
V.2.6 : Les réservoirs	57
V.2.7 : Tuyauteries et vannes.....	57
V.2.8 : Instrumentation et automatisation.....	58
V.2.9 : Génie civil et aménagements	58
V.3 : L'estimation des coûts totaux	59
V.4 : Conclusion.....	60
Chapitre VI :	61
Performance, optimisation et perspectives du prétraitement	61
VI.1 Introduction :	62
VI.2 Influence sur la durée de vie des membranes et la performance.....	62
VI.3. Problèmes rencontrés de prétraitement :	63
VI.4 Solutions techniques :.....	64
VI.5 Recommandation pour l'optimisation	65
1. Renforcement de la surveillance en temps réel.....	65
2. Automatisation des opérations de prétraitement.....	65
3. Amélioration de l'efficacité des systèmes de filtration.....	65
VI.6 Perspectives :	66
VI.7 Conclusion :	66

Liste des figures

Figure I.1 : Schéma général d'une installation de dessalement

Figure I.2 : Schéma des principales technologies de dessalement

Figure I.3 : Principe de la distillation

Figure I.4 : Schéma de l'osmose inverse

Figure I.5 : Principe de l'électrodialyse

Figure II.1 : Les différents processus de dessalement des eaux de mer

Figure II.2 : Dégrilleur à barres grossières

Figure II.3 : Tamis rotatif

Figure II.4 : Tamis à bande

Figure II.5 : Tamis en tambour

Figure II.6 : Les bassins de décantation

Figure II.7 : Le décanteur lamellaire

Figure III.1 : Vue Satellitaire sur la station de dessalement Tamda Ouguemoun

Figure III.2 : La carte de localisation géographique des stations de prélèvements

Figure III.3 : Concentrations des solides en suspension (TSS)

Figure III.4 : Concentrations des solides dissous totaux (TDS)

Figure III.5 : Concentrations de la demande biologique en oxygène (DBO5)

Figure III.6 : Concentrations de la demande chimique en oxygène (DCO)

Figure III.7 : Concentrations des sels nutritifs

Figure III.8 : Concentrations de dioxyde de carbone, des carbonates, des bicarbonates et la dureté

Figure III.9 : Concentrations des huiles et graisses

Figure III.10 : Concentrations des hydrocarbures totaux

Liste Des Tableaux

Tableau I.1 : La comparaison des besoins énergétiques des principales technologies

Tableau II.1 : Comparaison entre le chlore et dioxyde de chlore

Tableau III.1 : Les coordonnées géographiques et la profondeur des stations de prélèvements d'eau de mer

Tableau III.2 : Mesure in-situ au niveau des trois stations

Tableau III.3 : Tableau récapitulatif des résultats et implications sur le prétraitement

Tableau IV.1 : La composition de l'eau brute (l'eau de mer)

Tableau IV.2 : Les paramètres et les résultats obtenus du système de dégrillage

Tableau IV.3 : Les spécifications de tamis fin

Tableau IV.4 : Les différentes spécifications de mélangeur statique

Tableau IV.5 : Constante d'agitation selon le type d'agitateur

Tableau IV.6 : Les différentes spécifications du bassin de floculation

Tableau IV.7 : Les différents calculs obtenus des pertes à travers le déversoir de sortie de bassin de floculation

Tableau IV.8 : Les résultats obtenus lors de calculs des pertes par l'ouverture de bassin de floculation

Tableau IV.9 : Les résultats de calculs des pertes à travers le déversoir d'entrée de bassin de floculation

Tableau IV.10 : Les différents calculs obtenus de dimensionnement de décanteur lamellaire

Tableau IV.11 : Résultats obtenus de la hauteur de l'ouverture de canal du déversoir de sortie

Tableau IV.12 : Les résultats obtenus des pertes à travers le déversoir triangulaire de sortie d'un décanteur

Tableau IV.13 : Les résultats de calculs de niveau à l'intérieur du réservoir de clarificateur lamellaire

Tableau IV.14 : Les résultats de calcul des pertes par l'ouverture d'entrée de clarificateur

Tableau IV.15 : Le dimensionnement de filtre à sable

Liste des planches

Tableau IV.16 : Média filtrant de la couche supérieure (Filtralite) 0.8-1.6mm

Tableau IV.17 : Média filtrant de la couche inférieure (Sable quartzique) 0.4-0.8mm

Tableau IV.18 : Média de support (Gravier) 2-3.15mm

Tableau IV.19 : Les pertes de charge de filtre à sable

Tableau IV.20 : Le dimensionnement de réservoir d'eau filtrée

Tableau IV.21 : Calcul des pertes par l'ouverture réservoir d'eau filtrée

Tableau IV.22 : Calcul de filtre à cartouche

TableauV.1 : Estimation des coûts des équipements de traitement primaire

TableauV.2 : Estimation des coûts des équipements de coagulation floculation

TableauV.3 : Estimation des coûts des équipements de décantation lamellaire

TableauV.4 : Estimation des coûts des équipements de la filtration

TableauV.5 : Estimation des coûts des pompes et systèmes de transfert

TableauV.6 : Estimation des coûts des réservoirs et tamponnage

TableauV.7 : Estimation des coûts de tuyauteries et vannes

TableauV.8 : Estimation des coûts d'Instrumentation et automatisation

TableauV.9 : Estimation des coûts de génie civil et aménagement

Tableau V.10 : Estimation des coûts des équipements de prétraitement

Tableau VI.1 : La comparaison entre l'influence d'un prétraitement optimal et un prétraitement insuffisant

Tableau VI.2 : Types d'encrassement rencontrés

Tableau VI.3 : Les différents solutions techniques

Tableau VI.3 : Les différents solutions techniques

Liste des planches

- La tour de prise
- Le PFD détaillé de la station
- Les ouvrages détaillés de prétraitement de la station
- L'ouvrage de bassin de captage de la station

Nomenclature:

MSF: Multi Stage Flash

VTE: Vertical Tube Evaporator

HTE: Horizontal Tube Evaporator

VC : Compression Vapeur

OI : Osmose Inverse

ED: Electro-dialyse

TDS: Total Dissolved Solids

MES : Matière En Suspension

SDI : Silt Density Index MF : Micro Filtration

UF : Ultra Filtration

NF : Nano Filtration

MFI: Modified Fouling Index

ERI: Energy Recovery Index

PRFV : Plastique Renforcé de Fibre de Verre

INTRODUCTION GENERALE

L'accès à l'eau potable représente un défi majeur à l'échelle mondiale, particulièrement dans les régions soumises à un stress hydrique croissant. En Algérie, la pression exercée sur les ressources hydriques conventionnelles (nappes phréatiques, barrages, eaux superficielles s'accroît, surtout dans les zones côtières densément peuplées. Dans ce contexte, le dessalement de l'eau de mer apparaît comme une solution alternative stratégique pour assurer un approvisionnement durable en eau potable.

La région de **Tamda Ouguemoun**, dans la wilaya de Tizi Ouzou, a été choisie pour accueillir une future station de dessalement destinée à renforcer l'alimentation en eau de la population locale. Pour garantir la performance et la durabilité de cette station, le **prétraitement de l'eau brute** constitue une étape indispensable, visant à éliminer les impuretés physiques, chimiques et biologiques susceptibles d'endommager les membranes d'osmose inverse et de réduire leur durée de vie.

Le présent mémoire a pour objectif principal **d'étudier et de dimensionner la chaîne de prétraitement** de cette station, en prenant en compte les caractéristiques spécifiques de l'eau de mer locale et les contraintes techniques du site. Il s'articule autour des chapitres suivants :

1. **Chapitre I** : généralités sur le dessalement de l'eau de mer, technologies utilisées, enjeux énergétiques, économiques et environnementaux.
2. **Chapitre II** : étude des systèmes de prétraitement, identification des polluants et analyse de l'efficacité des différentes étapes.
3. **Chapitre III** : présentation de la zone d'étude, conditions géographiques, climatiques et qualité des eaux de Tamda Ouguemoun.
4. **Chapitre IV** : dimensionnement technique de la filière de prétraitement adaptée au site et aux paramètres physico-chimiques relevés.
5. **Chapitre V** : estimation des coûts d'investissement liés aux équipements et infrastructures du prétraitement.
6. **Chapitre VI** : analyse de la performance, optimisation et perspectives pour le prétraitement de la station.

Ce travail propose ainsi une solution technique **efficace, économiquement viable et adaptée au contexte local**, contribuant à la durabilité du projet et à la sécurité de l'approvisionnement en eau potable pour la région.

Chapitre I :

Dessalement des eaux de mers et des eaux saumâtres

I.1 Introduction :

Dans ce chapitre, nous présentons les principes fondamentaux du dessalement des eaux de mer et des eaux saumâtres, afin de situer cette technologie dans le contexte mondial et national de gestion de l'eau. L'objectif est de :

Retracer brièvement l'évolution historique du dessalement et son importance croissante en Algérie, examiner les caractéristiques de l'eau brute (salinité, température, matières en suspension) et leur influence sur le dimensionnement des installations, décrire les principales étapes d'une station de dessalement (prise d'eau, prétraitement, dessalement, post-traitement),

Analyser les procédés existants (thermiques, membranaires, chimiques) avec un accent particulier sur l'osmose inverse, technologie la plus répandue, mettre en évidence la consommation énergétique, les impacts environnementaux et les défis techniques associés à ces procédés.

Ainsi, ce chapitre constitue une base de compréhension générale qui permet de souligner le rôle déterminant du prétraitement dans la réussite et la durabilité de la station de dessalement de Tamda Ouguemoun.

I.2 L'aperçu historique :

L'histoire du dessalement remonte à l'Antiquité, où des procédés rudimentaires de distillation étaient déjà utilisés pour rendre l'eau de mer potable (El-Dessouky & Ettouney, 2002). Au XIX^e siècle, des avancées notables apparaissent, notamment avec la réalisation en 1872 d'un dispositif expérimental de dessalement solaire au Chili, considéré comme l'une des premières applications des énergies renouvelables dans ce domaine (Gude, 2016). Cette période marque également le développement des premières unités industrielles basées sur l'évaporation multi-effets (MED) (El-Dessouky & Ettouney, 2002). Entre les années 1950 et 1980, plusieurs innovations majeures voient le jour : l'électrodialyse pour les eaux saumâtres (1954), la distillation flash multi-étages MSF (1957) et la promotion du MED à basse température (1975) (Qiblawey & Banat, 2008). À partir des années 1980, l'osmose inverse (OI) devient la technologie dominante grâce à sa faible consommation énergétique, sa modularité et les progrès réalisés dans la fabrication des membranes (Ghaffour et al., 2013). En Algérie, le dessalement s'impose depuis les années 2000 comme une réponse stratégique au stress hydrique. Plusieurs stations de grande capacité, comme celles de Hamma, Skikda ou Tamda Ouguemoun, sont construites le long du littoral, portant la capacité nationale à plus de 2,3 millions de m³/j (ANBT, 2023 ; Ghaffour et al., 2013). Cette évolution a entraîné une transformation des besoins en prétraitement, avec l'introduction d'étapes avancées comme la coagulation-floculation, la microfiltration ou l'ultrafiltration, indispensables à la protection des membranes d'osmose inverse (Amy, 2008 ; Voutchkov, 2018).

I.3 La qualité des eaux :

La qualité physico-chimique de l'eau brute est un facteur déterminant dans la conception des filières de prétraitement des stations de dessalement. En effet, les impuretés présentes dans

l'eau, telles que les particules en suspension, les matières organiques ou les micro-organismes, peuvent entraîner le colmatage ou l'entartrage des membranes, réduisant ainsi leur efficacité et augmentant les besoins en entretien (Voutchkov, 2018). À **Tamda Ouguemoun**, les mesures effectuées indiquent une **salinité de 38 g/L** et une **turbidité de 3 NTU**, des valeurs qui nécessitent la mise en place d'un prétraitement robuste et bien dimensionné. Ces données orientent le choix des étapes de traitement en amont, telles que la coagulation-floculation et la filtration, indispensables pour garantir une qualité d'eau compatible avec les exigences de l'osmose inverse. Ainsi, adapter le prétraitement aux caractéristiques locales de l'eau est essentiel pour assurer la performance, la fiabilité et la durabilité de l'ensemble du système (Ghaffour et al., 2013).

I.3.1 La salinité :

La salinité est le paramètre fondamental caractérisant l'eau de mer. Elle correspond à la teneur globale en sels dissous, principalement constituée de chlorure de sodium, chlorure de magnésium, sulfates et carbonates. La salinité moyenne des océans est de $35 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$, dont environ $27,2 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ de NaCl, $3,8 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ de MgCl_2 , $1,7 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ de MgSO_4 , $1,26 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ de CaSO_4 et $0,86 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ de K_2SO_4 (El-Dessouky & Ettouney, 2002).

Cependant, ces valeurs varient selon les mers :

- **Mer Méditerranée** : 36 à $39 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$
- **Mer Rouge** : environ $40 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$
- **Mer Caspienne** : $13 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$
- **Mer Morte** : $270 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$
- **Golfe Arabo-Persique** : 36 à $39 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$

Pour la zone de **Tamda Ouguemoun**, les mesures réalisées confirment une salinité moyenne de **36,8 ‰**, cohérente avec les normes méditerranéennes. Cette valeur est critique pour le dimensionnement des membranes et pour anticiper le risque d'entartrage, notamment par les sels de calcium, magnésium et sulfates.

Le **pH** moyen des eaux marines varie entre 7,5 et 8,4, traduisant un milieu légèrement basique, ce qui influe sur la solubilité des carbonates et, par conséquent, sur la conception du système d'anti-scalant (Voutchkov, 2018).

I.3.2 La température :

La température de l'eau de mer oscille selon la saison et la localisation géographique. En zone méditerranéenne, elle varie généralement entre **15 °C en hiver** et **28 °C en été**, avec des valeurs maximales pouvant atteindre **35 °C dans les zones arides**. Une température élevée réduit la viscosité de l'eau, améliorant la perméabilité membranaire, mais accroît le risque de prolifération biologique. En revanche, elle a un effet limité sur les procédés thermiques, car la chaleur latente d'évaporation demeure élevée.

Pour le site étudié, la température observée lors des prélèvements est d'environ **23,5 °C**, ce qui est favorable au fonctionnement de l'osmose inverse mais impose une vigilance vis-à-vis du biofouling (Amy, 2008).

I.3.3 La teneur en matières en suspension :

Le milieu marin présente une variabilité importante des matières en suspension (MES), incluant minéraux, sédiments, plancton et particules organiques. Ces concentrations dépendent des courants, de la bathymétrie, et de la proximité des côtes. À Tamda Ouguemoun, la turbidité mesurée varie entre 2,05 et 2,47 NTU, indiquant une eau relativement claire mais nécessitant un prétraitement performant pour prévenir le colmatage membranaire.

Les MES sont amplifiées par les rejets urbains et industriels, ou encore les épisodes pluvieux provoquant des apports terrigènes. Une conception optimale des prises d'eau et l'intégration d'étapes de prétraitement comme la coagulation-floculation suivie d'une microfiltration ou ultrafiltration sont indispensables (Voutchkov, 2018).

Pour les procédés thermiques, l'impact des MES est moindre : une simple filtration grossière peut suffire à protéger les échangeurs. Toutefois, pour l'OI, les spécifications de l'American Water Works Association (AWWA) imposent un SDI (Silt Density Index) < 5 pour minimiser les risques de colmatage.

I.4 La disposition typique :

Une station de dessalement se compose généralement de quatre étapes principales :

- Le pompage de l'eau de mer
- Le prétraitement
- Le dessalement proprement dit
- Le post-traitement et la distribution

Ces étapes sont schématisées ci-après :

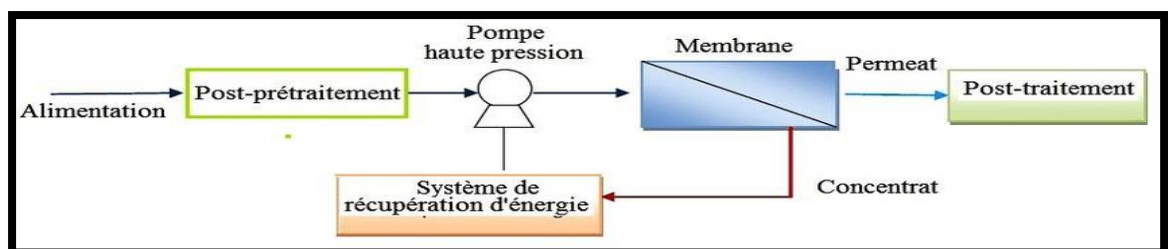


Figure I.1 : Schéma général d'une installation de dessalement (Voutchkov, 2018)

I.4.1 L'alimentation en eau de mer :

L'approvisionnement en eau de mer peut être réalisé selon deux approches :

1. Prise directe en mer (prise ouverte) : L'eau est captée via une conduite immergée reliée à des têtes de prise et acheminée vers la station par des conduites sous-marines et terrestres.
2. Captage par puits côtiers : Cette méthode présente l'avantage de fournir une eau naturellement filtrée par le sable, réduisant ainsi la turbidité et les besoins en prétraitement (Ghaffour et al., 2013).

Le choix entre ces deux méthodes dépend de la qualité initiale de l'eau, des conditions géologiques et de la protection contre les pollutions. Il est crucial de positionner les têtes de prise en zones éloignées des sources de pollution et des zones sableuses afin de limiter l'aspiration des débris, planctons et sédiments.

I.4.2 Le prétraitement :

Le prétraitement est une étape essentielle pour protéger les membranes contre le colmatage (fouling) et l'entartrage (scaling). Une eau insuffisamment traitée entraîne des pertes de rendement, une augmentation de la pression transmembranaire et une réduction de la durée de vie des membranes (Voutchkov, 2018).

Les principales opérations incluent :

- Chloration : pour limiter la prolifération biologique et protéger les conduites contre les dépôts organiques.
- Filtration : pour éliminer les matières en suspension (sable, plancton) et réduire la turbidité (< 1 NTU pour l'osmose inverse).
- Ajout d'antitartres : afin de prévenir la précipitation des sels de calcium, magnésium et silice, responsables du scaling sur les membranes.

Dans le cadre du projet **Tamda Ouguemoun**, un dimensionnement optimal de cette filière est indispensable pour maintenir l'indice SDI (Silt Density Index) inférieur à 5, conformément aux normes internationales (AWWA, 2016).

I.4.3 Le dessalement :

Une installation de dessalement regroupe :

- Une station de pompage pour alimenter l'usine.
- Les unités de prétraitement (clarification, filtration, dosage chimique).
- Les modules membranaires (osmose inverse) ou unités thermiques.
- Un système d'évacuation des saumures, conçu pour limiter l'impact environnemental (diffuseurs sous-marins).
- Une unité de reminéralisation si l'eau est destinée à la consommation humaine.

Dans le cas étudié, l'osmose inverse (OI) est retenue, car elle est la technologie la plus adaptée en Méditerranée pour des capacités moyennes à élevées et une salinité de 36–39 g/L.

I.4.4 Le post-traitement :

L'eau issue de l'osmose inverse est quasi déminéralisée, ce qui la rend corrosive pour les conduites et les équipements. Deux opérations principales sont nécessaires :

1. Correction de la corrosivité (reminéralisation) : par ajout de Ca(OH)_2 ou de CaCO_3 pour stabiliser l'eau et garantir une dureté minimale.
2. Désinfection finale : par chloration ou irradiation UV pour éliminer tout risque microbiologique avant la distribution (Amy, 2008).

I.5 Les différentes méthodes de dessalement :

Les procédés de dessalement se classent en trois catégories principales :

- Méthodes thermiques (changement d'état)
 - Distillation multi-effets (MED)
 - Distillation flash à plusieurs étages (MSF)
 - Congélation (peu utilisée)
- Méthodes membranaires (perméation sélective)
 - Osmose inverse (OI)
 - Électrodialyse (ED)
- Méthodes chimiques
 - Échange d'ions
 - Extraction par solvant

Aujourd'hui, l'osmose inverse et la distillation multi-effets dominent le marché mondial du dessalement, en raison de leur efficacité et de leur fiabilité. Les autres procédés restent marginaux en raison de leur coût énergétique élevé et de contraintes techniques (Ghaffour et al., 2013).

