

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE 20 AOÛT 1955 SKIKDA

FACULTE DE TECHNOLOGIE

DÉPARTEMENT DE GÉNIE DES PROCÉDÉS



Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de

MASTER

Filière : Génie des procédés

Spécialité : Ingénierie & Gestion de l'Eau

*ETUDE DES PERFORMANCES DE LA NOUVELLE STATION
DE DESSALEMENT DE L'EAU DE MER EL-MARSA SKIKDA*

Soutenu le 25/06/2023

Réalisé par : - Boudireb Ghozlane
- Bouhezza Maissa
- Ouasta Imene

Encadré par : - Mme. MEKHALIF Fayza

Année Universitaire 2022-2023

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITÉ 20 AOÛT 1955 SKIKDA

FACULTE DE TECHNOLOGIE

DÉPARTEMENT DE GÉNIE DES PROCÉDÉS



Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de

MASTER

Filière : Génie des procédés

Spécialité : Ingénierie & Gestion de l'Eau

*ETUDE DES PERFORMANCES DE LA NOUVELLE STATION
DE DESSALEMENT DE L'EAU DE MER EL-MARSA SKIKDA*

Soutenu le 25/06/2023

Réalisé par : - Boudireb Ghazlane
- Bouhezza Maissa
- Ouasta Imene

Encadré par : - Mme. MEKHALIF Fayza

Année Universitaire 2022- 2023

Remerciement

Nous remercions en premier lieu ALLAH le tout puissant de nous avoir illuminé et ouvert les portes de savoir, et de nous avoir donné la volonté et le courage d'élaborer ce travail.

Tout d'abord, j'adresse particulièrement mes remerciements à notre Encadreur Melle Mekhalif Faiza qui a été toujours présente à nos côtés durant cette année pour nous orienter et nous donner beaucoup d'aide et qui nous a permis d'approfondir au maximum nos travaux afin de pouvoir être fières aujourd'hui du travail réalisé.

Aux membres du jury pour avoir pris la peine d'évaluer ce modeste travail.

Merci à tous les enseignants artisans de notre formation universitaire.

Enfin, A tous ceux qui ont contribué à l'avancement et à la Réalisation de ce Mémoire, j'exprime mes profonds remerciements.

Merci à tous et à toutes.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail en signe de
Reconnaissance et de respect A ma chère Maman, Et mon cher Père,

A toute ma famille, A mes proches

A tous mes amies et mes collègues.

Et sur tout A mes deux camarades Lotfi et Nourhane qu'ils m'ont beaucoup aidé
dans rédaction de mon mémoire

GHOZLANE

Dédicace

Je dédie ce travail

À ceux qui ont adoré Dieu avec prestige et dignité, à ceux qui m'ont appris à donner sans attendre. À qui je porte fièrement son nom... Cher Père

Et à mon ange dans la vie... Au sens de l'amour et au sens de la tendresse
ma chère maman ♥

Je remerciais mes collègues.

Avec eux, nous avons travaillé et participé à l'achèvement du projet de fin d'études

Et à ceux qui sont chers, à qui men supporte dans les bons et les mauvais moments, Merci.

IMENE

SOMMAIRE

LISTE DES FIGURES LISTE DES TABLEAUX Résumé

Introduction générale	01
Chapitre I : généralités et classification des procédés de dessalement	
I.1. Introduction.....	03
I.2. Définition du phénomène de dessalement de l'eau de mer.....	03
I.3. Historique du dessalement.....	04
I.4. Impact de dessalement.....	05
I.5. L'expérience Algérienne en matière de dessalement.....	08
I.6. Classification des différents procédés de dessalement.....	09
I.6.1. Procédés de dessalement thermique.....	10
I.6.1.1. Distillation.....	10
I.6.1.2. Congélation.....	15
I.6.2. Procédés de dessalement membranaire	15
I.6.2.1 L'osmose inverse.....	15
I.6.2.2. L'électrodialyse.....	17
I.7. Conclusion	18
Chapitre II : Dessalement de l'eau de mer par osmose inverse	19
Partie I.....	19
II.1 introduction.....	19
II.2 Principe de l'osmose inverse.....	19
II.3 Historique de l'osmose inverse.....	20
II.4 Les éléments constitutifs d'osmose inverse.....	21
II.5. Unité d'osmose inverse	21
II.6. Poste traitement	21
II.7. Poste de nettoyage chimique	22
II.5 Les modules d'osmose inverse	22
II.6 La fonction de l'osmose inverse.....	23

II.7 Définition de membrane.....	23
II.7.1 Technologie de membrane.....	23
II.7.2 Les types de membrane.....	23
1- Membranes organiques	25
2- Membranes minérales	27
3- Membranes composites	28
III.7.3 Nettoyage de membrane.....	28
1. Les rétro lavages	28
2. Les nettoyages chimiques	30
3. Nettoyage enzymatique	30
II.7.4 Durée de vie de membrane.....	30
II.8 Prise d'eau de mer.....	30
Partie 02.....	31
II.9 Traitement de l'eau de mer.....	31
1. Prise d'eau de mer	31
2. Propriétés et analyse de l'eau de mer	32
3. Coagulation et floculation	32
4. Inhibiteur d'entartrage	32
5. Désinfection	33
6. Décantation	33
7. Déchloration	33
8. Filtration	33
9. Microfiltration	33
II.10 Correction de la corrosivité et Reminéralisation	34
II.11 Impact de la station de dessalement sur l'environnement	34
1- Impacts positifs	34
2- Impacts négatifs	34
II.12 Conclusion	35

Chapitre III : Présentation de la station de dessalement d'eau de mer d'El

Marsa Skikda

III.1. Introduction	36
III.2. Présentation de la station	36

III.3. Situation géographique de station.....	36
III.4. Prise d'eau de mer.....	37
III.5. Traitement de l'eau de mer.....	37
III.5.1. Prétraitement.....	37
III.5.2. Filtration.....	38
III.5.2.1. Filtre à sable.....	38
III.5.2.2. Filtre a cartouche.....	39
III.5.3. L'osmose inverse (membrane).....	42
III.6. Reminéralisation	42
III.7. Distribution [château d'eau de mélange (eau dessalée avec eau de forage)].....	43
III.8. Manipulation des rejets.....	44
III.9. Présentation du laboratoire de l'algérienne des eaux Skikda (Ade)...	46
III.10. Conclusion.....	48

Chapitre IV : Méthodes D'analyses

IV.1 Introduction.....	50
IV.2 L'objectif.....	50
IV.3 Paramètres des analyses effectuées Expérience.....	51
IV.3.1 Échantillonnage.....	51
IV.3.2 Paramètres physico-chimique	51
IV.3.3 Paramètre bactériologique	51
IV.4 Conclusion.....	53

Chapitre V : Résultats et Discussion

V.1 Introduction.....	59
V.2 Les résultats	61
V.2.1 Résultats des analyses Paramètres organoleptiques	62
V.2.3 Résultats des analyses physico-chimiques et discussion.....	62
V.2.4 Résultat bactériologique et discussion	62