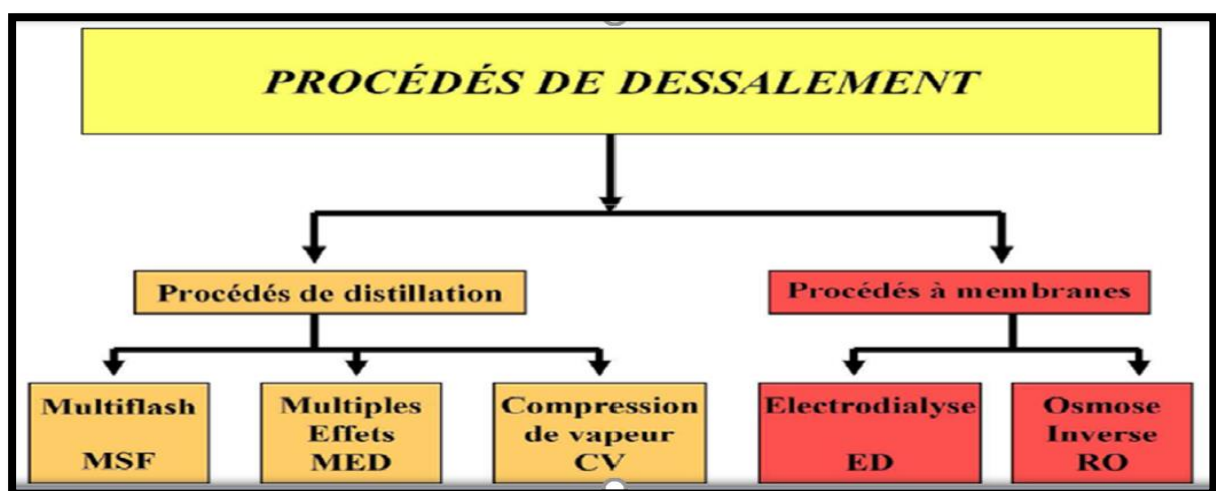


Figure I.2 : Schéma des principales technologies de dessalement (Ghaffour et al., 2013)

I.6 Les principales techniques de dessalement :

Le dessalement de l'eau de mer repose sur plusieurs procédés regroupés en quatre catégories : distillation, congélation, procédés membranaires (osmose inverse, électrodialyse) et procédés chimiques. Chaque technique présente des caractéristiques spécifiques influençant son domaine d'application, son coût énergétique et ses exigences en prétraitement.

I.6.1 La distillation :

La distillation est l'une des plus anciennes techniques de dessalement. Elle reproduit le cycle naturel de l'évaporation-condensation en milieu industriel : l'eau de mer est chauffée jusqu'à évaporation, puis la vapeur produite (exempte de sels) est condensée pour obtenir de l'eau douce (El-Dessouky & Ettouney, 2002).

L'inconvénient majeur réside dans sa consommation énergétique élevée, due à la chaleur latente de vaporisation ($\approx 2250 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ sous pression atmosphérique). Pour améliorer son rendement, des procédés multi-effets (MED) et multi-étages flash (MSF) ont été développés, permettant de récupérer une partie de l'énergie libérée lors de la condensation (Ghaffour et al., 2013).

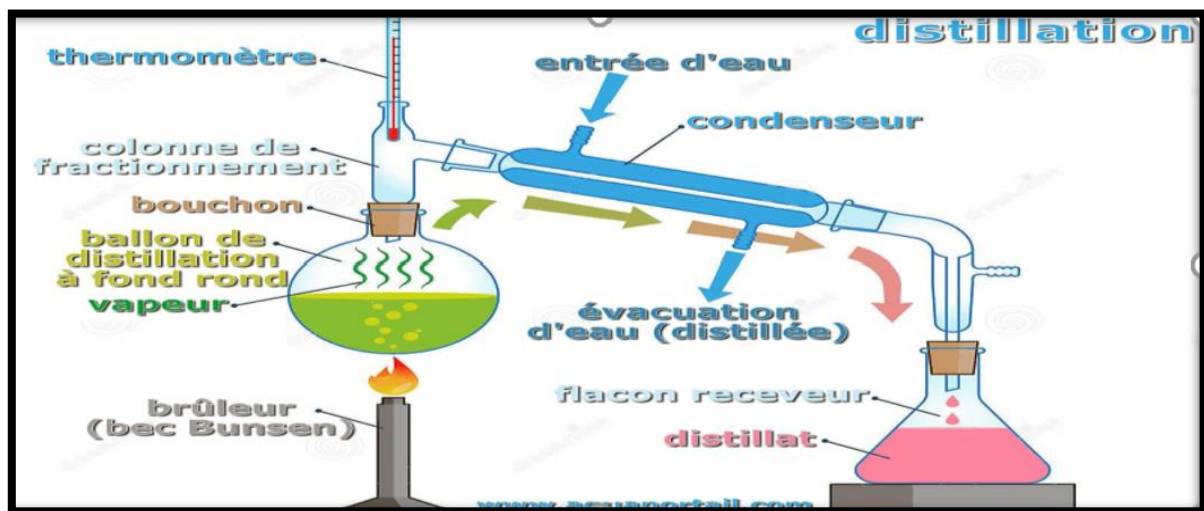


Figure I.3 : Principe de la distillation (Ghaffour et al., 2013).

➤ Types de distillation :

- Distillation à simple effet
- Distillation multi-effets (MED)
- Distillation par détente (MSF)
- Distillation par compression de vapeur (MVC)

Bien que performants, ces procédés sont moins compétitifs pour les petites et moyennes capacités comme Tamda Ouguemoun, en raison de leur coût énergétique et de leur complexité.

I.6.2 La congélation :

Le dessalement par congélation consiste à former de la glace à partir de l'eau de mer, puis à la fondre pour obtenir de l'eau douce (Foster, 1964). Ce procédé, bien que théoriquement moins énergivore que la distillation, est complexe, coûteux et peu industrialisé. Il présente également des difficultés liées à la précipitation de certains sels à basse température. En Algérie, cette technique n'est pas utilisée, car elle n'est pas adaptée au climat méditerranéen ni aux contraintes économiques et techniques locales (Ghaffour et al., 2013 ; Voutchkov, 2018).

I.6.3 L'osmose inverse (OI) :

L'osmose inverse (OI) est une technique de dessalement qui utilise une pression supérieure à la pression osmotique pour faire passer l'eau salée à travers une membrane semi-perméable, retenant ainsi les sels et contaminants. Ce procédé, moins énergivore que les méthodes thermiques, est adaptable à différentes tailles d'installations. Cependant, les membranes sont sensibles au colmatage, au biofouling et au dépôt minéral, ce qui nécessite un prétraitement efficace pour maintenir un SDI inférieur à 5 et une turbidité inférieure à 1 NTU. Le remplacement régulier des membranes est également nécessaire pour assurer la performance (Voutchkov, 2018).

Points clés :

- Pression appliquée > pression osmotique pour séparer l'eau douce.
- Faible consommation énergétique.
- Sensibilité des membranes au colmatage.
- Prétraitement indispensable (SDI < 5, turbidité < 1 NTU).
- Remplacement périodique des membranes.

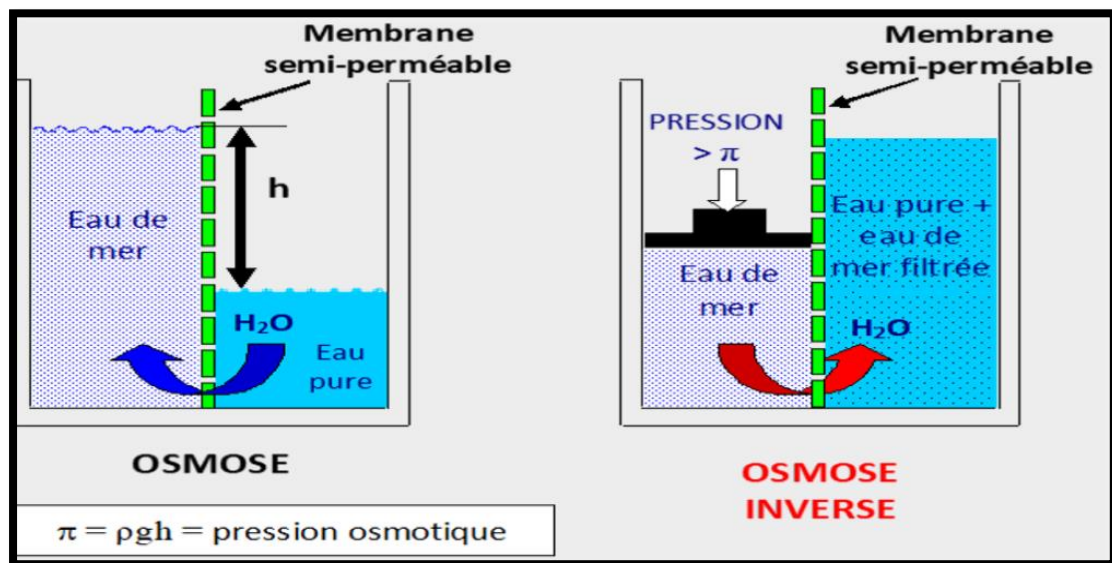


Figure I.4 : Schéma de l'osmose inverse (Strathmann, 2010).

I.6.4 L'électrodialyse :

L'électrodialyse (ED) est un procédé électrochimique efficace pour le traitement des eaux faiblement à modérément salées, grâce à son excellente sélectivité ionique et sa faible consommation énergétique dans ces conditions. Cependant, en raison de ses coûts élevés, de ses performances limitées pour des eaux très salines (salinité > 10 g/L) et de l'usure rapide des membranes, cette technologie n'est pas utilisée en Algérie, où les besoins concernent principalement le dessalement d'eau de mer très salée (Strathmann, 2010).

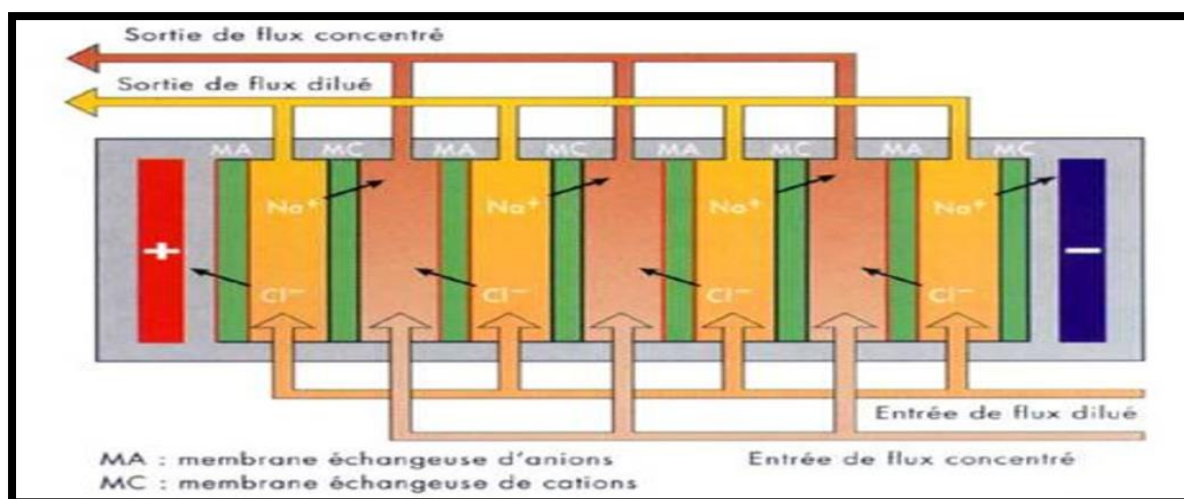


Figure I.5 : Principe de l'électrodialyse (Strathmann, 2010).

I.7 La consommation énergétique des procédés de dessalement :

La consommation énergétique varie considérablement selon la technologie de dessalement utilisée. L'osmose inverse (OI), actuellement la plus répandue, présente une consommation moyenne d'environ **3 kWh/m³**, bien inférieure à celle des procédés thermiques comme la distillation multi-effets (MED) ou la détente flash multi-étages (MSF), qui peuvent atteindre 8 à 12 kWh/m³ (Voutchkov, 2018).

Ces valeurs dépendent également de la température, de la salinité de l'eau d'alimentation, ainsi que de l'efficacité du prétraitement, qui influence directement la durée de vie des membranes et la stabilité du rendement énergétique (Ghaffour et al., 2013). En effet, un prétraitement insuffisant peut entraîner des colmatages fréquents, une surconsommation d'énergie et des interruptions de service, augmentant ainsi les coûts d'exploitation.

Tableau I.1 : La comparaison des besoins énergétiques des principales technologies (Voutchkov, N. (2018))

Technologie	Consommation énergétique moyenne	Coût estimé par m ³ produit*
Osmose Inverse (OI)	≈ 3 kWh/m ³	0,5 – 0,9 USD/m ³
MED (distillation)	8 – 10 kWh/m ³	1,5 – 2,5 USD/m ³
MSF (détente flash)	10 – 12 kWh/m ³	2,0 – 3,0 USD/m ³

I.8 L'impact environnementaux et la durabilité :

Selon l'ONU (2020), les usines de dessalement génèrent environ 95 millions de m³ d'eau douce par jour, avec des rejets de saumure atteignant jusqu'au double de ce volume. Ces rejets, riches en sel et en produits chimiques, ont des effets notables sur les écosystèmes côtiers, en particulier en Méditerranée, une mer semi-fermée à faible renouvellement.

- **Salinité élevée** : la concentration excessive en sels peut provoquer l'asphyxie des organismes benthiques et déséquilibrer les habitats marins.
- **Pollution thermique** : la température plus élevée des rejets peut perturber localement la faune et la flore marines.
- **Contamination chimique** : les résidus de coagulants, biocides et antitartres peuvent affecter la qualité de l'eau et la biodiversité.

Dans les zones sensibles comme les côtes touristiques ou à forte activité halieutique, ces impacts peuvent devenir préoccupants. Un prétraitement bien dimensionné permet de réduire la quantité de produits chimiques nécessaires, limitant ainsi les effets sur l'environnement (Lattemann & Höpner, 2008).

I.9 Les défis techniques liés au dessalement :

La qualité de l'eau brute influence directement la performance de l'osmose inverse, notamment à travers deux risques majeurs : l'entartrage, provoqué par la précipitation de sels tels que le CaCO₃ ou le BaSO₄, et la corrosion, liée à la forte teneur en chlorures et en oxygène dissous de l'eau de mer (Voutchkov, 2018 ; Ghaffour et al., 2013). Ces phénomènes entraînent une baisse de rendement, une usure des membranes et une augmentation des coûts d'exploitation. Un prétraitement bien dimensionné, incluant l'ajustement du pH, l'injection d'antitartres et l'utilisation de matériaux résistants, permet de limiter ces effets. Dans le cas de la station de **Tamda Ouguemoun**, la salinité (38 g/L) et la turbidité (3 NTU) mesurées exigent des mesures adaptées dès la conception du système.

I.10 Conclusion :

Dans ce chapitre, on conclut que :

- Le dessalement est une solution stratégique face à la raréfaction des ressources en eau douce, particulièrement en Algérie.
- Les procédés les plus utilisés à l'échelle mondiale et nationale sont l'osmose inverse (OI) et la distillation multi-effets (MED/MSF), chacun ayant des avantages et limites.
- La qualité de l'eau brute (salinité, température, matières en suspension) influence directement la performance et la durabilité des installations de dessalement.
- Le prétraitement est une étape indispensable pour prévenir le colmatage, l'entartrage et le biofouling des membranes d'osmose inverse.
- La consommation énergétique et l'impact environnemental des rejets de saumures imposent une optimisation technico-économique et environnementale des installations.

- Pour la station de Tamba Ouguemoun, le succès du projet dépendra d'un dimensionnement rigoureux de la filière de prétraitement, garantissant la durabilité et la performance de système.

Chapitre II :

Les différents systèmes de prétraitement de dessalement des eaux de mers

II.1 Introduction :

Dans ce chapitre, nous présentons les principaux systèmes de prétraitement appliqués aux usines de dessalement de l'eau de mer.

L'objectif est de :

- Identifier les polluants chimiques, physiques et biologiques présents dans l'eau de mer et susceptibles d'endommager les membranes d'osmose inverse,
- Décrire les différentes étapes de prétraitement (prise d'eau, désinfection, traitement mécanique, coagulation-floculation, décantation, filtration),
- Analyser les avantages et limites de chaque procédé,
- Souligner les critères de performance essentiels (turbidité, SDI, réduction des biofilms),
- Préparer la base technique pour le choix et le dimensionnement de la filière de prétraitement de la station de Tamda Ouguemoun.

II.2 Le rôle de prétraitement :

Le prétraitement est crucial en osmose inverse pour protéger les membranes, très sensibles aux dépôts organiques, particules en suspension et micro-organismes. Sans un prétraitement efficace, on observe une réduction de la durée de vie des membranes, une augmentation de la consommation énergétique et des risques sanitaires. Il vise notamment à :

- Eliminer les solides et colloïdes,
- Réduire la charge biologique,
- Prévenir la formation de dépôts et biofilms,
- Optimiser la performance et la longévité des membranes.
- Ces actions permettent également de réduire les coûts d'exploitation, d'améliorer l'efficacité énergétique, et de garantir une qualité d'eau conforme ($SDI < 5$, turbidité $< 0,1$ NTU) (El-Dessouky & Ettouney, 2002).

II.3 Les types de polluants présents dans l'eau de mer :

L'eau de mer présente une complexité chimique et biologique qui nécessite une analyse précise pour définir un prétraitement adapté. En Algérie, notamment pour la station de Tamda Ouguemoun, les polluants les plus problématiques sont :

- Les matières en suspension (MES) et colloïdes, responsables de la turbidité et du colmatage des membranes .
- Les micro-algues, qui favorisent l'encrassement biologique .

D'autres polluants comme les métaux lourds, pesticides, micropolluants émergents (médicaments, cosmétiques) sont moins prévalents localement et seront détaillés en annexe (Amelia Tan Suet May et al., 2021).

II.4 Les différents systèmes de prétraitement :

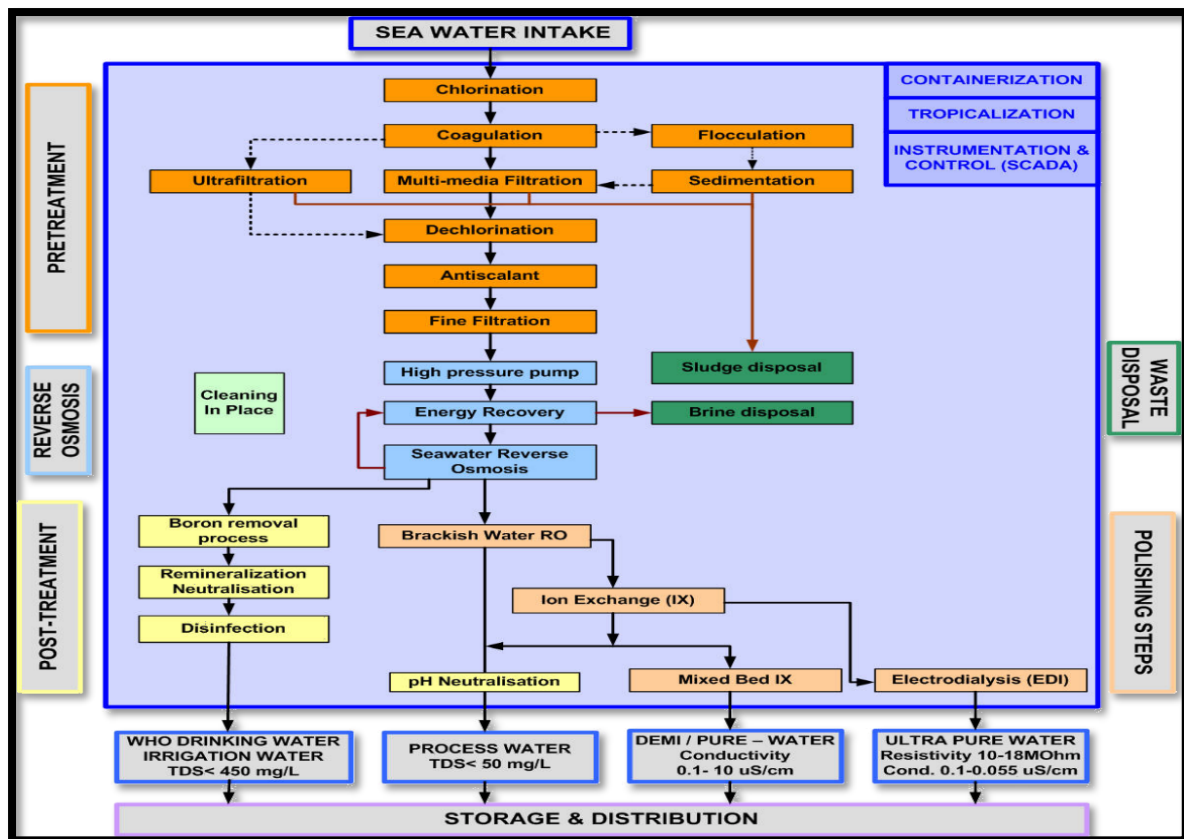


Figure II.1 : Les différents processus de dessalement des eaux de mer (Ghaffour, N., Missimer, T. M., & Amy, G. L. (2013)).

II.4.1 Prise d'eau de mer :

La prise d'eau est la première étape du dessalement, consistant à capter l'eau de mer brute pour l'acheminer vers les installations. Il existe deux types principaux :

- **Prises ouvertes :** directement en mer, reliées par canalisation.
 - Avantages : installation simple, débit élevé.
 - Inconvénients : risque élevé d'aspiration de faune marine et de MES.
- **Prises souterraines :** pompent l'eau à travers le sable, assurant une préfiltration naturelle.
 - Avantages : protection accrue de la faune marine et meilleure qualité d'eau brute.
 - Inconvénients : débit plus limité et coûts d'installation plus élevés.

Ces choix influencent la qualité de l'eau prétraitée et l'impact environnemental (Qiblawey & Banat, 2008).

II.4.2 Désinfection :

□ **Objectif principal** : Eliminer les micro-organismes pathogènes pour l'élimination des bactéries et prévenir l'encrassement biologique des membranes.

□ **Avantages** :

- Améliore la qualité sanitaire de l'eau produite.
- Protège les membranes contre la formation de biofilms.
- Réduit les risques de colmatage biologique et prolonge la durée de vie des équipements.