V.3 Conclusion.....	63
Conclusion Générale.....	70

Les références

LISTE DES FIGURES

Figure I.1: Traitement de dessalement.....	04
Figure I.2 : D'une distillation à simple effet.....	11
Figure I.3 : Une Distillation à effets multiple	12
Figure I.4 : Distillation par long tubes verticaux.....	13
Figure I.5 : d'une distillation par une détente successives.....	14
Figure I.6 : Distillation par therme compression.....	14
Figure I.7: Schéma d'une électrodialyse.....	16
Figure I.8: Schéma d'un système de dessalement par osmose inverse.....	18
Figure II.1: Phénomène de l'osmose.....	19
Figure II.2: Procédé de l'osmose inverse	20
Figure II.3 : Éléments constitutifs d'une unité d'osmose inverse.....	21
Figure II.4: Station de dessalement.....	23
Figure II.5: Racks d'osmose inverse	23
Figure II.6 : les modules d'osmose inverse.....	24
Figure II.7: Système d'un module spiral.....	24
Figure II.8: Schéma d'un module spiral.....	25
Figure II.9 : Schéma d'un module spirale d'OI (Des claux et Remigy, 2012).....	26
Figure II.10 : Les membranes d'osmose inverse.....	27
Figure III.1: Situation géographique de la station.....	37
Figure III.2: Tour de captage d'eau de mer.....	38
Figure III.3: Schéma de traitement d'eau de mer.....	39
Figure III.4: Les phases de prétraitement.....	39
Figure III.5: Décanteur la mellaire de la station	40
Figure III.6: Décanteur de la station	41
Figure III.7: Filtre à sable sous pression à couche	42
Figure III.8: Filtres à cartouches.....	43
Figure III.9: châssis des membranes d'osmose inverse.....	45
Figure III.10 : La calcite.....	47
Figure III.11 : Les différentes vannes du contacteur de calcite.....	47
Figure III.12: réservoir de saumure.....	49
Figure IV.1 : échantillon de prélèvement.....	51
Figure IV.2 : Flacon d'analyse bactériologique.....	52
Figure IV.3 : méthode d' d'échantillonnage.....	52
Figure IV.4 : Le pH mètre.....	54
Figure IV.5 : La Turbidimètre.....	55
Figure IV.6 : La conductimètre.....	55
Figure IV.7 : Résultat de titrage TA et TAC dans laboratoire.....	56
Figure IV.8 : Résultat de titrage de THT dans laboratoire.....	57
Figure IV.9 : Résultat de Calcium dans laboratoire.....	58
Figure IV.10 : Résultat de chlorures dans laboratoire.....	59
Figure IV.11 : Matériels expérimentaux et réactifs	61
Figure V.1 : Variation de la température en fonction de temps.....	63
Figure V.2 : Variation de pH en fonction de temps.....	64

Figure V.3 : Variation de conductivité en fonction de temps.....	65
Figure V.4 : Variation de la turbidité en fonction de temps.....	66
Figure V.5 : Variation de THT en fonction de temps.....	67
Figure V. 6 : Variation de TAC en fonction de temps.....	68
Figure V. 7 : Variation de Ca ²⁺ en fonction de temps.....	69
Figure V. 8 : Variation de Cl ⁻ en fonction de temps.....	70

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I.1 : les avantages et les inconvénients du dessalement.....	06
Tableau II.1 : Les avantages et les inconvénients.....	29
Tableau II.2 : Les avantages et les inconvénients.....	30
Tableau II.3 : Avantages et Inconvénients des membranes composites.....	30
Tableau II.4 : Différents techniques de reminéralisation des eaux dessalées.....	35
Tableau III. 2 : Critères de qualité de l'eau filtrée.....	44
Tableau III. 1 : Critères de qualité de l'eau filtrée.....	47
Tableau V.1 : Résultats des mesures de la température (°C).....	63
Tableau V.2 : Résultat des mesures de pH.....	64
Tableau V.3 : Résultat des mesures de la conductivité ($\mu\text{s/cm}$).....	65
Tableau V.4 : Résultat des analyses de la turbidité (NTU).....	66
Tableau V.5 : Résultat des analyses de THT (mg /L CaCo_3).....	67
Tableau V. 6 : Résultat des analyses de TAC (mg /L CaCo_3).....	67
Tableau V. 7 : Résultat des analyses de Ca^{2+} (mg /L CaCo_3).....	68
Tableau V. 8 : Résultat des analyses de Cl^- (mg /L).....	69
Tableau V. 9 : Résultat des analyses bactériologique.....	70

Résumé

En raison de la diminution des ressources en eau et de l'expansion des zones arides en Algérie, le dessalement de l'eau de mer est devenu une solution alternative pour répondre aux besoins en eau douce dans de nombreuses régions du pays.

L'objectif de ce travail est d'étudier les performances de la station de dessalement par osmose inverse située dans la région El-Marsa, à l'ouest de Skikda. Nous mettons, particulièrement, l'accent sur l'amélioration de la qualité de l'eau produite ainsi que celle des eaux des forages. Enfin, il faut noter qu'avant de qualifier l'eau comme étant potable, il est indispensable qu'elle respecte les normes algériennes et qu'elle demeure stables dans le temps.

Les mots clés : L'eau potable, Dessalement, L'eau de mer, L'eau de fourrage, El Marse.

Abstrac

Due to the decrease in water resources and the expansion of arid zones in Algeria, seawater desalination has become an alternative solution to meet the needs of fresh water in many regions of the country.

The objective of this work is to study the performance of the reverse osmosis desalination plant located in the El-Marsa region, west of Skikda. We place particular emphasis on improving the quality of the produced water as well as that of the borehole water. Finally, it should be noted that before qualifying the water as drinkable, it is essential that it respects Algerian standards and that it remains stable over time.

Keywords: Drinking water, Desalination, Seawater, Irrigation water, El Marse.

ملخص

نظرا لانخفاض الموارد المائية وتوسع المناطق القاحلة في الجزائر ، أصبحت تحلية مياه البحر حلا بديلا لتلبية احتياجات المياه العذبة في العديد من مناطق البلاد.

الهدف من هذا العمل هو دراسة أداء محطة تحلية المياه بالتناضح العكسي الواقعة في منطقة المرسى غرب سكيكدة. نحن نركز بشكل خاص على تحسين جودة المياه المنتجة وكذلك مياه البئر. أخيرا ، تجدر الإشارة إلى أنه قبل اعتبار المياه صالحة للشرب ، من الضروري أن تحتزم المعايير الجزائرية وأن تظل مستقرة بمرور الوقت

الكلمات المفتاحية : المياه الصالحة للشرب، تحلية المياه، مياه البحر، مياه الري،المرسي

Introduction générale

La pénurie d'eau est devenue une préoccupation alarmante pour l'humanité. De nos jours, de plus en plus de pays connaissent des situations de stress hydrique, tandis que les besoins en eau ne cessent d'augmenter. Pour faire face à ce défi, de nombreuses solutions techniques ont été développées, parmi lesquelles le dessalement de l'eau de mer. Cette pratique est en plein essor grâce à l'amélioration constante des techniques et à la réduction des coûts associés[1].

L'Algérie l'une des pays qui ont fait appel à cette technique pour répondre à l'insuffisance de la disponibilité des ressources en eau, le recours au dessalement de l'eau de mer par des procédés membranaires et précisément l'osmose inverse est la solution qui a été envisagée pendant ces dernières années.

L'objectif de la réalisation de ce travail est de suivre le procédé de dessalement de l'eau de mer par la technique d'osmose inverse, et de contrôler la qualité de l'eau produite afin d'étudier la possibilité d'utiliser l'eau dessalée pour la consommation humaine après reminéralisation.

La nouvelle station de dessalement de l'eau de mer El-Marsa destinée à produire 500 m³/j d'eau douce était un bon exemple pour notre poursuite. Durant la période de notre stage, nous avons essayé de suivre toutes les étapes de dessalement commençant par la prise d'eau de mer, passant par les prétraitements puis les différentes phases de clarification jusqu'à la filtration membranaire tout en arrivant à la reminéralisation dans le but d'avoir une eau équilibrée. Nous avons terminé notre étude par l'analyse de l'eau dessalée, l'eau des forages et l'eau de mélange entre l'eau dessalée et celle du forage, en comparant les résultats des analyses trouvées avec les normes algériennes de l'eau potable.

Pour répondre à nos objectifs, notre mémoire s'organise donc autour de cinq chapitres, nous avons débuté par une introduction générale qui est surtout destinée à décrire et exposer le problème considéré et préciser l'objectif de cette étude.

Dans le premier chapitre, nous avons exprimé les différents procédés de dessalement de l'eau de mer, qui sont le dessalement thermique et le dessalement membranaire. La deuxième partie comporte un rapport détaillé sur le processus de dessalement utilisant la technologie d'osmose inverse (membrane) et les méthodes de traitement, ses avantages et inconvénients ainsi que ses impacts sur l'environnement. Le troisième chapitre est consacré à

la présentation de la station de dessalement de l'eau de mer El-Marsa et le laboratoire régionale ADE Skikda.

Le Quatrième chapitre présente la partie expérimentale, elle est destinée aux techniques d'analyses et matériels utilisés pour l'examen physico-chimique et bactériologique des échantillons d'eau prélevés. Le dernier chapitre est réservé à la discussion des résultats obtenus, en comparant ces valeurs aux normes algériennes

Enfin, une conclusion générale récapitule les principaux résultats obtenus au cours de ce travail.