□ **Inconvénients** :

- Coût variable selon la méthode utilisée et la concentration nécessaire.
- Risque de formation de sous-produits chimiques potentiellement toxiques.
- Certaines méthodes peuvent être moins efficaces contre certains micro-organismes ou virus.
- Gestion nécessaire pour éviter une dose excessive ou insuffisante, impactant la performance

Tableau II.1 : Comparaison entre le chlore et dioxyde de chlore Qiblawey, H. M., & Banat, F. (2008)

Méthode	Avantages	Inconvénients	Coût	Sous-produits	Efficacité générale
Chloration	Simple, bon marché	Formation de trihalométhanes (THM)	Faible	Sous-produits halogénés	Très efficace sur bactéries
Ozone	Puissant oxydant, pas de résidus	Coût élevé, instabilité	Élevé	Sous-produits oxydants	Large spectre (bactéries, virus)
UV	Pas de produits chimiques	Une élimination des bactéries sur place seulement	Moyen	Aucun	Efficace sur virus et bactéries
Dioxyde de chlore	Moins de sous-produits que chlore	Coût plus élevé, dosage précis	Moyen-élevé	Sous-produits chlorés	Efficace sur biofilms

II.4.3 Traitement préliminaire :

II.4.3.1 Le dégrillage et tamisage :

Le processus de dégrillage et tamisage utilise des grilles ou des tamis pour retenir les objets flottants et autres gros débris en fonction de leur taille, les empêchant ainsi de pénétrer dans l'équipement de prétraitement et de causer des dommages ou des blocages. Les divers débris retenus sur les grilles sont enlevés par un râteau mécanique installé sur les grilles. (Amy, G. (2008)).

➤ **Dégrilleur à barres grossières**

Dans les usines de dessalement, des dégrilleurs à barres espacées de 50 à 150 mm sont installés à l'entrée pour retenir les déchets volumineux (algues, méduses, plastiques, poissons). Ils sont conçus pour minimiser la perte de charge et l'impact sur la faune marine, avec une vitesse de passage lente ($\approx 0,1$ m/s). En cas d'encrassement, cette vitesse peut être temporairement augmentée à 0,12–0,15 m/s. Les grilles sont fabriquées en matériaux résistants à la corrosion marine (ex. inox duplex) pour limiter le biofouling. En mer, le nettoyage est manuel tous les 1 à 2 ans, tandis qu'à terre, il est souvent automatisé. (Amy, 2008)



Figure II.2 : Dégrilleur à barres grossières Amy, G. (2008).

➤ **Tamis fin**

Un tamis fin est un équipement de filtration mécanique qui sert à éliminer les particules solides de petite taille contenues dans l'eau brute avant qu'elle ne subisse les traitements plus poussés comme l'osmose inverse. Il existe trois types de tamis fin :

1. Tamis rotatif

Le tamis mécanique fin, placé après les grilles grossières, dispose d'ouvertures de 3 à 10 mm et fonctionne avec un système rotatif autonettoyant grâce à des buses à haute pression (4–7 bars) alimentées par une pompe de 45 à 68 m³/h. Sa fonction est de protéger les pompes en retenant les débris plus fins, avec une taille d'ouverture choisie pour être inférieure à l'écartement des pales. (El-Dessouky & Ettouney, 2002)



Figure II.3 : Tamis rotatif El-Dessouky, H., & Ettouney, H. (2002).

2. Tamis à bande

Les tamis à bande sont des grilles fines montées sur chaînes et glissières métalliques, conçues pour filtrer l'eau en capturant les débris. Leur maille retient les impuretés, puis le bandeau se relève, et des buses à basse pression nettoient les panneaux. Ils maintiennent un débit lent ($< 0,15 \text{ m/s}$) et sont disponibles en diverses capacités. La configuration la plus courante est le « débit à travers », bien que d'autres options (débit central, double) existent, mais sont plus complexes et moins répandues. (ONU (2020)).

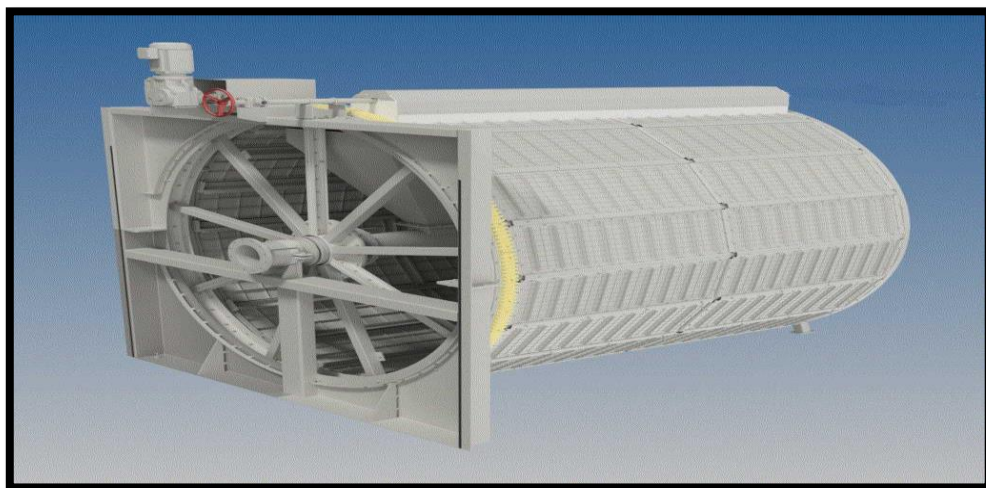


Figure II.4 : Tamis à bande ONU (2020).

3. Tamis en tambour

Les écrans à tambour vertical, couramment utilisés dans les grandes stations de dessalement, comportent un cylindre rotatif filtrant l'eau de l'intérieur vers l'extérieur. Ils retiennent les

débris à l'intérieur, éliminés par pulvérisation. Ces systèmes offrent une faible perte de charge, une bonne tolérance aux variations de débit et sont efficaces contre les méduses. (ANBT, 2023)

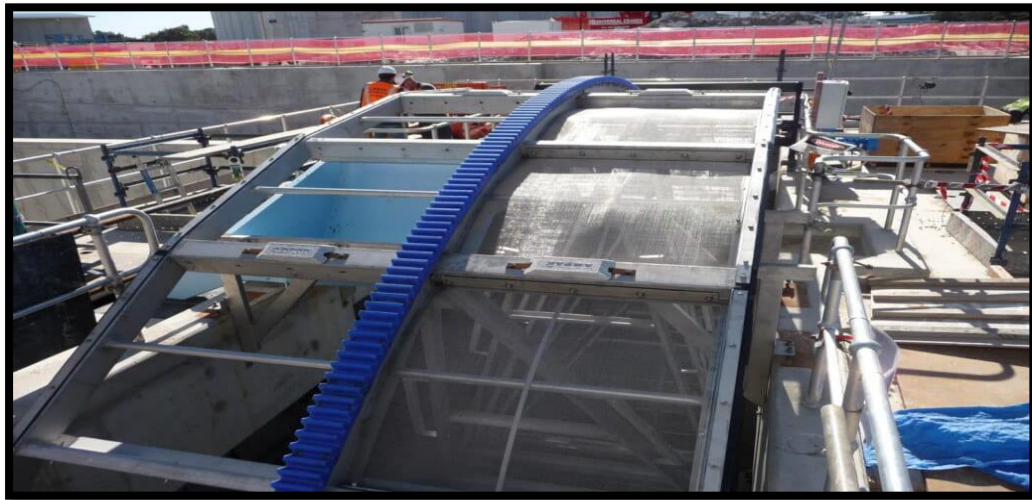


Figure II.5 : Tamis en tambour ANBT (2023).

II.4.4 Techniques physico-chimiques du traitement de l'eau :

II.4.4.1 La coagulation :

Dans le processus de dessalement de l'eau de mer, différents types de coagulants sont utilisés pour améliorer l'efficacité du traitement en facilitant l'élimination des particules en suspension, des matières colloïdales et des micro-organismes. Les coagulants les plus couramment utilisés dans le dessalement, notamment par distillation ou osmose inverse, sont :

- 1) Sulfate d'aluminium (Alum) : C'est l'un des coagulants les plus traditionnellement utilisés dans le traitement de l'eau. Il réagit avec l'eau pour former des hydroxydes d'aluminium qui agglomèrent les particules en suspension.
- 2) Chlorure ferrique : Un coagulant efficace qui forme des floccs de grande taille qui peuvent être facilement éliminés par sédimentation ou filtration. Le coagulant utilisé dans le cas de la station de Tamda Ouguemoun .
- 3) Sulfate ferrique : Similaire au chlorure ferrique, le sulfate ferrique est également utilisé pour former des floccs et améliorer la clarification de l'eau.
- 4) Polychlorure d'aluminium (PAC) : Le PAC est un coagulant pré-polyérisé qui est plus efficace à un plus large éventail de pH que l'alum traditionnel et qui peut également fonctionner à des doses inférieures.
- 5) Polymères synthétiques : Il existe divers polymères synthétiques, tels que les polyacrylamides et leurs dérivés, qui sont utilisés comme coagulants ou coagulants auxiliaires pour améliorer la taille et la résistance des floccs formés par les coagulants inorganiques.
- 6) Coagulants naturels : Certains procédés de dessalement intègrent des coagulants naturels tels que la chitosane, bien que leur utilisation soit moins répandue et généralement confinée aux

applications de petite échelle ou aux régions où ces ressources sont abondantes et économiquement accessibles.

Il est important de noter que le choix du coagulant dépend de plusieurs facteurs, y compris la qualité de l'eau brute, les exigences du processus de dessalement, les considérations économiques et les réglementations environnementales. En outre, l'utilisation de coagulants doit être optimisée pour minimiser la production de boues et l'impact environnemental. (ANBT (2023)).

II.4.4.2 La floculation :

Une étape cruciale dans le prétraitement de l'eau de mer avant le dessalement, visant à éliminer les matières en suspension (MES), les colloïdes et les micro-organismes. Cette phase améliore l'efficacité des technologies de dessalement, telles que l'osmose inverse, en réduisant le colmatage des membranes et en prolongeant leur durée de vie. ((Amy, G. (2008)).

➤ Objectifs de la floculation dans le dessalement

1. **Déstabilisation des colloïdes** : La floculation permet d'agglomérer les particules colloïdales en floes plus volumineux, facilitant leur élimination par décantation ou filtration.
2. **Réduction de la turbidité** : Ce processus permet d'éliminer une grande partie des matières en suspension, réduisant ainsi la turbidité de l'eau.
3. **Amélioration des performances du dessalement** : En réduisant la charge organique et la turbidité, la floculation améliore l'efficacité des membranes d'osmose inverse et prolonge leur durée de vie. (Amy, G. (2008)).

II.4.4.3 Le jar test :

Le Jar Test permet de déterminer , en conditions contrôlées, la dose de coagulants utilisés dans le traitement de l'eau de mer . Il aide ainsi à déterminer le dosage optimal pour une clarification maximale. Amy, G. (2008).

- L'eau est répartie dans plusieurs béchers identiques.
- Chaque bécher reçoit une dose différente de coagulant.
- Un brassage rapide est suivi d'un brassage lent pour favoriser la floculation.
- Après décantation, la performance est évaluée (turbidité, aspect visuel)

II.4.5 Séparation des solides :

II.4.5.1 Les bassins de décantations :

Les bassins de décantation permettent de séparer, par gravité, les floes formés après la coagulation-floculation de l'eau de mer. Cette étape essentielle précède la filtration et l'osmose

inverse, et vise à réduire la turbidité ainsi que la charge en matières en suspension. (Amy, G. (2008)).

- L'eau traitée par coagulants (chlorure ferrique, sulfate d'aluminium) est dirigée vers le bassin.
- Les floccs se déposent au fond par sédimentation naturelle.
- Le temps de séjour est généralement compris entre 1 et 4 heures.
- L'écoulement lent favorise la décantation sans déstabiliser les floccs.
- La clarté de l'eau en sortie limite le colmatage des membranes d'osmose inverse.



Figure II.6 : Les bassins de décantation Voutchkov, N. (2018).

II.4.5.2 La sédimentation et la flottation par air dessous :

La flottation à l'air dissous s'applique aux particules dont la densité est inférieure à celle du liquide dans lequel elles se trouvent. Au cours du processus, les particules coagulées, telles que les algues, adhèrent aux bulles produites à l'intérieur du système DAF et flottent jusqu'au sommet de la colonne d'eau, où elles sont éliminées mécaniquement ou hydrauliquement. (ONU (2020)) .

Dans les usines de dessalement produisant de l'eau potable, la tendance actuelle est au développement de systèmes DAF avec des lits de microbulles denses et une capacité de débit élevée. Ce procédé offre les avantages suivants :

- Réduit l'encombrement.
- Il réduit les coûts d'exploitation.
- Réduit les coûts de maintenance.

Les systèmes DAF fabriqués offrent les avantages suivants :

- Amélioration de la qualité de l'eau traitée.
- Démarrage rapide.
- Fonctionnement à grande vitesse.
- Une boue plus épaisse (moins de production de boue).
- Réduction de l'empreinte écologique. (ONU (2020)).
- Facile à utiliser.

II.4.5.3 Les réservoirs de sédimentations lamellaires :

Les réservoirs de sédimentation lamellaires, ou décanteurs à plaques inclinées, permettent une séparation rapide des floccs sur une surface réduite. Ce système optimise la décantation dans les stations de dessalement modernes, tout en réduisant l'encombrement et en limitant le colmatage des membranes d'osmose inverse. (Voutchkov, N. (2018)).

- Des plaques ou tubes inclinés (environ 60°) sont installés dans le bassin.
- L'eau s'écoule lentement entre les plaques, du bas vers le haut.
- Les floccs, plus denses, se déposent sur les plaques et glissent vers le bas.
- Le dispositif augmente la surface de décantation sans agrandir la structure.
- Ce procédé offre une grande efficacité pour un encombrement minimal.

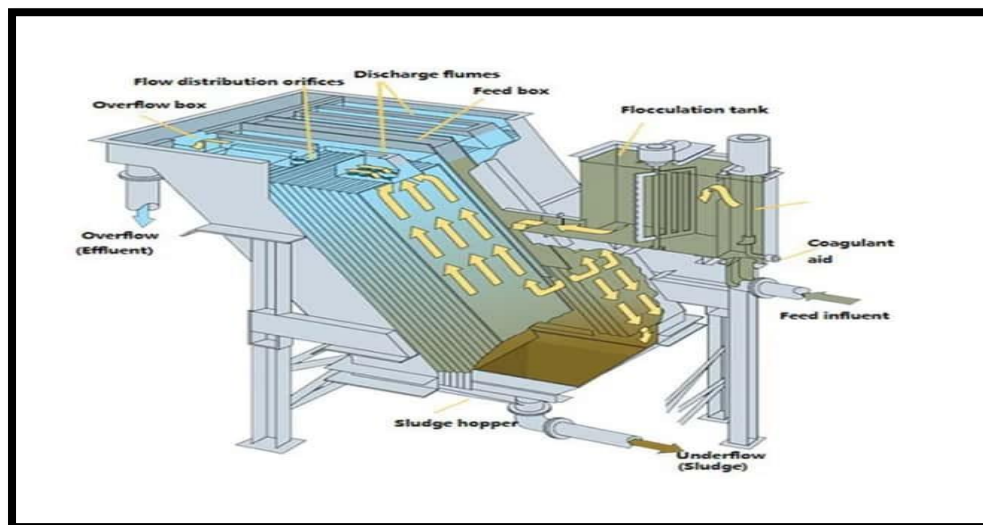


Figure II.7 : Le décanteur lamellaire (Voutchkov, N. (2018)).

II.4.5.4 Filtration par médias granulaires :

Après la coagulation, floculation et décantation, la filtration sur médias granulaires constitue une barrière essentielle avant l'osmose inverse (SWRO). Elle permet d'éliminer les particules fines ($> 10 \mu\text{m}$), les microalgues, et les floccs résiduels afin d'atteindre une turbidité $< 0,1 \text{ NTU}$ et un $\text{SDI} < 3$, critères indispensables pour la protection des membranes (Voutchkov, 2018).

-Types de filtres adaptés :

- **1) Filtres gravitaires** (grandes stations, $> 40\,000\text{ m}^3/\text{j}$)
 - Construction en béton, fonctionnement par gravité.
 - Médias bicouches (anthracite + sable).
 - Débit élevé ($8\text{--}10\text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{h}$), faible consommation d'énergie.
 - Excellente tolérance aux pics de turbidité.
 - Cycles de 24h avant rétro-lavage.

(Amy, 2008)
- **2) Filtres sous pression** (stations de taille moyenne, $< 20\,000\text{ m}^3/\text{j}$)
 - Cuves métalliques fermées sous pression ($15\text{--}30\text{ mCE}$).
 - Évite le besoin de pompes intermédiaires.
 - Compacts, adaptés aux installations avec espace réduit.
 - Maintenance nécessaire pour éviter biofouling et casse des floccs.

(Amy, 2008)

-Configurations de filtres à médias granulaires (GMF)

Dans le dessalement par osmose inverse, plusieurs types de filtres granulaires sont utilisés pour améliorer la qualité de l'eau avant les membranes (Amy, 2008) :

- **Monomédia :**
 - Un seul type de média (souvent sable).
 - Economique mais nécessite des lavages fréquents.
 - Adapté aux faibles débits.
- **Double média :**
 - Anthracite + sable.
 - Meilleur débit et performance.
 - Moins de lavage, réduction efficace du SDI.
- **Trimédia :**
 - Anthracite + sable + grenat (ou ilménite).
 - Capacité élevée de rétention des particules fines.
 - Optimisé pour les hauts débits et faibles SDI.

II.5 Conclusion :

Dans ce chapitre, on conclut que :

- Le prétraitement est une étape déterminante pour garantir la protection, la performance et la longévité des membranes d'osmose inverse.
- Les polluants présents dans l'eau de mer (MES, colloïdes, micro-algues, agents biologiques et chimiques) imposent une combinaison de procédés adaptés.
- Les étapes clés incluent : la prise d'eau, la désinfection, la séparation mécanique (grilles, tamis), la coagulation-floculation, la décantation/flottation et la filtration granulaire.

- Chaque procédé présente des avantages et limites ; leur efficacité se mesure principalement par la réduction de la turbidité et l'obtention d'un SDI < 5 .

Le choix du schéma de prétraitement doit être adapté aux conditions locales de Tamda Ouguemoun, afin d'assurer la fiabilité technique, la maîtrise des coûts et la durabilité.

Chapitre III :
Présentation de la zone d'étude

III.1 Introduction :

Dans ce chapitre, nous présentons la zone d'implantation de la station de dessalement de Tamda Ouguemoun (wilaya de Tizi Ouzou), choisie pour renforcer l'approvisionnement en eau potable dans la région. L'objectif est de mettre en évidence les caractéristiques physiques et environnementales du site, ainsi que la qualité des eaux marines locales, afin de disposer d'une base technique solide pour le dimensionnement du système de traitement.

Les objectifs de ce chapitre sont :

- Décrire la localisation géographique et les conditions climatiques de la zone d'étude ;
- Évaluer la qualité physico-chimique et biologique de l'eau de mer pour identifier les contraintes liées au prétraitement.

Ainsi, ce chapitre fournit un diagnostic initial essentiel pour la conception et l'adaptation des procédés de dessalement aux conditions locales.

III.2 : La localisation de la station de dessalement

III.2.1 : La situation géographique

- **Commune d'implantation** : la station se situe dans la **commune d'Iflissen**, rattachée à la daïra de Tizirt, wilaya de Tizi Ouzou, en région kabyle.

- **Proximité géographique** :

- En **mode littoral**, l'usine est en bordure immédiate de la **Méditerranée**, garantissant un apport continu d'eau brute essentiel au dessalement.
- Elle se trouve à environ **42 km au nord-est** de la ville de **Tizi Ouzou**, facilitant l'accès aux infrastructures et la distribution de l'eau produite.

- **Coordonnées précises** :

- **Latitude** : $\sim 36.864^\circ \text{ N}$
- **Longitude** : $\sim 4.22^\circ \text{ E}$

- **Superficie du site** : le terrain occupe une emprise d'environ **15 hectares**, offrant l'espace nécessaire à l'ensemble des infrastructures (prétraitement, dessalement, stockage).

La proximité directe de la mer permet une alimentation en eau de mer fiable, tandis que la liaison avec Tizi Ouzou garantit des facilités logistiques essentielles. Cette position est un atout majeur pour lutter efficacement contre les pénuries d'eau potable dans la région, particulièrement en période estivale où la demande est la plus élevée.

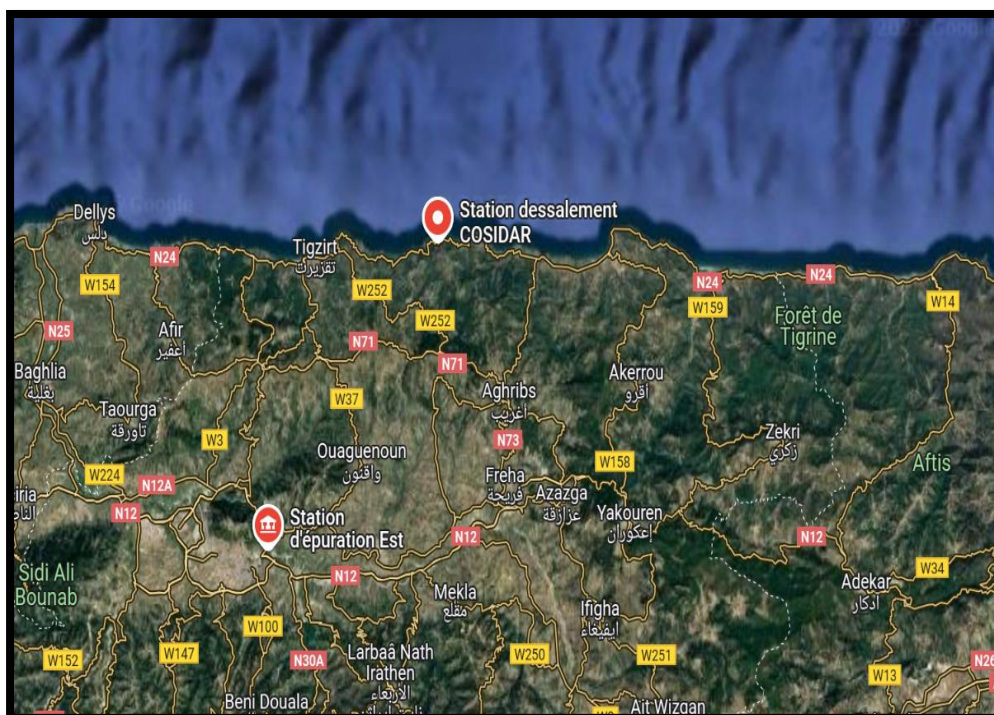


Figure III.1 : Vue Satellitaire sur la station de dessalement Tamda Ouguemoun (Google earth 2025)

III.3 : La climatologie de la région

Tableau III.1 : Caractéristiques climatiques de Tamda Ouguemoun

Saison	Températures moyennes	Pluviométrie	Conditions climatiques dominantes
Été (Juin – Août)	32–36 °C (jour), > 20 °C (nuit)	Très faible (1–5 mm/mois)	Chaleur marquée, sécheresse, anticyclone subtropical, vents secs
Hiver (Nov. – Fév.)	15–20 °C (jour), 5–9 °C (nuit)	Élevée (100–150 mm/mois)	Temps humide, pluie fréquente, air frais, neige en altitude
Printemps / Automne	18–28 °C (jour), 10–15 °C (nuit)	Modérée à élevée (50–100 mm)	Conditions variables, pluie intermittente, températures agréables
Pluviométrie annuelle	—	1 000 à 1 050 mm	Concentrée d'octobre à mars (≈85 % du total annuel)
Altitude locale	—	—	210–254 m (vallée du Sebaou – zone semi-montagneuse)
Influences climatiques	—	—	Mer Méditerranée, montagnes kabyles, flux atlantiques

III.4 : Prélèvement et étude physico-chimique de l'eau

Une **campagne de prélèvement ponctuelle** a été réalisée dans la zone de **Tamda Ouguemoun** dans le but d'évaluer la qualité des eaux marines locales, en lien direct avec le projet de mise en place d'une station de dessalement. Trois échantillons ont été collectés en des points stratégiques, choisis pour leur proximité avec le site prévu de l'installation.

➤ Objectifs de l'étude

- Etablir une **caractérisation physico-chimique et biologique** de l'eau de mer dans la zone ciblée.
- Fournir une **base de données environnementale initiale**, indispensable pour le dimensionnement des membranes de traitement.
- Identifier les paramètres pouvant **impacter la performance et la longévité** des équipements de dessalement.

➤ Modalités de prélèvement

- **Nombre d'échantillons collectés** : Trois.
- **Localisation** : Points choisis de manière stratégique en fonction :
 - De leur représentativité hydrologique.
 - De leur proximité géographique avec le site d'implantation envisagé.
- **Nature de la campagne** : Intervention unique et ciblée, destinée à fournir un état initial de la qualité des eaux.

➤ Paramètres mesurés

- Salinité.
- Turbidité.
- pH.
- Conductivité .
- Oxygène dissous .

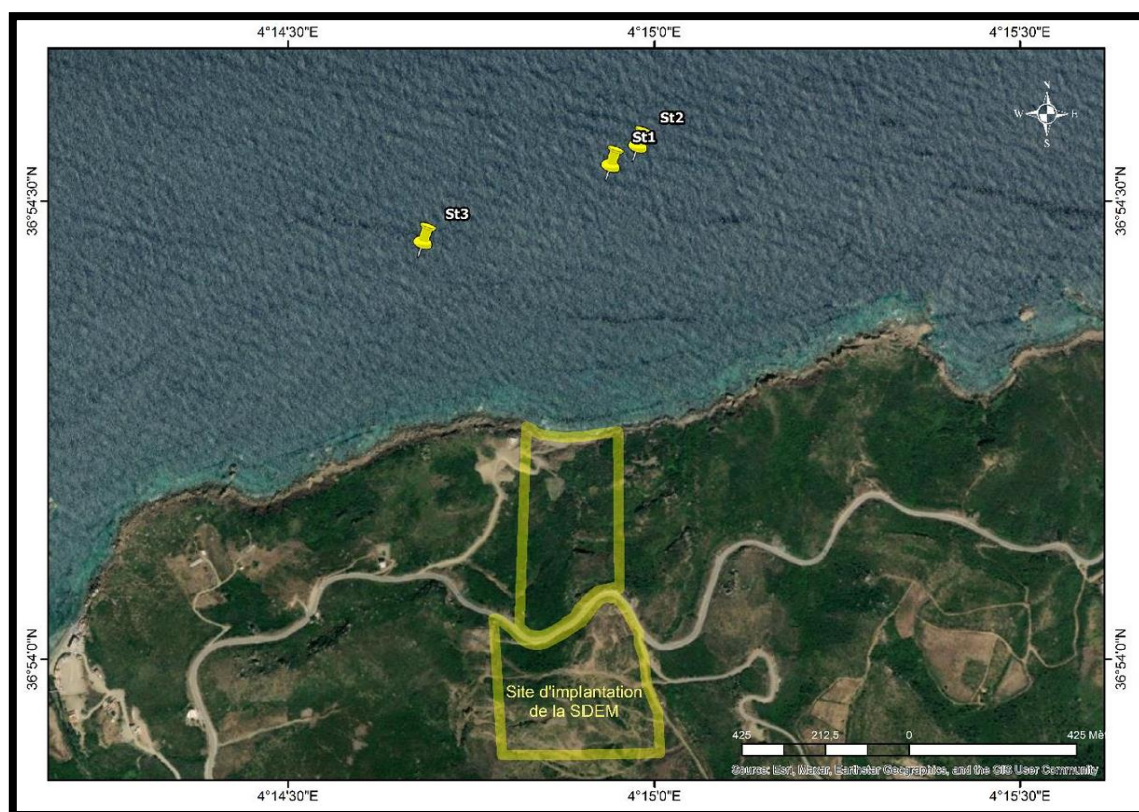


Figure III.2 : La carte de localisation géographique des stations de prélèvements (Google earth 2024)

Tableau III.2 : Les coordonnées géographiques et la profondeur des stations de prélèvements d'eau de mer

Les stations	Standard UTM				Profondeur de prélèvement	Profondeur de la zone
	Zone	Hémisphère	X	Y		
ST 01						
ST 02	31	N	611270.00 E	4085508.00 N	-10 m	-25.34 m
ST 03	31	N	611325.00 E	4085548.00 N	-10 m	-25.88 m
ST 04	31	N	610893.00 E	4085348.00 N	-10 m	-26.76 m

(COSIDER 2024)

NB : Les échantillons d'eau de mer destinés à l'analyse des huiles et graisses et les hydrocarbures totaux ont été prélevés au niveau de la surface de l'eau.

III.5 : Mesure IN-SITU des paramètres physico-chimiques

Les mesures in-situ effectuées au niveau des sites d'études sont présentées au niveau du tableau suivant :

Tableau III.3 : Mesure in-situ au niveau des trois stations

Station	T (°C)	S (‰)	O ₂ (mg/l)	pH	Conductivité (mS/cm)	Turbidité (NTU)
ST 01	23,6	36,8	9,58	8,59	56,4	2,43
ST 02	23,5	36,9	9,60	8,57	56,3	2,05
ST 03	23,5	36,7	9,67	8,55	56,3	2,47

(COSIDER 2024)

III.6 : Discussion et interprétation des résultats des mesures in-situ

- **La turbidité :** Dans les stations de mesure, la turbidité varie entre 2,05 et 2,47 (NTU).
- **La température :** La température mesurée au niveau des stations échantillonnées varie entre 23,5 °C et 23,6°C, ce qui indique une température naturelle qui reflète les conditions climatiques saisonnières du moment des travaux sur site d'étude.
- **pH :** Le pH mesuré varie entre 8,55 et 8,59 au niveau des stations échantillonnées. Ces valeurs indiquent une nature alcaline des eaux marines et ordinaires.
- **La conductivité :** Les conductivités obtenues varient entre 56,3 mS/cm et 56,4 mS/cm au niveau des stations de mesure et sont proportionnelles aux mesures de la salinité obtenues dans les mêmes stations de mesures.
- **La salinité :** Les salinités obtenues dans les 3 stations de mesures oscillent entre 36,7 ‰ et 36,9 ‰ indiquant des valeurs correspondant à la salinité ordinaire au niveau de la mer méditerranéenne.
- **L'oxygène :** Les mesures de l'oxygène obtenu dans les trois stations de mesures oscillent entre 9,58 mg/l et 9,67 mg/l.

➤ Discussion

- Qualité globale conforme aux standards pour l'osmose inverse (SDI prévisible < 5),
- Nécessité d'un prétraitement complet (filtration + UF),
- Risque faible de pollution chimique mais surveillance saisonnière recommandée (blooms algaux, hydrocarbures).

III.7 : Méthodologie d'analyse pour la matrice eau de mer

L'analyse de la qualité des eaux marines est essentielle pour évaluer leur aptitude à l'alimentation d'une station de dessalement. Les paramètres étudiés concernent les matières en suspension, les sels dissous, la matière organique, les éléments minéraux, ainsi que certains polluants tels que les hydrocarbures et les huiles.

Les échantillons ont été prélevés conformément aux protocoles normalisés, transportés dans des glacières à température contrôlée et analysés en laboratoire en utilisant des méthodes reconnues par la littérature scientifique (Aminot et Kérouel, 2004).

III.7.1 : Résultats et interprétations des paramètres physico-chimiques

III.7.1.1 : Total des solides en suspension (TSS)

La teneur en matières en suspension a été déterminée par filtration sur membrane (0,5 μm), suivie d'une pesée avant et après filtration. Pour éviter une surestimation due aux cristaux de sels, un rinçage à l'eau distillée a été effectué après filtration.

➤ **Résultats :**

- Station St2 : concentration inférieure à 10^{-3} mg/L.
- Autres stations : concentration moyenne de 1,03 mg/L.

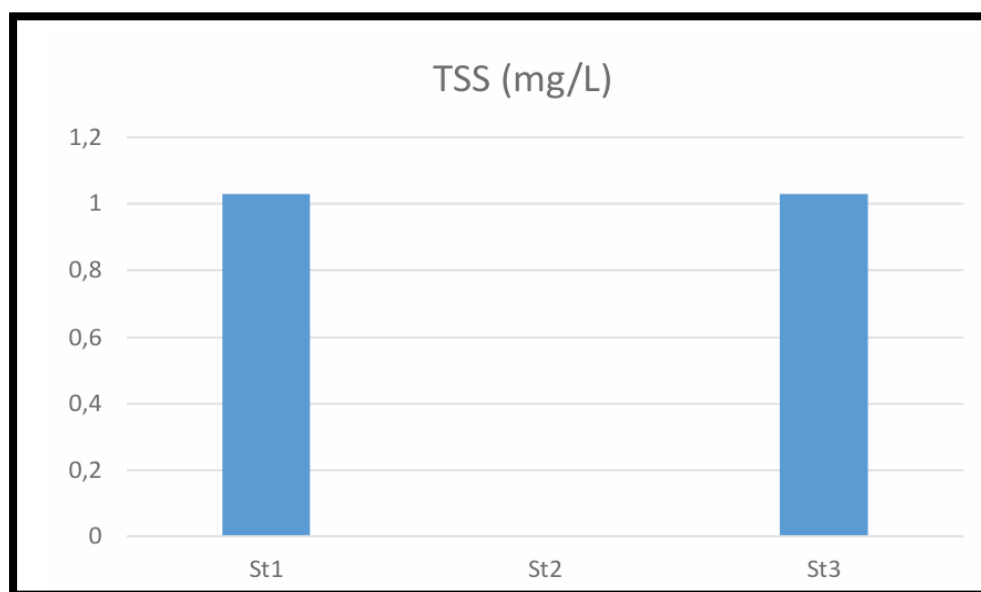


Figure III.3 : Concentrations des solides en suspension (TSS)

III.7.1.2 : Total des sels dissous (TDS)

La mesure des TDS a été réalisée par la méthode gravimétrique, consistant à peser le résidu sec après évaporation d'un échantillon filtré. Des précautions ont été prises pour minimiser l'erreur liée à l'hygroscopicité des sels marins

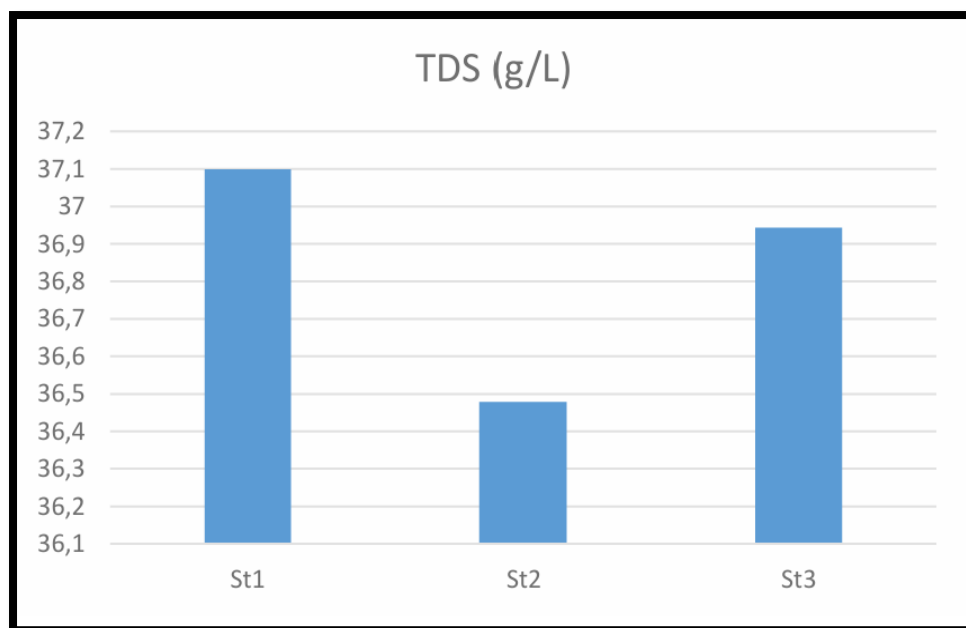


Figure III.4 : Concentrations des solides dissous totaux (TDS)

III.7.1.4 : Les éléments minéraux

Les principaux sels nutritifs (nitrate, ammoniac, phosphate, silice) et ions majeurs ont été analysés selon les normes en vigueur, avec des appareils adaptés. Les résultats sont :

- Calcium (Ca) : 0,42 – 0,43 g/L
- Potassium (K) : 0,38 – 0,39 g/L
- Magnésium (Mg) : 1,30 – 1,31 g/L
- Sodium (Na) : 10,80 – 10,87 g/L
- Chlore (Cl) : 19,42 – 19,54 g/L
- Sulfate (SO₄) : 2,71 – 2,73 g/L
- Bore (B) : 2,19 – 3,23 mg/L
- Fluor (F) : 1,03 – 1,54 mg/L
- Strontium (Sr) : 6,12 – 6,31 mg/L
- Baryum (Ba) : < 2,2 µg/L

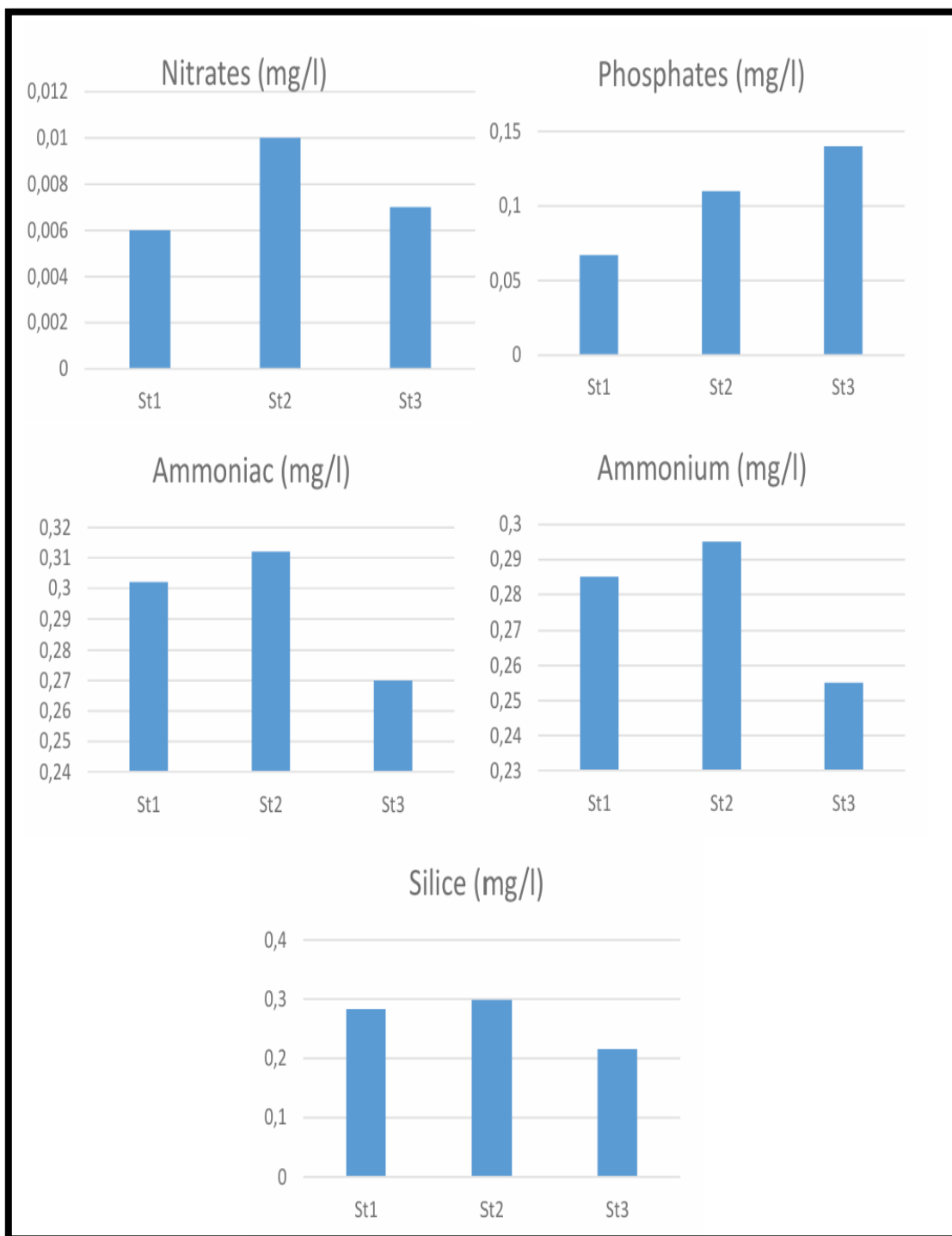


Figure III.7 : Concentrations des sels nutritifs

III.7.1.5 : Le dioxyde de carbone, les carbonates, les bicarbonates et la dureté

Les échantillons ont été conservés avec du chlorure de mercure. L'alcalinité a été mesurée avec un appareil automatique, et le pH ajusté avec des étalons standards.

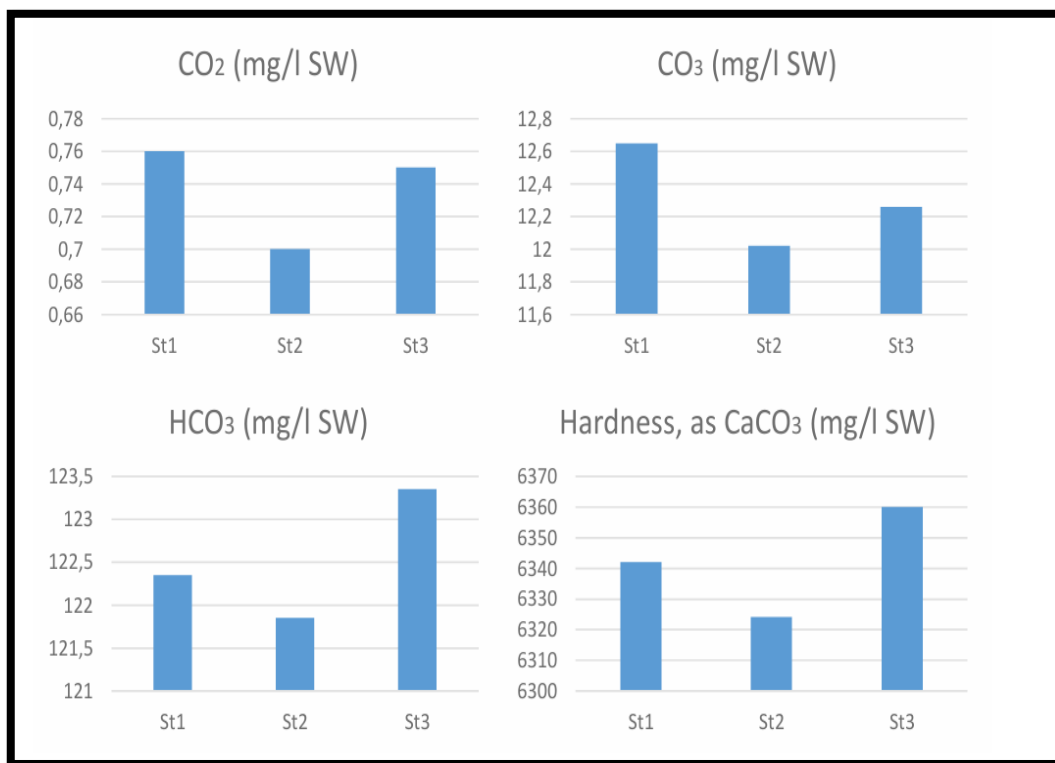


Figure III.8 : Concentrations de dioxyde de carbone, des carbonates, des bicarbonates et la dureté

III.7.1.6 : Les huiles et les graisses

Les substances proviennent principalement des hydrocarbures lourds. Les prélèvements ont été effectués dans des bouteilles en verre brun pour éviter la contamination.