**Chapitre I : généralités et
classification des procédés de
dessalement**

I.1. Introduction

L'eau, qui constitue 70% de la surface de la terre, est d'une grande importance pour les humains, les animaux et les plantes, car 97% de celle-ci est de l'eau salée, il a donc fallu essayer de la dessaler pour être utilisée, et le dessalement de l'eau de mer est connu sous le nom de le processus par lequel les sels et les minéraux dissous dans l'eau sont retirés de l'eau de mer, pour la rendre utilisable, que ce soit par les humains pour la boisson, pour les industries, ou pour l'irrigation et à d'autres fins, et cela se fait de plusieurs manières qui nécessitent de l'énergie, et il est divisé en deux parties, thermique et Membranaire. Dans ce chapitre, nous expliquerons tous les types utilisés dans ce processus.

I.2. Définition du phénomène de dessalement

Les trois quarts de la surface de notre planète sont recouverts d'eau mais d'eau salée malheureusement. Il n'empêche, ces réservoirs inépuisables que sont les océans font rêver : et s'il était possible de transformer cette eau salée en eau douce ? Cela résoudrait en effet toutes les difficultés de pénurie d'eau que connaissent beaucoup de pays, car nombre d'entre eux ont un accès aux océans, quand ils ne disposent pas d'un littoral maritime conséquent.

En fait, dessaler l'eau de mer de manière à la rendre consommable, c'est possible. On dispose même aujourd'hui de nombreux systèmes dont beaucoup ont atteint le stade industriel. Les deux procédés le plus couramment utilisés sont procédés thermiques et procédés membranaires [1].

Le premier procédé d'eau de mer est le chauffage au-dessous du point d'ébullition par le contrôle de la pression atmosphérique et ceci afin d'éviter les dépôts de tartre, produisant de la vapeur qui condensée, donne de l'eau dessalée. On distingue la distillation Multi -Stage Flash, MSF et la distillation Multi -Stage Flash, MSF et la distillation à effets multiples MED. Il y a une légère différence entre les deux techniques mais le principe est le même. Les seconds procédés fonctionnent sur le principe reposant sur l'aptitude des membranes, couche micro poreuse ou film polymère à séparer l'eau de son sel sous l'effet de la pression [2].

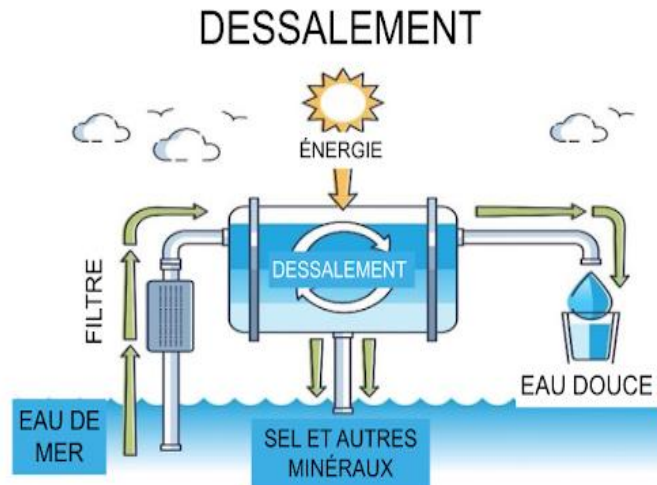


Figure I.1: schéma de dessalement

Et quant à la qualité de l'eau de mer est :

- ✓ L'eau de mer est la matière première de l'usine de dessalement.
- ✓ Chacun peut observer ses changements de température, de limpidité d'un lieu ou d'un jour à l'autre, les écarts de salinité sont moins connus.
- ✓ Salinité, température et matières en suspension sont les paramètres majeurs du fonctionnement d'une unité de dessalement [3].

I.3 historique de dessalement

La distillation est la méthode la plus ancienne qui puisse répondre au dessalement de l'eau de mer dans le Monde ! Découverte par Aristote le IV^{ème} siècle avant J-C, le philosophe grec a dit dans ses Météorologiques.

« L'expérience nous a appris que l'eau de mer est réduite en vapeur devient potable et le produit vaporisé, une fois condensé, ne reproduit pas l'eau de mer ».