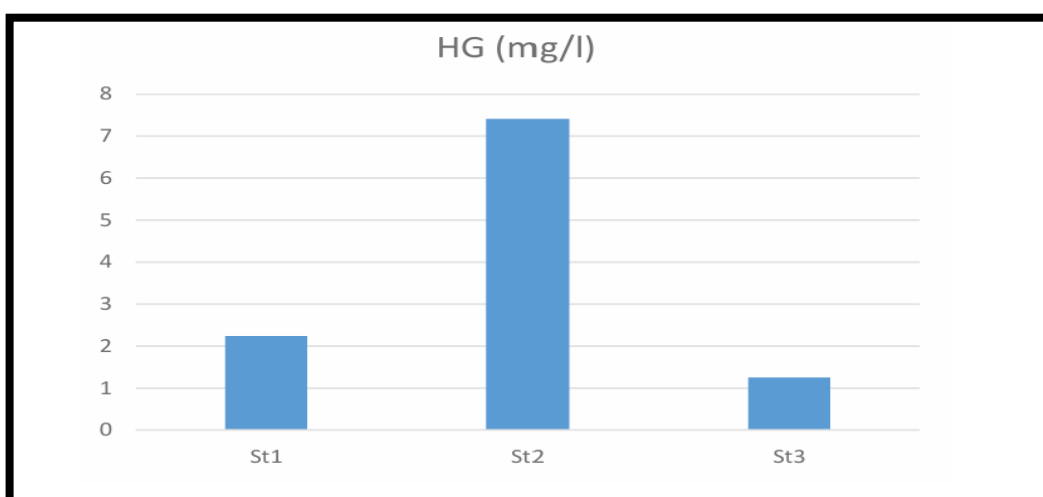


Figure III.9 : Concentrations des huiles et graisses

III.7.1.7 : Les hydrocarbures totaux

Les échantillons ont été prélevés dans des bouteilles en verre fumé, avec ajout d'hexane pour extraction. L'analyse a été réalisée par chromatographie pour identifier et quantifier les hydrocarbures présents.

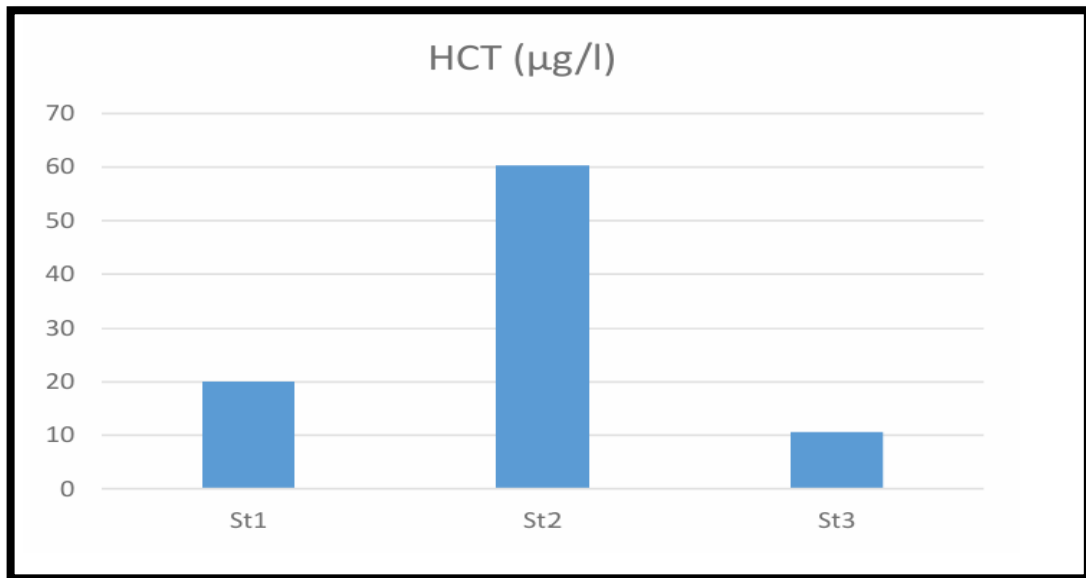


Figure III.10 : Concentrations des hydrocarbures totaux

III.7.2 : Interprétations

L'ensemble des analyses confirme que :

- Les TSS et TDS sont conformes aux valeurs typiques des eaux marines, mais nécessitent une étape préalable de filtration avant dessalement.
- Les concentrations élevées en ions majeurs (Na^+ , Cl^- , SO_4^{2-}) et la dureté confirment la salinité importante, ce qui justifie le recours à l'osmose inverse.
- Les niveaux de DBO₅ et DCO indiquent une faible charge organique, compatible avec un traitement classique avant dessalement.
- La présence résiduelle d'huiles et d'hydrocarbures nécessite un prétraitement approprié (coagulation-floculation et filtration).

III.8 : Synthèse des résultats d'analyse

Les résultats de l'étude montrent que l'eau de mer prélevée présente des valeurs ponctuelles acceptables pour les principaux paramètres mesurés sur le terrain, tels que la température, la turbidité, le pH, la salinité, la conductivité et l'oxygène dissous. De plus, la qualité bactériologique de ces eaux est jugée bonne, ce qui réduit les risques d'encrassement biologique, mais n'exclut pas la nécessité d'une désinfection préventive.

L'analyse chimique des échantillons révèle des valeurs caractéristiques d'une eau de mer naturelle, avec une composition stable et homogène, confirmée par l'absence d'écart significatif entre les concentrations des différents paramètres mesurés. Cette homogénéité est un atout pour le dimensionnement des unités de prétraitement et pour le fonctionnement optimal de l'osmose inverse.

Les points clés issus de l'interprétation :

- Les paramètres physiques et chimiques restent globalement dans les normes pour une eau de mer classique.
- Malgré la bonne qualité bactériologique, la présence potentielle de micro-organismes et de matières organiques justifie l'intégration d'une étape de désinfection (pré-chloration, UV, ou biocides compatibles avec les membranes).
- La turbidité et le SDI doivent être confirmés par des mesures continues : un SDI > 5 imposera un prétraitement renforcé (coagulation-floculation et filtration fine ou ultrafiltration).

Tableau III.4 : Tableau récapitulatif des résultats et implications sur le prétraitement

Paramètre	Valeur constatée	Seuil recommandé	Interprétation	Impact sur prétraitement
Température (°C)	Ex. 23	15 – 35	Conforme	Influence faible (impact sur rendement OI)
Turbidité (NTU)	Ex. 3	< 1	Colmatage possible	Coagulation + filtration à sable
SDI (Indice colmatage)	Ex. 6	< 5	Colmatage probable des membranes	Filtration sous pression ou UF avant OI
pH	8.1	6.5 – 8.5	Conforme	Aucun ajustement majeur avant OI
Salinité (g/L)	38	—	Normale pour eau de mer	Impacte la pression et la conception des membranes
Bactéries	Faible présence	—	Risque faible de biofouling	Préchloration, UV ou dosage de biocide

III.9 : Conclusion

À travers ce chapitre, on conclut que :

- Les paramètres mesurés sur le terrain (température, turbidité, pH, salinité, conductivité, oxygène dissous) sont dans les limites acceptables pour le dessalement par osmose inverse.

- La qualité bactériologique est jugée bonne, ce qui réduit les risques microbiologiques, mais une désinfection préalable reste nécessaire.
- Les analyses chimiques confirment des valeurs caractéristiques d'une eau de mer naturelle, avec homogénéité spatio-temporelle, facilitant la conception du système.
- Un risque potentiel d'encrassement des membranes est identifié (turbidité et SDI), justifiant un prétraitement adapté.
- Le prétraitement recommandé devra inclure :
 - Coagulation-floculation,
 - Filtration (sable et/ou cartouches),
 - Désinfection (chloration, UV ou biocide).

Ces résultats constituent une base technique pour le dimensionnement des ouvrages de prétraitement, objet du chapitre suivant.

Chapitre IV :

Le dimensionnement de prétraitement de la station de dessalement Tamda Ouguemoun

INTRODUCTION

Dans ce chapitre, nous présentons le dimensionnement de la filière de prétraitement de la station de dessalement de Tamda Ouguemoun. L'objectif est d'assurer une eau d'alimentation adaptée au procédé d'osmose inverse, en éliminant les impuretés susceptibles d'endommager les membranes et de réduire leur durée de vie.

Les objectifs de ce chapitre sont :

- Déterminer et justifier le dimensionnement des différentes unités de prétraitement (dégrillage, coagulation-floculation, décantation, filtration, microfiltration) ;
- Vérifier la performance hydraulique et chimique de la chaîne de traitement pour garantir une qualité d'eau conforme aux normes et adaptée aux conditions locales.

IV.1 : Les analyses de l'eau brute

Tableau IV.1 : La composition de l'eau brute (l'eau de mer)

Les paramètres	Unités	Concentrations
Calcium (Ca^{2+})	(mg/l)	430
Magnésium (Mg^{2+})	(mg/l)	1310
Potassium (K^+)	(mg/l)	390
Sodium (Na^+)	(mg/l)	10870
Strontium (Sr)	(mg/l)	6.31
Chlorures (Cl^-)	(mg/l)	19540
Sulfates (SO_4^{2-})	(mg/l)	2730
Bicarbonates (HCO_3^-)	(mg/l)	123.35
Bromures (Br^-)	(mg/l)	67
Fluorures (F^-)	(mg/l)	1.54
pH		8,55-8,59
Température	°C	23,5-23,6
Conductivité	(mS/cm)	56,3-56,4
Turbidité	(NTU)	2,05-2,47

IV.2 : Note de calcul gravitaire

L'objet de la présente note de calcul est de déterminer la ligne d'eau de l'écoulement au sein de la station de dessalement. Chaque liaison (ou tronçon hydraulique) fait l'objet d'une fiche de calcul spécifique, basée sur les formules classiques de l'hydraulique, détaillées ci-après.

IV.2.1 : Les formules utilisées

✚ Equation de continuité

$$Q = V \times S \dots\dots (IV.1)$$

- Q = Débit d'écoulement m³/h
- V = vitesse d'écoulement m/s
- S = section de conduite m²

✚ Les pertes de charge singulière

$$\Delta H = \frac{\lambda}{D} \times \frac{\rho \times v^2}{2} \times L \dots\dots (IV.2)$$

- ΔH = La perte de charge linéaire en mCL
- λ = Le coefficient de perte de charge (nombre sans dimension)
- ρ = La masse volumique de l'eau en Kg/ m³
- V = La vitesse d'écoulement en m/s
- D = Le diamètre de la conduite m
- L = La longueur de tube en m

✚ Le régime d'écoulement

La nature du régime d'écoulement d'un fluide est déterminée par la valeur du nombre de Reynolds.

Les différents régimes d'écoulement peuvent être visualisés à l'aide du diagramme de Moody, qui représente le nombre de Reynolds sur l'axe des abscisses (X) et le facteur de frottement sur l'axe des ordonnées (Y).

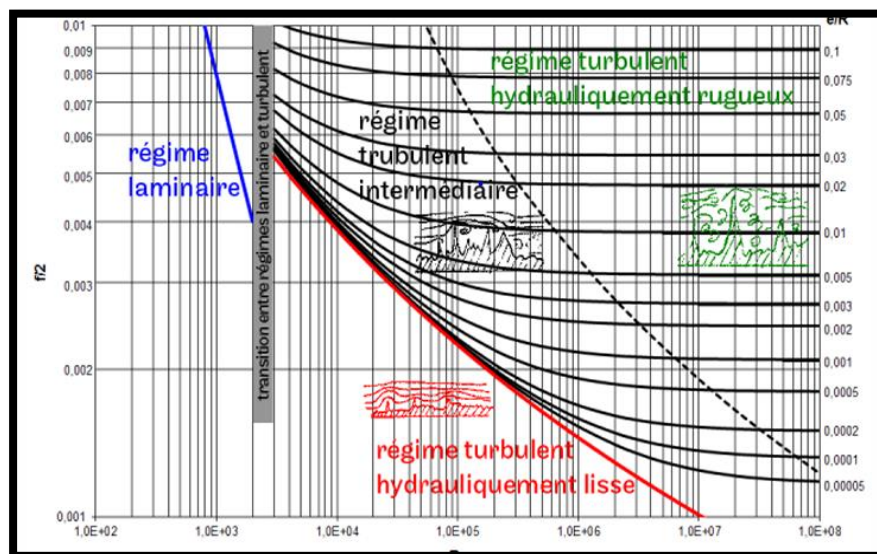


Figure IV.1 : Diagramme de Moody

Le régime d'écoulement d'un fluide peut se présenter sous trois formes :

- **Régime laminaire** : lorsque le nombre de Reynolds est inférieur à 2000, l'écoulement est calme et régulier.
- **Zone de transition (ou zone critique)** : pour des valeurs de Reynolds comprises entre 2000 et 4000, l'écoulement est instable et oscille entre le régime laminaire et le régime turbulent.
- **Régime turbulent** : lorsque le nombre de Reynolds dépasse 4000, l'écoulement devient chaotique, caractérisé par des tourbillons et des remous.

La viscosité

La viscosité d'un liquide représente sa capacité à s'écouler plus ou moins facilement, c'est-à-dire la résistance qu'il oppose au pompage ou à son passage à travers un orifice ou une canalisation.

La température a une influence importante sur la viscosité : plus la température augmente, plus la viscosité diminue, rendant le liquide plus fluide.

$$V = \frac{\mu}{\rho} \dots\dots(\text{IV.3})$$

- V = La viscosité cinématique en mm/s
- μ = La viscosité dynamique de l'eau Pa .s ou (kg/m s)
- ρ = La masse volumique de l'eau en kg/m³

Le nombre de Reynolds est une grandeur sans dimension (donc sans unité). Il combine trois caractéristiques essentielles de l'écoulement et du fluide : la vitesse, la densité et la viscosité.

Le diamètre du conduit est également nécessaire pour rendre ce nombre non dimensionnel ; il est alors appelé longueur caractéristique.

- Un nombre de Reynolds inférieur ou égal à 2000 indique un écoulement laminaire.
- Un nombre de Reynolds supérieur ou égal à 4000 indique un écoulement turbulent.
- Entre ces deux valeurs, l'écoulement est considéré comme instable ou en régime de transition.

Le nombre de Reynolds est défini par la relation suivante :

$$\text{Re} = \frac{\rho.V.D}{\mu} \dots\dots(\text{IV.4})$$

- Re : Le nombre de Reynolds (sans unité)

- ρ : La densité du fluide (kg/m³)
- V : La vitesse moyenne d'écoulement (m/s)
- D : Le diamètre hydraulique ou caractéristique (m)
- μ : La viscosité dynamique (Pa·s)

Coefficient de la perte de charge

❖ Ecoulement laminaire ($Re < 2000$)

En régime laminaire, la rugosité des parois internes des canalisations n'a pas d'influence sur le calcul des pertes de charge. Dans ce cas, le coefficient de perte de charge (facteur de frottement de Darcy-Weisbach) est déterminé par la formule suivante :

$$f = \frac{64}{Re} \dots (IV.5)$$

- f : Le coefficient de perte de charge
- Re : Le nombre de Reynolds

❖ Ecoulement turbulent ($Re > 4000$)

La rugosité des parois influence les pertes de charge. On utilise généralement la formule de Colebrook-White :

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left(\frac{\epsilon}{3.71 D} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right) \dots (IV.6)$$

- ☐ Cette équation est implicite et nécessite une résolution numérique.
- ☐ Pour la zone critique (Re entre 2000 et 4000), on applique les mêmes méthodes que pour l'écoulement turbulent.

- f : Le facteur de frottement (sans dimension)
- ϵ : La rugosité absolue de la conduite (m)
- D : Le diamètre intérieur de la conduite (m)
- Re : Le nombre de Reynolds (sans dimension)

❖ Le nombre de Froude

Le nombre de Froude est un nombre sans dimension qui exprime le rapport entre l'énergie cinétique d'un fluide en mouvement et son énergie potentielle gravitationnelle. Il permet de caractériser le type d'écoulement à surface libre (ex. : rivières, canaux, déversoirs). Il est défini par la relation suivante :

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{g \cdot Rh}} \dots (IV.7)$$

- Fr : Le nombre de Froude (sans unité)
- V : La vitesse moyenne du fluide (m/s)

- g : L'accélération de la pesanteur ($9,81 \text{ m/s}^2$)
- R_h : Le rayon hydraulique (m), défini comme le rapport entre l'aire de la section d'écoulement et le périmètre mouillé.

Le déversoir

$$Q = C_d \sqrt{2g} L H^{3/2} \dots\dots (IV.8)$$

- Q : Débit (en m^3/s)
- C_d : Coefficient de déversement (sans dimension), dépend de la forme du déversoir et des conditions d'écoulement
- L : Largeur du seuil déversant (en m)
- H : Hauteur de la lame d'eau au-dessus du seuil (en m)
- g : Accélération de la pesanteur ($9,81 \text{ m/s}^2$)

Les matériaux de tuyaux

- ❖ **PRV** : Polyester renforcé fibre de verre
- ❖ **PEHD** : Polyéthylène de haute densité

IV.3 : Le dimensionnement des unités de prétraitement

La chaîne de prétraitement de la station comprend un système de deux dégrillages automatiques deux tamis fins, quatre bassins de coagulation-floculation, quatre décanteurs lamellaires, huit filtres à sable, ainsi qu'un réservoir de stockage de l'eau filtrée.

IV.3.1 : Le traitement préliminaire

IV.3.1.1 : Le système de dégrillage

Le système de dégrillage à la station de dessalement de Tamda Ouguemoun élimine les gros déchets solides (plastiques, bois, algues) présents dans l'eau de mer afin de protéger les équipements en aval comme les pompes, filtres et membranes. Placé en amont du traitement, il prévient les colmatages et améliore la fiabilité du processus. La station dispose de deux dégrilleurs grossiers automatiques, dimensionnés à l'aide de la formule de **KIRSCHMER** :

$$S = \frac{Q_e}{c.Ve.a} \dots\dots (IV.9)$$

- Q_e : Débit maximal à travers la grille (m^3/s)
- a : Coefficient de passage libre donné par la relation

$$a = \frac{\text{diamètre des barreaux}}{\text{diamètre des barreaux} + \text{espacement entre les barreaux}} \dots\dots (IV.10)$$

- Ve : Vitesse de l'écoulement à travers la grille (m/s),

-Sa valeur est comprise en général entre 0,50 m/s et 1 m/s. Cette vitesse peut atteindre 1 à 1,20 m/s au débit maximal.

- C : Coefficient de colmatage dépendant de la qualité de l'eau et du système de reprise des résidus.

-Généralement : $0.1 < C < 0.3$ pour une grille manuelle. $0.4 < C < 0.5$ pour une grille automatique.

❖ La largeur de dégrilleur

$$L = Ne \times e + Nb \times b \dots\dots(IV.11)$$

$$L = \frac{S}{H} \dots\dots(IV.12)$$

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

❖ Les pertes de charge :

Les pertes de charges à travers la grille sont données par l'équation de KIRSCHMAR :

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

- d : Diamètre des barreaux (m)
- e : Espacement entre les barreaux (m)
- θ : Angle d'inclinaison de la grille par rapport à l'horizontal
- β : Coefficient qui tient compte de la forme des barreaux

Les résultats obtenus sont résumés au tableau ci-dessous :

Tableau IV.2 : Les paramètres et les résultats obtenus du système de dégrillage

Paramètres	Unités	Spécifications
Le débit d'eau à travers les dégrilleurs	m ³ /h	5646
La quantité	-	2
Cas (n-1)	-	1
La capacité calculée par dégrilleur (max)	m ³ /h	5646
La capacité calculée par dégrilleur (min)	m ³ /h	2823
Le colmatage maximal considéré pour fonctionnement	-	50
L'espacement entre les barreaux	cm	5
La vitesse de l'écoulement à travers la grille	m/s	1.1
La largeur de dégrilleur	m	3
Le nombre des barreaux	-	42
Le diamètre des barreaux	m	2
Le type des barreaux	-	Rectangulaire
Le coefficient β qui tient compte la forme des barreaux	-	2.42
La surface de dégrilleur m ²	m ²	10
Les pertes de charge à travers la grille	m	0.037

Note : (Cas n-1) : Signifie qu'on suppose une unité en panne (hors service) et que l'autre doit assurer seule le débit total. C'est une sécurité de conception pour garantir la continuité de fonctionnement.

IV.3.1.2 : Contraintes de conception d'un dégrilleur grossier automatique

La conception du dégrilleur grossier automatique à la station de dessalement de **Tamda Ouguemoun** vise à assurer une haute résistance à la corrosion marine, une fiabilité en fonctionnement continu, et une adaptation aux variations de débris liées aux conditions environnementales. Le choix de matériaux inoxydables, un dimensionnement précis, et l'intégration de mécanismes de nettoyage et d'évacuation automatiques sont essentiels. La facilité d'entretien, la sécurité des interventions et la maîtrise des coûts d'exploitation sont également des priorités dans cette conception.

IV.3.1.3 : La maintenance du dégrilleur automatique

La maintenance du dégrilleur grossier automatique à la station de dessalement de **Tamda Ouguemoun** est essentielle pour garantir la fiabilité du traitement. Elle comprend des actions préventives régulières : mise hors tension du système, port des EPI, nettoyage des composants mécaniques, inspection des pièces mobiles, contrôle des capteurs et de l'automatisation,

lubrification adaptée, réglage des chaînes (alignement, tension) et vérification des dispositifs de sécurité.

IV.3.1.4 : Tamis fin

Le dimensionnement de tamis fin est fait à base de volume commercialisé (60 000 m³ / jour) en sachant qu'on doit prendre en considération le volume des matières en suspension et le fait que le procédé principal à savoir l'osmose inverse est un rendement de 45 pour cent.

Le tableau ci-dessous résume les différentes spécifications de tamis fin :

Tableau IV.3 : Les spécifications de tamis fin

Paramètres	Unités	Spécifications
Débit d'eau à travers les dégrilleurs	m ³ /h	5646
Quantité	-	2
Cas (n-1)	-	1
Capacité calculée par tamiseur (max)	m ³ /h	2823
Capacité calculée par tamiseur (min)	m ³ /h	5646
Colmatage maximal considéré pour fonctionnement	%	50
Taille de maille	mm ²	4 à 7

IV.3.2 : Le traitement physico chimique

IV.3.2.1 : Le mélangeur statique de coagulation

Le mélangeur statique de coagulation utilisé dans la station **Tamda Ouguemoun** est un équipement installé en ligne dans une conduite pour assurer le mélange rapide et homogène d'un coagulant avec l'eau brute. Il est constitué d'éléments fixes internes (chicanes, ailettes, spirales) qui provoquent des turbulences lorsque l'eau les traverse. Cette turbulence génère une agitation hydrodynamique sans aucune pièce mobile ni énergie mécanique, permettant une dispersion uniforme du coagulant dans l'eau. L'agitation se produit donc à l'intérieur du mélangeur lui-même, uniquement grâce à la vitesse et au mouvement du fluide, ce qui rend le procédé simple, économe en énergie et efficace.

➤ La vérification de nombre de Reynolds

La vérification du nombre de Reynolds est indispensable dans ce cas car elle permet de valider que le régime d'écoulement est bien turbulent, ce qui est important pour assurer une agitation efficace dans le mélangeur statique et garantir le bon fonctionnement de la coagulation.

➤ Le dosage de coagulant

Le produit recommandé : Chlorure de fer (FeCl₃)

A la station de dessalement de **Tamda Ouguemoun**, le chlorure ferrique (FeCl_3) est utilisé comme coagulant en l'injectant dans le mélangeur statique pour améliorer la qualité de l'eau de mer avant son traitement. Bien que son usage soit moins courant en dessalement, il s'avère efficace pour réduire la turbidité en agglomérant les particules fines et matières en suspension. Cette étape est essentielle pour protéger les membranes d'osmose inverse et garantir un bon rendement du procédé. Le débit de dosage est calculé à partir de la formule ci-dessous :

$$\text{Débit de dosage} = \frac{\text{Débit} \times \text{Dose de produit}}{100 \times \text{massu volumique} \times \text{concentration}} \text{(IV.15)}$$

Le tableau ci-dessous résume les différents calculs de mélangeur statique :

Tableau IV.4 : Les différents spécifications de mélangeur statique

Paramètres	Unités	Spécifications
Le débit nominal	m ³ /h	5646
Le nombre des mélangeurs	-	4
Le cas (n-1)	-	3
Le débit par ligne	m ³ /h	141
La vitesse choisie	m/s	1.6
Le diamètre calculé	m	0.56
La distance entre le mélangeur et le clarificateur choisie	m	3.4
Le diamètre conçu choisie	m	0.6
La vitesse conçue calculée	m/s	1.4
Le temps de mélange	sec	2.42
La section de la conduite circulaire	m ²	0.29
La vitesse de rotation choisie	rpm	8
Le diamètre de la roue choisie	m	4.2
La densité de liquide	Kg/m ³	1000
La viscosité dynamique de l'eau	N-sec/m ³	0.001
Le nombre de Reynolds	-	7.39×10^6
Le régime d'écoulement	-	Turbulent vérifié
La concentration de dosage de coagulant	%	40
La dose de coagulant à utiliser	ppm	10
La masse volumique de coagulant	Kg/l	1.42
Le débit de dosage de coagulant	l/h	397.6

➤ La maintenance des mélangeurs statiques de la coagulation

A la station de dessalement de Tamda Ouguemoun, la maintenance des mélangeurs statiques de coagulation vise à garantir un fonctionnement efficace et constant du système de mélange des coagulants avec l'eau de mer. Elle comprend des inspections visuelles périodiques pour

détecter d'éventuels encrassements, dépôts marins ou corps étrangers pouvant altérer le flux. Des opérations de nettoyage sont effectuées à intervalles réguliers pour préserver la performance hydraulique du mélangeur, ainsi que l'efficacité du dosage des produits chimiques.

IV.3.2.2 : Le dimensionnement du système de floculation

Produit recommandé : Polymère

Après l'étape de coagulation, l'eau est dirigée vers les bassins de floculation où un floculant de type polymère est injecté. Ce produit agit comme un agent liant entre les particules, favorisant leur agglomération en flocs plus volumineux et plus denses, ce qui facilite leur séparation ultérieure dans les décanteurs lamellaires. Chaque bassin est équipé d'un agitateur à faible vitesse, assurant un brassage doux qui permet aux flocs de se former sans être détruits.

➤ Volume de bassin de floculation

Le volume de bassin de floculation est calculé à l'aide de la formule suivante :

$$V = Q.t \text{(IV.16)}$$

➤ Les dimensions du bassin de floculation

Le bassin de floculation à la station de Tamda Ouguemoun est dimensionné pour favoriser l'agglomération des particules en suspension. Il permet d'améliorer l'efficacité du traitement en amont de l'osmose inverse. Les dimensions dépendent du temps de séjour, du débit et des caractéristiques de l'eau brute.

$$V = S.H.....(IV.17)$$

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

➤ L'agitation

A la station de dessalement de Tamda Ouguemoun, l'agitation dans les bassins de floculation est douce et contrôlée pour bien mélanger l'eau avec les floculants. Ce mouvement lent permet aux particules fines de s'agglomérer en flocs plus gros, facilitant leur élimination. Les turbines à faible vitesse sont adaptées à la taille des bassins et au débit, optimisant la dispersion sans créer de turbulences qui pourraient détruire les flocs, assurant ainsi une meilleure protection des membranes d'osmose inverse.

❖ Gradient de vitesse :

- ❖ $G = dv/dy$ c'est la variation verticale de la vitesse, elle est utilisée pour estimer l'énergie dissipée.
- ❖ G varie de 600 à 1000 s^{-1} et dans notre cas est considérée 600 s^{-1}

$$G = \frac{dv}{dy} = \sqrt{\frac{P}{\mu \cdot v}} \dots\dots (IV.18)$$

$$P = G^2 \cdot v \cdot \mu \dots\dots (IV.19)$$

- G = Le gradient de vitesse (s^{-1})
- P = La puissance fournie au liquide (W)
- ❖ μ = La viscosité ($N.s/m^2$) égale à $10^{-3} N.s/m^2$

❖ **Le diamètre de mélangeur :**

$$P = N_p \cdot n^3 \cdot D^5 \cdot \rho \dots\dots (IV.20)$$

$$D = \sqrt[5]{\frac{P}{N_p \cdot n^3 \cdot \rho}} \dots\dots (IV.21)$$

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

Tableau IV.5 : Constante d'agitation selon le type d'agitateur

Type d'agitateur	Plage de numéro de puissance
Ancre	0.1-0.3
Ruban Hélicoïdal	0.3-0.5
Pagaie	0.3-0.5
Hélice	0.5-2.25
Turbine	2.5-5.0
Disque	5.0-10.0

Le tableau ci-dessous résume les différents résultats obtenus :

Tableau IV.6 : Les différents spécifications du bassin de floculation

Paramètres	Unités	Spécifications
La quantité de réservoirs choisie	-	4
Le débit nominal	m ³ /h	5646
Le débit par réservoir calculé	m ³ /h	1412
La durée de rétention choisie	min	12.5
Le volume total de réservoir calculé	m ³	294.10
La longueur du réservoir	m	8.5
Supposons la profondeur de l'eau dans le réservoir	m	4
La largeur du réservoir	m	8.65
La largeur du réservoir sélectionnée	m	8.5
Les dimensions de l'eau calculé	m	4×8.5×8.5
Le volume réel de l'eau dans le réservoir calculé	m ³	289
Le temps de rétention réel dans le réservoir calculé	min	12.28
La puissance fournie au liquide P	w	44.11
Le diamètre de mélangeur	m	2.1

Tableau IV.7 : Le dosage de polymère utilisés

Paramètres	Unités	Spécifications
La concentration de dosage de polymère	%	0.5
La dose à utiliser	ppm	0.5
La masse volumique	Kg/l	1.06
Le débit total de dosage	l/h	2130.56

➤ **Le calcul hydraulique des pertes à travers le déversoir de sortie de bassin de floculation**

Dans la station de dessalement de Tamda Ouguemoun, l'eau de mer passe du bassin de floculation vers le clarificateur lamellaire grâce à un déversoir situé en surface. Ce déversoir permet à l'eau de s'écouler doucement par gravité, sans créer de turbulence, ce qui évite la destruction des floes formés. L'eau arrive ainsi dans le clarificateur où les floes peuvent se déposer efficacement entre les plaques inclinées, assurant une bonne clarification. Elles sont calculées à l'aide des formules mentionnées aux notes de calculs gravitaires.

Le tableau ci-dessous présente les différents résultats obtenus

Tableau IV.8 : Les différents calculs obtenus des pertes à travers le déversoir de sortie de bassin de floculation

Paramètres	Unités	Spécifications
Pour une chute libre entre la crête du déversoir et la cote d'eau à l'intérieur du canal	m	0.44
La cote de la crête en béton	m	145.68
Le débit par clarificateur	m ³ /s	0.39
Le nombre des canaux	-	1
Le nombre de déversoir	-	1
Le débit par déversoir	m ³ /s	0.39
La longueur du déversoir	m	8.5
Le coefficient de décharge	-	0.4
H	m	0.01
La cote d'eau	m	145.69

➤ **Le calcul hydraulique des pertes par l'ouverture de bassin de floculation**

Au niveau de l'ouverture du bassin de floculation, une perte de charge se produit à cause du passage de l'eau à travers l'orifice. Cette perte est causée par la vitesse de l'écoulement et les effets de turbulence, et elle doit être considérée dans le calcul hydraulique pour maintenir un écoulement stable entre les différentes étapes du traitement. Les pertes par l'ouverture de bassin de floculation sont données par la relation suivante :

$$H = \frac{Q^2}{2g \cdot K^2 \cdot S^2}$$

- **H** : La perte de charge (m)
- **Q** : Le débit (en m³/s) — c'est le volume d'eau qui passe par seconde.
- **g** : L'accélération gravitationnelle ($\approx 9,81 \text{ m/s}^2$).
- **K** : Le coefficient de perte de charge localisée (ici $K=0,7$ qui dépend de la forme de l'ouverture)
- **S** : La surface de l'ouverture (en m²) — c'est la section libre par laquelle l'eau passe

Le tableau ci-dessous résume les différents résultats :

Tableau IV.9 : Les résultats obtenus lors de calculs des pertes par l'ouverture de bassin de floculation

Paramètres	Unités	Spécifications
Le débit transitant	m ³ /s	0.39
Le nombre d'ouverture	-	1
La largeur	m	8.5
La hauteur	m	0.5
La section	m ²	4.25
La vitesse d'écoulement	m/s	0.09
La cote d'eau supérieure du canal	m	145.71
La cote radier du canal	m	141.48
H	m	0.02

➤ **Le calcul hydraulique des pertes à travers le déversoir d'entrée de bassin de floculation**

Le tableau ci-dessous résume les différents résultats obtenus :

Tableau IV.10 : Les résultats de calculs des pertes à travers le déversoir d'entrée de bassin de floculation

Paramètres	Unités	Spécifications
Pour une chute libre entre la crête du déversoir et la cote d'eau à l'intérieur du canal	m	0.26
La cote de la crête en béton	m	145.98
Le débit par clarificateur	m ³ /s	0.39
Le nombre de déversoir	-	1
Le débit par déversoir	m ³ /s	0.39
La longueur du déversoir	m	3
Le coefficient de décharge	-	0.4
H	m	0.05
La cote d'eau	m	146.03

➤ **La maintenance des bassins de floculation**

A la station de dessalement de Tamda Ouguemoun, la maintenance des bassins de floculation joue un rôle clé dans la fiabilité du traitement de l'eau de mer. Elle comprend le nettoyage régulier des bassins pour éliminer les dépôts et éviter l'accumulation de matières solides. Les équipements d'agitation sont soigneusement contrôlés, incluant la vérification des moteurs, des arbres, des pales et le graissage des parties mobiles. L'inspection des parois du bassin permet de repérer d'éventuelles fissures ou signes de corrosion. Un suivi du niveau d'eau et des débits est également effectué pour garantir une agitation douce et homogène. Ces

opérations assurent une bonne formation des floccs avant leur passage vers le clarificateur lamellaire.

IV.3.2.3 : Contraintes de conception d'un système de coagulation-floculation

A la station de dessalement de Tamda Ouguemoun, la conception du système de coagulation-floculation doit répondre à plusieurs contraintes techniques. La coagulation étant assurée par des mélangeurs statiques, il est essentiel de garantir un temps de contact très court et un mélange instantané entre le coagulant et l'eau de mer, ce qui impose un dimensionnement précis de la tuyauterie, du débit et de la vitesse d'écoulement. Pour la floculation, réalisée dans des bassins à agitation lente, la conception doit permettre une agitation douce et uniforme, afin de favoriser la formation de floccs sans les casser. La taille des bassins, la durée de séjour, ainsi que la configuration des mélangeurs mécaniques doivent être adaptés au débit de la station et aux caractéristiques de l'eau brute, tout en assurant une transition fluide entre les deux étapes pour préserver l'efficacité du prétraitement.

IV.3.2.4 : Le décanteur lamellaire

A la station de dessalement de Tamda Ouguemoun, le décanteur lamellaire qu'ils ont prévu, c'est un modèle à **contre-courant** avec des modules tubulaires en forme **d'hexagone**. L'eau brute entre par le bas et remonte lentement à travers ces petits tubes inclinés, pendant que les particules solides, elles, glissent le long des parois et retombent vers le fond. Ce système est super efficace, parce que la forme en nid d'abeille des tubes augmente la surface de décantation sans prendre trop de place. En plus, l'écoulement à contre-courant améliore la séparation entre l'eau claire et les boues.

➤ Les caractéristiques de décanteur lamellaire

Ce décanteur lamellaire repose sur deux paramètres clés :

- **L'espace inter-lamellaire**: Distance entre deux lamelles. Il doit être assez grand pour éviter le bouchage et la remise en suspension des floccs, mais assez petit pour garantir une bonne décantation.
- **L'inclinaison des lamelles (α)** : Angle avec l'horizontale. Il permet l'évacuation gravitaire des floccs tout en assurant une performance optimale.
- Autres caractéristiques :
- **Largeur des lamelles** : 1 à 1,25 m.
- **Epaisseur** : Très fine (millimétrique).
- **Forme** : Modules hexagonaux, utilisés pour augmenter la surface de décantation sans augmenter l'encombrement.

➤ Le nombre des plaques

Le nombre de plaques est calculé de manière à assurer une surface lamellaire suffisante pour garantir une bonne décantation. Il est calculé à partir de la formule suivante :

$$N = \frac{L}{e \times e} \dots\dots(\text{IV.23})$$

- L : La longueur de décanteur (m)
- e : La séparation des lamelles (m)

➤ **La largeur utile**

La largeur utile de décanteur est calculée à partir de la formule suivante :

$$L_u = \frac{L \times l_h}{L_h} \dots\dots(\text{IV.24})$$

- L : La longueur de décanteur (m)
- l_h : La largeur hexagone (m)
- L_h : La longueur hexagone (m)

➤ **La surface utile**

La surface utile de décanteur est calculée à l'aide de la formule suivante :

$$S_u = L_u * N * H \dots\dots(\text{IV.25})$$

- H : La hauteur hexagone (m)

La surface totale projetée est donnée par la relation suivante :

$$STP = S_u * \cos \alpha \dots\dots(\text{IV.26})$$

- α : L'inclinaison des lamelles

Le tableau ci-dessous résume les différentes spécifications et les résultats obtenus :

Tableau IV.11 : Les différents calculs obtenus de dimensionnement de décanteur lamellaire

Paramètres	Unités	Spécifications
Le nombre de décanteur en service parallèle	-	4
Cas(n-1)	-	3
L'efficacité de décantation	%	95
Le débit de conception de l'eau de mer	m ³ /h	5646
La largeur de décanteur	m	14.20
La longueur de décanteur	m	14.20
La hauteur des lamelles	mm	500
La séparation des lamelles	mm	45
L'inclinaison des lamelles		55
La longueur hexagone	mm	70
La hauteur hexagone	mm	36
La largeur hexagone	mm	45
Le nombre des plaques	-	7012
La largeur utile	m	9.12
La surface utile	m ²	2302.17
La surface totale projetée	m ²	1320.47
La charge hydraulique superficielle	m/h	0.7

➤ **Calcul des pertes à travers le bassin de décantation**

Les pertes de charge à travers le bassin de décantation sont prises en compte pour évaluer la résistance à l'écoulement et garantir un bon fonctionnement hydraulique du système. Elles sont calculées à l'aide des formules mentionnées aux notes de calculs gravitaires.

➤ **Calcul du côte d'eau à la sortie des clarificateurs lamellaires**

La chute libre entre le canal d'alimentation du filtre et la côte inférieure du canal de sortie du clarificateur est de 3,76 m, avec une côte de radier du canal fixée à 144,68 m.

➤ **Calcul la hauteur de l'ouverture de canal du déversoir de sortie**

Le tableau ci-dessous résume les différents résultats obtenus :

TableauIV.12 : Résultats obtenus de la hauteur de l'ouverture de canal du déversoir de sortie

Paramètres	Unités	Spécifications
Le débit transitant	m ³ /s	0.39
Le nombre d'ouverture	-	6
La largeur	m	0.43
La hauteur d'eau du canal	m	0.33
Le débit par ouverture	m ³ /s	0.06
La vitesse d'écoulement	m/s	0.45
La côte d'eau avant ouverture	m	145.03
La côte inférieure de l'ouverture	m	144.68

➤ **Calcul des pertes à travers le déversoir triangulaire de sortie d'un décanteur**

Le déversoir triangulaire en sortie du décanteur assure l'évacuation de l'eau clarifiée de manière contrôlée, tout en garantissant une répartition homogène du débit en aval. Le débit transitant est calculé à partir de la formule suivante :

$$Q = C \sqrt{2g} \tan \alpha h^{2.5} \dots\dots(IV.27)$$

- **Q** : Le débit (m³/s)
- **C** : Le coefficient de débit 0.31
- **g** : L'accélération gravitationnelle (9,81 m/s²)
- **α** : demi-angle au sommet du déversoir triangulaire (45°)

Le tableau ci-dessous résume les différents résultats :

TableauIV.13 : Les résultats obtenus des pertes à travers le déversoir triangulaire de sortie d'un décanteur

Paramètres	Unités	Spécifications
La côte de crête en béton	m	145.11
Le débit par clarificateur	m ³ /s	0.39
Le nombre des canaux	-	6
Le nombre des déversoirs	-	10
Le débit par déversoir	m ³ /s	0.04
La longueur de déversoir (b)	m	14.15
Le coefficient de décharge (Cd)	-	0.40
H	m	0.02
La côte d'eau	m	145.13

➤ **Calcul le niveau d'eau à l'intérieur du réservoir de clarificateur à lamelles**

Le tableau ci-dessous résume les différents résultats obtenus :

Tableau IV.14 : Les résultats de calculs de niveau à l'intérieur du réservoir de clarificateur lamellaire

Paramètres	Unités	Spécifications
La côte de l'eau à l'intérieur du clarificateur à lamelles	m	145.13
La profondeur de l'eau	m	4.15
La côte du radier finie du clarificateur	m	140.92

➤ **Calcul des pertes par l'ouverture entrée du clarificateur**

Les pertes de charge à l'entrée du clarificateur proviennent principalement du resserrement de l'écoulement à travers l'ouverture d'entrée. Le tableau ci-dessous résume les résultats obtenus :

Tableau IV.15 : Les résultats de calcul des pertes par l'ouverture d'entrée de clarificateur

Paramètres	Unités	Spécifications
Le débit par clarificateur	m ³ /s	0.39
Le nombre d'ouvertures	-	6
Le débit par ouverture	m ³ /s	0.06
La longueur d'ouverture	m	1.20
La hauteur d'ouverture	m	0.43
La section	m ²	0.52
La vitesse par ouverture	m/s	0.12
Les pertes par ouverture	m	0.06
La côte d'eau à l'entrée de clarificateur	m	145.19

➤ **La maintenance de décanteur lamellaire**

A la station de Tamda Ouguemoun, la maintenance du décanteur lamellaire est essentielle pour garantir une performance stable, surtout pendant les périodes de forte turbidité. Elle consiste principalement à effectuer un nettoyage régulier des modules lamellaires, afin d'éviter leur colmatage par les boues ou les dépôts solides. L'opération se fait en arrêtant progressivement l'alimentation, puis en abaissant le niveau d'eau tout en nettoyant les lamelles à l'eau sous pression. En parallèle, on active le système de raclage pour évacuer les boues accumulées au fond du bassin.

Des inspections périodiques permettent également de vérifier l'état des supports, des joints et des structures internes. Une maintenance bien programmée, généralement deux fois

par an, permet de maintenir un écoulement uniforme à travers les modules, d'éviter les pertes de charge excessives, et de prolonger la durée de vie de l'équipement.

➤ Contraintes de conception de décanteur lamellaire

La conception du décanteur lamellaire à La station de Tamda Ouguemoun doit répondre à plusieurs contraintes clés : assurer une bonne compacité pour s'adapter à l'espace disponible, tout en offrant une surface de décantation suffisante pour traiter des eaux très turbides, notamment en hiver. L'inclinaison des lamelles et l'écartement entre elles doivent être optimisés pour garantir un bon écoulement et éviter le colmatage. La conception doit aussi permettre une maintenance simple et limiter les pertes de charge, tout en respectant les critères hydrauliques fixés par le modèle de Hazen.

IV.3.2.5 : Le filtre à sable

Dans la station de dessalement de Tamda Ouguemoun, les filtres à sable sont alimentés par gravité. Ce mode d'écoulement permet de simplifier le système en évitant l'usage de pompes, tout en assurant une répartition uniforme de l'eau sur toute la surface du filtre. La hauteur disponible entre les deux unités est exploitée pour maintenir la charge hydraulique suffisante au passage de l'eau à travers le lit filtrant. Ce fonctionnement gravitaire garantit une filtration continue, stable et économe en énergie, tout en limitant les pertes de charge excessives et les risques de déséquilibre hydraulique dans le processus global de traitement.

La surface de la filtration est donnée par la relation suivante :

$$S = (\text{Hauteur} * \text{Diamètre}) + 2\text{m}^2 \quad \text{.....(IV.28)}$$

La surface totale de filtration : $S_t = S * \text{Nbr (unités)} \quad \text{.....(IV.29)}$

Le tableau ci-dessous résume les résultats de dimensionnement de filtre à sable :

Tableau IV.16 : Le dimensionnement de filtre à sable

Paramètres	Unités	Spécifications
Le débit total de conception	m ³ /h	5570.06
La concentration d'entrée des solides en suspension	Kg/m ³	0.030
La vitesse de filtration maximale	m/h	8
La surface de filtration requise	m ²	696.26
La longueur des lits de filtre	m	14
La largeur d'un lit de filtre	m	4
Le nombre total des filtres	-	8
Le nombre minimal de filtre en service	-	7
La vitesse de filtration résultante	m/h	7.10

➤ Les médias filtrants

A la station de dessalement de Tamda Ouguemoun, le filtre gravitaire est de type bicouche à double lit, spécialement conçu pour assurer une filtration performante avant l'osmose inverse. Il est composé de plusieurs médias disposés en couches successives :

▪ La couche supérieure (Filtralite)

Média granulaire léger et très poreux, le Filtralite est utilisé en surface pour capter efficacement les particules les plus fines. Sa structure favorise une filtration en profondeur et une excellente rétention des matières en suspension. Le tableau ci-dessous résume ses différentes spécifications et les résultats obtenus :

Tableau IV.17 : Média filtrant de la couche supérieure (Filtralite) 0.8-1.6mm

Paramètres	Unités	Spécifications
La hauteur de la couche	m	0.60
Le volume du média filtrant par lit	m ³	33.60
Le volume du média filtrant par filtre	m ³	67.20
Volume du média filtrant total	m ³	537.60
La densité en vrac	t/m ³	0.70
La masse de média filtrant par filtre	t	47.04
La masse de média filtrant totale	t	376.32

▪ La couche inférieure (Sable quartzique)

Média dense et stable, le sable quartzique assure une seconde étape de filtration plus fine. Il permet de piéger les particules résiduelles qui auraient échappé à la couche supérieure. Le tableau ci-dessous résume ses différentes spécifications et les résultats obtenus :

Tableau IV.18 : Média filtrant de la couche inférieure (Sable quartzique) 0.4-0.8mm

Paramètres	Unités	Spécifications
La hauteur de la couche	m	0.40
Le volume du média filtrant par lit	m ³	22.40
Le volume du média filtrant par filtre	m ³	44.80
Volume du média filtrant total	m ³	358.40
La densité en vrac	t/m ³	1.60
La masse de média filtrant par filtre	t	71.68
La masse de média filtrant totale	t	573.44

▪ La couche de support (Gravier)

Située à la base du filtre, cette couche de gravier permet de soutenir les médias filtrants supérieurs et d'assurer une bonne répartition du flux d'eau vers les drains. Elle contribue également à éviter tout entraînement des grains vers le système de collecte.

Le tableau ci-dessous résume ses différentes spécifications et les résultats obtenus :

Tableau IV.19 : Média de support (Gravier) 2-3.15mm

Paramètres	Unités	Spécifications
La hauteur de la couche	m	0.30
Le volume du média filtrant par lit	m ³	16.80
Le volume du média filtrant par filtre	m ³	33.60
Volume du média filtrant total	m ³	268.80
La densité en vrac	t/m ³	1.60
La masse de média filtrant par filtre	t	53.76
La masse de média filtrant totale	t	430.08

➤ Calcul des pertes de charge de filtre à sable

Dans la station de Tamda Ouguemoun, les pertes de charge à travers le filtre à sable correspondent à la diminution de pression causée par le passage de l'eau à travers les différentes couches filtrantes. Fonctionnant en gravitaire, le filtre est sensible à toute augmentation de cette perte, notamment en cas de colmatage progressif du média filtrant. Ces pertes dépendent principalement de la granulométrie des matériaux, de la vitesse de filtration et de l'encrassement du lit. Lorsque la perte de charge atteint une valeur critique, un lavage à contre-courant est déclenché afin de rétablir un écoulement normal et maintenir l'efficacité du traitement.

Le tableau ci-dessous résume les résultats obtenus :

Tableau IV.20 : Les pertes de charge de filtre à sable

Paramètres	Unités	Spécifications
L'épaisseur du gravier	mm	150
L'épaisseur du sable	mm	800
L'épaisseur de l'anthracite	mm	600
La profondeur totale du support	m	1.55
Les pertes à travers les matières filtrantes	m	0.05
La hauteur d'eau en fonctionnement normal	m	0.25
La côte d'eau en fonctionnement normal	m	142.65
La côte inférieure du canal	m	142.94
Les pertes de charge totales durant la filtration	mCE	0.14

➤ **Lavage des filtres**

A la station de dessalement de Tamda Ouguemoun, le lavage des filtres à sable est une étape essentielle pour garantir un bon fonctionnement du prétraitement. Avec le temps, les particules retenues par les couches filtrantes (Filtralite et sable quartzique) s'accumulent, ce qui augmente progressivement la perte de charge et réduit l'efficacité de la filtration. Pour y remédier, un lavage à contre-courant est réalisé : de l'eau claire est injectée par le bas du filtre pour fluidiser le lit filtrant et entraîner les impuretés vers le système d'évacuation. Ce processus permet de nettoyer les médias sans les retirer, et de restaurer la performance hydraulique du filtre. La fréquence du lavage dépend du niveau de colmatage, généralement surveillé par la perte de charge mesurée entre l'entrée et la sortie du filtre.

IV.3.2.6 : Le réservoir d'eau filtrée

Dans la station de Tamda Ouguemoun, le réservoir d'eau filtrée reçoit l'eau après la filtration sur sable et assure une réserve tampon essentielle. Il permet de stabiliser le débit et de garantir une alimentation continue des étapes suivantes du traitement. Ce réservoir facilite la gestion hydraulique de la station en absorbant les fluctuations d'écoulement et en assurant une transition efficace entre les différentes phases du traitement.

Le dimensionnement de réservoir d'eau filtrée est résumé dans le tableau ci-dessous à partir des formules mentionnées dans le calcul gravitaire :

Tableau IV.21 : Le dimensionnement de réservoir d'eau filtrée

Paramètres	Unités	Spécifications
La longueur	m	16
La largeur	m	15
La hauteur d'eau à utiliser	m	3.86
Le temps de rétention	min	10.01
La côte du radier fini de réservoir	m	133.85
Le volume du réservoir	m ³	926
La côte d'eau max	m	138.01
La côte d'eau min	m	134.15

➤ **Calcul des pertes par l'ouverture réservoir d'eau filtrée**

Les pertes générées à l'ouverture du réservoir d'eau filtrée sont dues à l'effet de contraction de l'écoulement au passage vers l'unité suivante :

Tableau IV.22 : Calcul des pertes par l'ouverture réservoir d'eau filtrée

Paramètres	Unités	Spécifications
Le débit d'eau filtrée	m ³ /h	5555.56
Le nombre d'ouverture	-	5
La largeur d'ouverture	m	1.5
La hauteur d'ouverture	m	0.80
La section	m ²	1.20
Le débit par ouverture	m ³	0.31
La vitesse d'écoulement par ouverture	m/s	0.26
Les pertes par ouverture (donnée)	m	6.88E-03
La côte d'eau à l'entrée du réservoir	m	138.02

IV.3.2.7 : Le filtre à cartouche

➤ Le rôle de la microfiltration

A la station de dessalement de Tamda Ouguemoun, la microfiltration intervient comme une étape de finition du prétraitement, juste avant l'osmose inverse. Son rôle principal est d'éliminer les fines particules, les colloïdes et les micro-organismes résiduels qui pourraient encore être présents après la filtration sur sable. Grâce à des membranes microporeuses, cette barrière physique permet de protéger efficacement les membranes d'osmose inverse contre le colmatage, en améliorant la qualité de l'eau d'alimentation. Elle contribue ainsi à prolonger la durée de vie des membranes et à assurer un fonctionnement stable de l'unité de dessalement, même en période de forte turbidité.

➤ Description et fonctionnement du procédé

A la station de dessalement de Tamda Ouguemoun, le système de filtration à cartouches intervient en prétraitement avant l'osmose inverse. Son rôle principal est d'assurer une filtration de sécurité en retenant les particules fines restantes, afin de protéger efficacement les membranes et les équipements contre tout dommage.

➤ Instructions essentielles pour l'installation

Il est important d'installer le filtre à cartouche dans un endroit accessible pour faciliter son nettoyage et son remplacement. Il faut s'assurer que tous les raccords sont bien étanches afin d'éviter les fuites. La bonne orientation du flux doit être respectée pour garantir une filtration efficace. Enfin, il est essentiel de prévoir un accès simple pour la maintenance régulière et de vérifier la mise à la terre du système pour assurer la sécurité.

➤ Calcul de filtre à cartouche

La surface de chaque cartouche est donnée par la relation suivante :

$$S = \text{diamètre} * \text{longueur} \dots\dots(\text{IV.30})$$

Le nombre des cartouches pour chaque filtre est donné par la relation suivante :

$$N = \frac{Q}{V \times S} \dots\dots(\text{IV.31})$$

- **Q** : Le débit pour chaque filtre m³/h
- **V** : La vitesse de filtration m/h
- **S** : La surface de chaque cartouche m²

La surface totale des cartouches par un seul filtre est donnée par la relation suivante :

$$S_t = S * N \dots\dots(\text{IV.32})$$

La vitesse adoptée est donnée par la relation suivante :

$$V = \frac{Q}{S_t} \dots\dots(\text{IV.33})$$

Les résultats de calculs de filtre à cartouche sont résumés au tableau ci-dessous :

Tableau IV.23 : Calcul de filtre à cartouche

Paramètres	Unités	Spécifications
Le diamètre de cartouche	mm	1270
La longueur de cartouche	mm	61
Le débit pour chaque filtre	m ³ /h	928.34
La perte de charge	bar	1
La vitesse de filtration	m/h	4.18
Le seuil de rétention	µm	5
La capacité de filtration	%	99
La surface de chaque cartouche	m ²	0.78
Le nombre des cartouches pour chaque filtre	-	290
La surface totale des cartouches	m ²	226.2
La vitesse adoptée	m/h	4.10

➤ La maintenance de filtre à cartouche

A la station de Tamda Ouguemoun, la maintenance du filtre à cartouche consiste principalement à remplacer régulièrement les cartouches usées afin de garantir une protection continue des membranes d'osmose inverse. La fréquence de remplacement dépend du niveau de colmatage, souvent suivi par la perte de charge à l'entrée et à la sortie du filtre. Il est

également important de nettoyer le corps du filtre lors de chaque intervention pour éviter toute accumulation de dépôts ou de micro-organismes. Un contrôle visuel de l'état des joints et des connexions est recommandé à chaque opération.

CONCLUSION

Le dimensionnement du prétraitement de la station de dessalement de Tamda Ouguemoun a permis d'aboutir à une conception optimisée et adaptée aux caractéristiques spécifiques de l'eau brute disponible dans cette région. En tenant compte des exigences du procédé de dessalement par osmose inverse, les différentes étapes de prétraitement ont été rigoureusement définies afin d'assurer une protection efficace des membranes, de réduire les risques d'encrassement, et de garantir la qualité de l'eau traitée.

Les choix techniques réalisés, qu'il s'agisse des débits, des types d'unités ou des paramètres de fonctionnement, s'inscrivent dans une logique de performance, de durabilité et de fiabilité de l'installation. Ce dimensionnement constitue ainsi une base solide pour la mise en œuvre opérationnelle du projet, tout en assurant une réponse pérenne aux besoins en eau potable de la région de Tamda Ouguemoun.

Chapitre V :

Les coûts d'investissement de prétraitement

V.1 : Introduction

Dans ce chapitre, nous présentons une estimation détaillée des coûts d'investissement liés à la chaîne de prétraitement de la station de dessalement de Tamda Ouguemoun. Cette étape est stratégique pour évaluer les besoins financiers nécessaires à la mise en place des unités de traitement et assurer la viabilité économique du projet.

Les objectifs de ce chapitre sont :

- Évaluer le coût des principaux équipements (dégrillage, coagulation-floculation, décantation lamellaire, filtration, pompage, réservoirs, tuyauteries, instrumentation, génie civil) ;
- Identifier les postes les plus onéreux et analyser leur poids relatif dans le budget total ;
- Vérifier la cohérence des résultats obtenus par rapport aux stations similaires et proposer des perspectives d'amélioration économique.

V.2 : L'estimation des coûts d'investissement de la chaîne de prétraitement

La station de dessalement de Tamda Ouguemoun nécessite un ensemble d'équipements de prétraitement robustes et adaptés pour garantir la qualité de l'eau avant l'étape d'osmose inverse. L'investissement dans ces équipements représente une part importante du budget global du projet. En effet, les coûts englobent l'acquisition de dégrilleurs grossiers et tamis fins pour éliminer les débris, les dessableurs pour le retrait des particules solides, ainsi que les cuves et systèmes de coagulation-floculation indispensables à la clarification de l'eau. S'ajoutent à cela les filtres à sable, les filtres à cartouche et les pompes spécifiques qui assurent la circulation efficace de l'eau. Chaque équipement doit répondre à des normes strictes de performance, de sécurité sanitaire et de durabilité, ce qui influence directement leur coût. Par ailleurs, les particularités du site de Tamda Ouguemoun, telles que son éloignement géographique, la topographie du terrain et la nature physico-chimique de l'eau brute, augmentent les frais liés au transport, à l'installation et aux travaux de génie civil. Ainsi, l'estimation précise de ces coûts d'investissement est cruciale pour assurer la viabilité technique et économique du projet, maîtriser les dépenses et prévenir tout dépassement budgétaire.

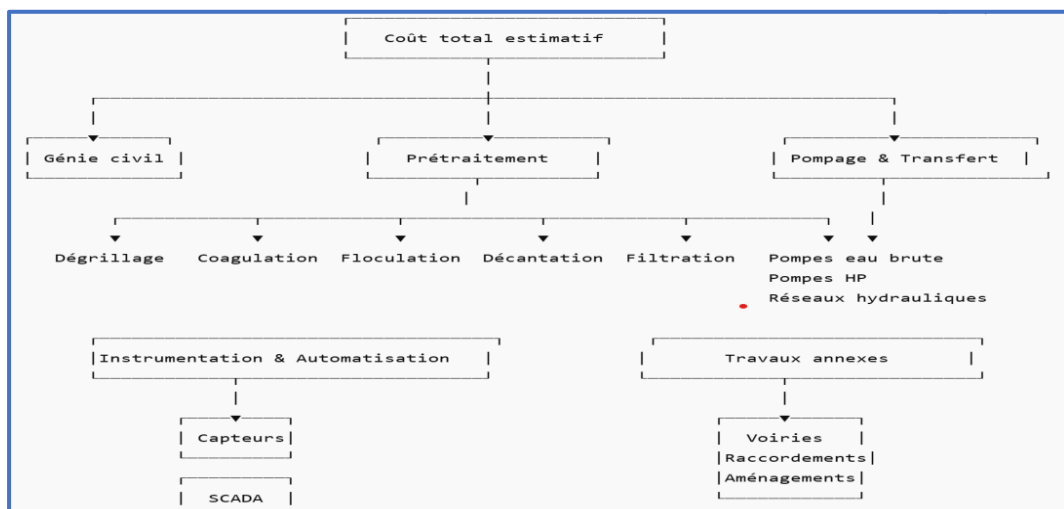


Figure V.1 : Schéma explicatif de la chaîne de prétraitement

V.2.1 : Estimation des coûts des équipements de traitement primaire**TableauV.1 :** Estimation des coûts des équipements de traitement primaire

Désignation	Qté	Prix unitaire (DA)	Observation
Dégrilleur grossier inox	2	300 000	Pour débris > 10 mm
Tamis fin automatique	2	120 000	Pour particules fines
Panier filtrant	2	90 000	Sécurité en amont des pompes
Canal béton (prise d'eau)	1	450 000	Structure d'entrée de l'eau brute
Grille de sécurité manuelle	1	100 000	Protection contre gros objets

V.2.2 : Coagulation – Flocculation**TableauV.2 :** Estimation des coûts des équipements de coagulation flocculation

Désignation	Qté	Prix unitaire (DA)	Observation
Mélangeur statique inox	4	180 000	Mélange rapide des réactifs
Réservoirs de flocculation (500L)	2	140 000	Stockage des produits chimiques
Bassin de flocculation	4	120 000	L'agrégation des particules fines en floccs
Pompes doseuses (manuel)	2	95 000	Injection de produits
Agitateur motorisé	2	180 000	Mélange lent pour flocculation
Canaux de mélange	1	200 000	Béton ou PRV

V.2.3 : La décantation lamellaire**TableauV.3 :** Estimation des coûts des équipements de décantation lamellaire

Désignation	Qté	Prix unitaire (DA)	Observation
Décanteur lamellaire	4	320 000	Avec plaques inclinées
Système de purge automatique	4	75 000	Extraction boues
Grilles de répartition	4	45 000	Uniformisation des flux
Vannes de vidange manuelle	4	25 000	Entretien

V.2.4 : La filtration**TableauV.4 :** Estimation des coûts des équipements de la filtration

Désignation	Qté	Prix unitaire (DA)	Observation
Filtre à sable gravitaire	8	220 000	Filtration gravitaire
Média filtrant (sable + anthracite)	8	60 000	Rechargement interne
Filtre à cartouche (10µ)	6	143 313	Préfiltration finale
Système de rinçage air/eau	1	240 000	Nettoyage automatique

V.2.5 : Pompes et systèmes de transfert**TableauV.5 :** Estimation des coûts des pompes et systèmes de transfert

Désignation	Qté	Prix unitaire (DA)	Observation
Pompe de secours	1	600 000	Sécurité
Pompe d'aspiration initiale	2	480 000	Depuis canal de prise d'eau
Coffret de commande	4	150 000	Marche/arrêt + variation vitesse

V.2.6 : Les réservoirs**TableauV.6 :** Estimation des coûts des réservoirs et tamponnage

Désignation	Qté	Prix unitaire (DA)	Observation
Réservoir d'eau filtrée béton 100 m³	1	450 000	Eau clarifiée ou brute
Vanne guillotine	2	45 000	Isolation pour entretien
Niveau à flotteur	2	25 000	Contrôle de niveau passif

V.2.7 : Tuyauteries et vannes

TableauV.7 : Estimation des coûts de tuyauteries et vannes

Désignation	Quantité	Prix unitaire (DA)	Observation
Tuyauterie PVC/acier DN150	800 m	1 300	Interconnexion
Vannes manuelles (papillon)	20 unités	30 000	Contrôle local
Vannes motorisées	10 unités	60 000	Contrôle automatisé
Raccords, coudes, brides	1 lot	500 000	Accessoires divers
Supports et fixations	1 lot	300 000	Installation tuyauterie

V.2.8 : Instrumentation et automatisation**TableauV.8 :** Estimation des coûts d'Instrumentation et automatisation

Désignation	Qté	Prix unitaire (DA)	Observation
Capteur de débit électromag.	4	45 000	Suivi en continu
Capteur de turbidité	2	90 000	Qualité eau filtrée
Armoire PLC	1	1 500 000	Automate de contrôle
Interface opérateur (HMI)	1	500 000	Écran de supervision
Câblage & réseau	1 lot	300 000	Liaisons électriques et data
Capteur de pression	6	25 000	Réseau de surveillance
Capteur SDI	3	25 800	Mesure des paramètres environnementaux
Capteur des hydrocarbure	3	500 000	Détecteur de présence des huiles
Capteur pH	5	150 000	Mesure l'acidité et l'alcalinité

V.2.9 : Génie civil et aménagements

Tableau V.9 : Estimation des coûts de génie civil et aménagement

Désignation	Qté	Prix unitaire (DA)	Observation
Plateformes béton armé	1lot	900 000	Support pompes et réservoirs
Locaux techniques préfabriqués	1	1 000 000	Protection électrique / instrumentation
Caniveaux techniques	150 m	3 500	Passage câbles et tuyaux
Fondation filtre	8	80 000	Support béton pour filtres à sable
Bassin de captage	1	500 000	Collecte d'eau

V.3 : L'estimation des coûts totaux

L'investissement total des équipements de prétraitement s'élève à la somme des coûts des équipements principaux (filtration, coagulation-floculation, pompage, etc.) et des équipements auxiliaires indispensables à leur mise en service et bon fonctionnement. Il est donné ci-dessous :

$$C_{inv} = C1 + C2 + C3 + C4 + C5 + C6 + C7 + C8 + C9$$

Avec :

- C1 : Coût de traitement primaire
- C2 : Coût de la coagulation floculation
- C3 : Coût de la décantation lamellaire
- C4 : Coût de la filtration
- C5 : Coût des pompes et système de transfert
- C6 : Coût des réservoirs
- C7 : Coût de tuyauteries et de vannes
- C8 : Coût d'instrumentation et automatisation
- C9 : Coût de génie civil

Tableau V.10 : Estimation des coûts des équipements de prétraitement

Les parties de prétraitement	Le prix (DA)
Équipements de traitement primaire C1	1 570 000
Coagulation floculation C2	2 230 000
Décantation lamellaire C3	1 860 000
Filtration C4	3 339 878
Pompes et système de transfert C5	2 160 000
Réservoirs C6	590 000
Tuyauterie e vannes C7	3 040 000
Instrumentation et automatisation C8	5 012 400
Génie civil C9	3 565 000

$$C_{inv} = 23367278 \text{ DA}$$

V.3 : Analyse et discussion des coûts

L'analyse des résultats montre que les postes les plus onéreux concernent l'instrumentation (21 % du budget total), la filtration (14 %) et le génie civil (15 %).

Ces trois postes représentent à eux seuls plus de la moitié des investissements. La comparaison avec des stations similaires en Algérie indique que le coût du prétraitement représente généralement 25 à 35 % du coût global d'une station de dessalement, ce qui confirme la cohérence de l'estimation réalisée.

V.4 : Conclusion

Dans ce chapitre, on conclut que :

- Le coût total d'investissement de la chaîne de prétraitement a été estimé à 23,37 millions DA.
- Les postes les plus coûteux concernent l'instrumentation (21 %), la filtration (14 %) et le génie civil (15 %), représentant plus de la moitié du budget global.
- La répartition des coûts est cohérente avec les ratios observés dans des stations similaires en Algérie, où le prétraitement représente en moyenne 25 à 35 % du coût global d'une station de dessalement.
- Le prétraitement constitue une étape déterminante, car il conditionne directement la performance et la rentabilité de l'osmose inverse.
- L'intégration des coûts d'exploitation dans les analyses futures permettra de disposer d'une vision complète et réaliste de la durabilité financière et technique de l'installation .

Chapitre VI :

Performance, optimisation et perspectives du prétraitement

VI.1 Introduction :

Dans ce chapitre, nous analysons la performance du prétraitement dans le cas de la station de dessalement de Tamda Ouguemoun et proposons des pistes d'optimisation adaptées au contexte local.

Les objectifs de ce chapitre sont :

- Évaluer l'impact du prétraitement sur la durée de vie des membranes, le rendement global et les coûts opérationnels ;
- Identifier les principaux problèmes rencontrés (fouling, corrosion, variabilité saisonnière) ;
- Proposer des solutions techniques et organisationnelles permettant d'optimiser l'efficacité et la durabilité du prétraitement ;
- Esquisser des perspectives d'évolution technologique et de gestion adaptées aux besoins futurs de la station.

VI.2 Influence sur la durée de vie des membranes et la performance :

Un prétraitement bien conçu et entretenu est essentiel pour garantir la longévité et l'efficacité des membranes d'osmose inverse dans les stations de dessalement. Selon Al-Wazzan et al. (2021), une installation dotée d'un prétraitement performant peut prolonger la durée de vie des membranes jusqu'à 7 ans, contre seulement 2 à 3 ans en cas de colmatage répété dû à une filtration insuffisante ou à l'encrassement biologique. En Algérie, la station de Cap Djinet en est un exemple notable : elle maintient une production stable à 95 % de sa capacité nominale, avec seulement deux nettoyages chimiques par an, grâce à une chaîne de traitement bien adaptée à la qualité locale de l'eau (Benamara et al., 2023). Cette problématique est directement pertinente pour la future station de Tamda Ouguemoun, où l'eau de mer présente une salinité élevée (~38 g/L) et une turbidité moyenne de 3 NTU, associées à la présence de micro-algues et de matières colloïdales. Ces caractéristiques exigent un prétraitement optimisé (coagulation, floculation, filtration granulaire) afin de limiter le colmatage des membranes, améliorer le rendement énergétique et garantir la durabilité de l'installation.

Tableau VI.1 : La comparaison entre l'influence d'un prétraitement optimal et un prétraitement insuffisant (Younsi et al 2022)

Critère	Prétraitement optimal	Prétraitement insuffisant
Durée de vie des membranes	5 à 7 ans	2 à 3 ans
Fréquence de nettoyage (CIP)	1 à 2 fois par an	1 à 2 fois par mois
Production d'eau	Stable ($\geq 95\%$)	Fluctuante ($\leq 85\%$)
Consommation énergétique	3,5 à 4,0 kWh/m ³	5,0 à 6,2 kWh/m ³
Coût opérationnel annuel	Modéré	Élevé (remplacement et maintenance fréquents)

VI.3. Problèmes rencontrés de prétraitement :

• **Encrassement (fouling)** : Accumulation de matières colloïdales, particules minérales, et biofilms. Ce phénomène est accentué par la richesse en matière organique de l'eau brute de mer (Mohammedi et al., 2019).

Tableau VI.2 : Types d'encrassement rencontrés (Younsi et al 2022)

Type d'encrassement	Origine	Conséquences
Colloïdal	Argiles, limons, silice, matières fines	Baisse du flux de perméat, augmentation de la pression
Organique	Matière organique naturelle (acides humiques, fulviques)	Croissance bactérienne, biofilm, odeurs
Biologique (biofouling)	Bactéries, algues, micro-organismes marins	Formation de biofilm, perte de perméabilité
Chimique (scalant)	Précipitation de sels (CaCO_3 , CaSO_4 , BaSO_4)	Blocage partiel des pores, baisse du rendement
Particulaire	Sable, micro-débris, corrosion des canalisations	Érosion des surfaces membranaires

• **Corrosion** : La **corrosion** est un autre problème majeur, affectant les **conduites, pompes, vannes et échangeurs**.

○ Origines principales :

- **Présence de chlorures** : Agressivité élevée de l'eau de mer vis-à-vis des aciers inoxydables (surtout au-delà de 20 °C).
- **pH instable** : Des variations entre 6,2 et 8,8 .
- **Oxydants résiduels** : Notamment du chlore libre mal neutralisé après préchlorination.

○ Conséquences :

- **Fuites prématurées** au niveau des brides et raccords,
- **Contamination de l'eau prétraitée** par métaux dissous (Fe, Zn),
- **Interventions coûteuses** de remplacement de sections de canalisations en inox.

• **Variabilité saisonnière de la qualité de l'eau brute** : Les épisodes de tempêtes, les crues côtières ou les proliférations algales (bloom) modifient considérablement les paramètres initiaux (Djeridi et al., 2021).

○ Facteurs aggravants :

- **Tempêtes hivernales** : augmentation de la turbidité (> 4 NTU), matières organiques remises en suspension.
- **Floraisons algales** (printemps-été) : hausse de la concentration en matière organique dissoute (TOC) et AOC (carbone assimilable).

- **Ruissellement pluvial** : injection ponctuelle de sédiments, nitrates, phosphates et matières organiques.
- Impact sur le prétraitement :
- **Saturation rapide des filtres multimédias** : nécessité de rétro-lavage toutes les 8–12 heures en période de crise.
- **Consommation excessive de coagulants/floculants** : adaptation chimique fréquente, instabilité de l'efficacité de la clarification.

VI.4 Solutions techniques :

Pour améliorer le fonctionnement du prétraitement à la station de Tamda Ouguemoun, il est nécessaire d'appliquer des solutions techniques adaptées. Ces mesures permettent de limiter l'encrassement des membranes, de prévenir la corrosion, de mieux gérer la qualité de l'eau brute et d'assurer une maintenance régulière. Le tableau ci-dessous présente les principales solutions mises en œuvre pour résoudre ces problèmes :

Tableau VI.3 : Les différents solutions techniques(Rekhroukh 2023)

Catégorie	Solutions techniques proposées
Encrassement (colloïdal, organique)	- Optimiser la coagulation/floculation (FeCl_3, sulfate d'aluminium) - Ajouter un floculant polymère - Installer microfiltration ou ultrafiltration- - Surveiller l'indice SDI (objectif : < 3)
Biofouling (encrassement biologique)	- Dosage contrôlé de biocide - Nettoyage alcalin régulier (NaOH + agents chélatants) - Suivi du TOC (carbone organique total)
Corrosion	- Neutraliser le chlore (bisulfite de sodium) - Stabiliser le pH (entre 6,8 et 7,5) - Utiliser matériaux résistants : PEHD, Inox Duplex, FRP
Variabilité de l'eau brute	- Installer des capteurs en ligne (turbidité, pH, température, SDI) - Ajouter un bassin de stockage tampon- - Adapter les doses chimiques selon les saisons
Filtres sous-dimensionnés / saturés	- Remplacer par des filtres multicouches (sable, anthracite) - Ajouter un système de rétro lavage automatique - Utiliser cartouches plissées ou autonettoyantes
Manque d'automatisation	- Installer un système de supervision (SCADA) - Automatiser le dosage chimique - Mettre en place des alarmes en cas de dérive
Maintenance insuffisante	- Plan de maintenance préventive mensuelle - Contrôle régulier des pompes, filtres, sondes

VI.5 Recommandation pour l’optimisation

1. Renforcement de la surveillance en temps réel
- Installer des **capteurs automatiques** pour suivre en continu la turbidité, l’indice SDI, la température, et la conductivité (Younsi et al., 2022).
 - Connecter ces capteurs à un **système SCADA** pour une gestion centralisée des données et des alertes en salle de contrôle (Rekhroukh, 2023).
 - Assurer un **calibrage régulier** des capteurs pour éviter les erreurs de mesure (Benali et al., 2020).
2. Automatisation des opérations de prétraitement
- Mettre en place un **pilotage automatique** du débit, du nettoyage des filtres et des pompes (La Sentinelle, 2025).
 - Automatiser les cycles de lavage des filtres en fonction de la perte de charge ou de la turbidité mesurée (APS, 2024).
 - Utiliser un **historique des données** pour ajuster les cycles selon les variations saisonnières (El Watan, 2024).
3. Amélioration de l’efficacité des systèmes de filtration
- Remplacer les filtres à sable simples par des **filtres multicouches** (sable + anthracite) pour une meilleure rétention des particules fines (ANDE, 2025).
 - Ajouter une étape de **microfiltration ou ultrafiltration** avant les membranes d’osmose inverse pour améliorer la qualité de l’eau prétraitée (Filali, 2023).
 - Installer des **tamis automatiques ou rotatifs** à l’entrée de la prise d’eau brute pour éliminer les débris solides (Rekhroukh, 2023).

Tableau VI.4 : Les paramètres clés à surveiller (Normes de l’OMS 2023)

Indicateur	Seuil recommandé	Effets en cas de dépassement
Turbidité	< 0,5 NTU	Encrassement rapide des membranes
SDI (Silt Density Index)	< 3 (idéalement < 2,5)	Colmatage prématuré
pH	6,5 – 8,0	Corrosion ou inefficacité chimique
TOC (mg/L)	< 2 mg/L	Croissance microbienne
Chlore libre	< 0,1 mg/L	Dégradation des membranes polymères

VI.6 Perspectives :

L'optimisation du prétraitement dans les stations de dessalement est essentielle pour garantir la qualité de l'eau, prolonger la durée de vie des membranes et réduire les coûts opérationnels. Face aux variations saisonnières et à la demande croissante, il est nécessaire d'intégrer des technologies avancées, d'automatiser les processus et d'améliorer la gestion des ressources pour assurer une production d'eau stable et durable.

Dans notre cas la station de Tamda, confrontée à une **forte turbidité en hiver** et une **demande accrue en été**, nécessite des ajustements spécifiques pour garantir un fonctionnement optimal :

- **Ajout de l'ultrafiltration (UF)** : pour renforcer la barrière contre les matières colloïdales et assurer un **SDI stable**, même en hiver.
- **Automatisation intelligente** : des cycles de lavage des filtres selon les variations de turbidité, pour limiter l'encrassement et économiser l'eau.
- **Surveillance continue** : capteurs en ligne (turbidité, SDI, température) à la prise d'eau pour anticiper les pics de pollution marine ou les épisodes de crue.
- **Réduction des consommations énergétiques** : grâce à des pompes à variateur de vitesse adaptées à la saisonnalité de la demande.
- **Recyclage des eaux de lavage** : pour limiter les pertes hydriques, notamment durant les lavages fréquents en saison humide.
- **Formation ciblée du personnel** : pour une gestion réactive en cas de dégradation de la qualité de l'eau de mer.

VI.7 Conclusion :

Dans ce chapitre, on conclut que :

- Le prétraitement joue un rôle déterminant dans la durabilité des membranes (jusqu'à 7 ans avec un système efficace, contre 2–3 ans sinon).
- Les problèmes majeurs identifiés concernent l'encrassement (colloïdal, organique, biologique), la corrosion des conduites et la variabilité saisonnière de la qualité de l'eau brute.
- Les solutions prioritaires incluent : une surveillance en temps réel (capteurs SDI, turbidité, pH), l'automatisation des opérations (SCADA, lavage automatique des filtres), et l'amélioration de la filtration (multicouche, UF/MF).
- La réussite du projet repose aussi sur une maintenance préventive rigoureuse et la formation continue du personnel.

Les perspectives futures s'orientent vers une optimisation énergétique, le recyclage des eaux de lavage, et l'intégration de technologies avancées de filtration pour anticiper les évolutions climatiques et garantir un approvisionnement durable en eau potable.

CONCLUSION GENERALE

Dans un contexte national marqué par une forte pression sur les ressources en eau conventionnelles, le recours au dessalement de l'eau de mer devient une nécessité stratégique pour répondre durablement aux besoins en eau potable, notamment dans les zones côtières. La wilaya de Tizi Ouzou, et plus précisément la région de Tamda Ouguemoun, fait face à des défis importants en matière d'alimentation en eau, rendant indispensable la mise en œuvre de solutions alternatives comme le dessalement. C'est dans cette optique que s'inscrit le projet de réalisation de la station de dessalement de Tamda Ouguemoun, dont ce mémoire traite un aspect fondamental : le dimensionnement de la chaîne de prétraitement.

Ce travail a permis d'aborder en profondeur l'importance du prétraitement dans le bon fonctionnement d'une station de dessalement. En effet, la qualité de l'eau de mer brute prélevée dans la zone de Tamda Ouguemoun nécessite un traitement adapté en amont du processus de dessalement par osmose inverse, afin de protéger les membranes, garantir leur performance sur le long terme et limiter les coûts d'exploitation. L'étude a été structurée de manière progressive, en commençant par une généralité sur le dessalement de l'eau de mer, suivie d'un aperçu des différents systèmes de prétraitement existants. Une analyse approfondie de la zone d'étude de Tamda Ouguemoun a ensuite été réalisée pour identifier les contraintes et les caractéristiques spécifiques du site. Sur cette base, le dimensionnement technique de la chaîne de prétraitement a été effectué, en tenant compte des paramètres physico-chimiques relevés localement. Enfin, une estimation des coûts d'investissement a été présentée afin d'évaluer la faisabilité économique de la solution proposée.

Les résultats obtenus ont conduit à la proposition d'un schéma de prétraitement adapté aux conditions locales de la station de dessalement de Tamda Ouguemoun, conciliant efficacité technique, optimisation économique et durabilité opérationnelle. Ce mémoire constitue ainsi une contribution concrète à la conception de cette infrastructure essentielle pour la région, tout en mettant en lumière les enjeux techniques liés à la qualité de l'eau de mer et à la configuration du site.

Il est toutefois important de souligner que cette étude repose sur une campagne de prélèvement ponctuelle. Il serait donc pertinent, pour les phases ultérieures du projet, d'approfondir la connaissance du milieu marin de Tamda Ouguemoun à travers un suivi saisonnier et une évaluation plus fine des variations de la qualité de l'eau. Par ailleurs, l'intégration des énergies renouvelables et la prise en compte des impacts environnementaux du rejet de saumure pourraient enrichir la réflexion autour d'un développement plus durable de la station.

Liste des Références

- Amy, G. (2008). Fundamental understanding of organic matter fouling of membranes. *Desalination*, 231(1-3), 44-51.
- El-Dessouky, H., & Ettouney, H. (2002). *Fundamentals of Salt Water Desalination*. Elsevier.
- Ghaffour, N., Missimer, T. M., & Amy, G. L. (2013). Technical review and evaluation of the economics of water desalination: Current and future challenges for better water supply sustainability. *Desalination*, 309, 197–207.
- Gude, V. G. (2016). Desalination and sustainability – An appraisal and current perspective. *Water Research*, 89, 87–106.
- Qiblawey, H. M., & Banat, F. (2008). Solar thermal desalination technologies. *Desalination*, 220(1–3), 633–644.
- Voutchkov, N. (2018). Pretreatment for Reverse Osmosis Desalination. *Water Treatment Technology*.
- ANBT (2023). Rapport sur la stratégie nationale du dessalement et la sécurisation de l'eau potable. Agence Nationale des Barrages et Transferts, Algérie.
- Amy, G. (2008). Fundamental understanding of organic matter fouling of membranes. *Desalination*, 231(1–3), 44–51.
- El-Dessouky, H., & Ettouney, H. (2002). *Fundamentals of Salt Water Desalination*. Elsevier.
- Ghaffour, N., Missimer, T. M., & Amy, G. L. (2013). Technical review and evaluation of the economics of water desalination: Current and future challenges for better water supply sustainability. *Desalination*, 309, 197–207.
- Voutchkov, N. (2018). Pretreatment for Reverse Osmosis Desalination. *Water Treatment Technology*.
- Voutchkov, N. (2018). Energy use for membrane seawater desalination—current status and trends.
- Ghaffour, N., Missimer, T., Amy, G. (2013). Technical review and evaluation of the economics of water desalination : Current and future challenges.
- ONU (2020). The United Nations World Water Development Report 2020.
- Al-Wazzan, S., El-Harbawi, M., & Yusup, S. (2021). Effect of pretreatment on membrane fouling in seawater desalination. *Desalination and Water Treatment*, 215, 120–128.
- Benali, A., Nouioua, K., & Mechehoud, D. (2020). Étude comparative des coagulants dans le traitement des eaux de mer. *Journal Algérien des Sciences Appliquées*, 6(2), 67–74.
- Benamara, A., & Cherif, R. (2023). Suivi opérationnel d'une station de dessalement à Cap Djinet. *Revue Algérienne de l'Eau*, 11(1), 14–22.
- Chibane, M., & Khelifa, A. (2020). Impact des paramètres de prétraitement sur la performance des unités OI. *Annales de l'Institut de Génie Hydraulique*, 12(4), 75–84.
- Djeridi, I., Bouzid, S., & Guergueb, N. (2021). Caractérisation saisonnière des eaux de mer destinées au dessalement. *Revue des Ressources en Eau*, 9(1), 45–55.
- Mohammedi, A., Boudghene Stambouli, A., & Bouchelaghem, F. (2019). Enjeux environnementaux du dessalement en Algérie. *Eau et Développement Durable*, 5(2), 55–65.
- Younsi, A., & Men

Liste des Références