Onze siècles plus tard, Adélard de Bath, un philosophe et naturaliste a décrit deux de ses expériences dans les Questionnes naturelles : « Au soleil, après l'évaporation sur un rocher, l'eau de mer se transforme en sel ; lorsque le soleil fait défaut, on chauffe de l'eau de mer et sous l'effet de la cuisson on la voit également se transformer en sel. Cette métamorphose explique que la mer soit plus salée l'été que l'hiver, que les mers méridionales le soient davantage que les mers septentrionales ». Ce chimiste nous explique dans un premier

temps le principe de la vaporisation qui se produit, naturellement et sans facteur extérieur, sur les roches qui se trouvent aux bordures des mers grâce à l'activité du soleil. En effet, la salinité de l'eau de mer augmente en fonction de la proportion du sel retenu dans les roches, conséquence de la vaporisation.

Ce procédé a souvent été utilisé par les marins grecs qui eux dessalaient l'eau de mer dans leurs croisades, ce qui leur permettait d'avoir des réserves d'eau buvable. Ces marins utilisaient le procédé le plus simple, ils utilisaient des casseroles et mettaient l'eau en ébullition et ainsi le sel restait au fond de ces enceintes et donc l'eau est dessalée.

Vient deux millénaires plus tard l'osmose inverse. Découverte en 1850, ce procédé ne s'appliquera pour le dessalement de l'eau de mer qu'en 1960. En effet, on devra attendre la deuxième moitié du XXème siècle pour que le concept de dessalage puisse se développer

En Europe, la première usine de dessalement est construite sous le régime franquiste aux îles Canaries. La forte expansion du tourisme balnéaire et la forte demande en eau ont incité le général Franco à la construction de cette usine en 1964. C'est ainsi que l'usine Lanzarote est créée. De nombreuses autres usines seront construites à la suite de ce premier pas révolutionnaire au défi posé.

Cependant, les avancées techniques et la découverte de plusieurs différents procédés n'empêchent pas l'utilisation intensive et ainsi le partage de la distillation et l'osmose dans de nombreuses usines.

Par exemple, dans les années 1970, le Maroc a investi dans le dessalement y voyant une solution pour le stress hydrique dans plusieurs de ses régions. La première concrétisation du projet prend place à Tarfaya avec l'installation de la première station en 1975 [4].

I.4. Les impacts de dessalement

Le dessalement de l'eau est devenu un sujet controversé où les gens ont apparemment des opinions très opposées sur son objectif. C'est pourquoi, de notre côté, il est important d'examiner les avantages et les inconvénients du dessalement afin d'avoir une idée bien informée d'une telle technologie [5].

Tableau I.1 : les avantages et les inconvénients du dessalement

Les avantages	Les inconvénients
<p>1- Sa méthode est éprouvée et efficace :</p> <p>L'osmose inverse, une méthode d'élimination du sel de l'eau de mer, s'est avérée efficace pour créer des sources fraîches d'eau potable qui peuvent apporter les bienfaits dont les gens ont besoin pour la santé. Lorsqu'elles sont bien conçues, les usines de dessalement peuvent alors créer une eau potable de haute qualité.</p>	<p>1- Ses usines sont coûteuses à construire :</p> <p>La construction d'usines de dessalement n'est pas toujours faisable pour un pays ou une communauté, avec des coûts de construction suffisamment élevés pour empêcher le développement de la technologie, car de nombreuses personnes ne peuvent tout simplement pas payer le prix initial - et il n'y a pas assez de retours pour justifier les investissements fait.</p>
<p>2-Sa méthode est très bien comprise :</p> <p>Une telle méthode de dessalement est étayée par des données scientifiques et est parfaitement maîtrisée. La technologie utilisée est également fiable car elle permet une eau de haute qualité, ce qui signifie que l'utilisation d'une telle méthode devrait permettre d'excellents résultats et pourrait aider à éliminer la crise de pénurie d'eau à laquelle le monde pourrait être confronté à l'avenir.</p>	<p>2- Cela peut être un processus très coûteux :</p> <p>Pour l'usine de dessalement moyenne de nos jours, il faut 2 kilowattheures d'énergie pour produire 1 mètre cube d'eau douce. Bien que cela se traduise par un coût d'un peu moins de 2 dollars sur de nombreux réseaux électriques, le coût de production réel provient de la dépense de combustibles fossiles nécessaires pour créer de l'électricité pour son processus.</p>
<p>3-Cela préserverait les réserves d'eau douce actuelles : Comme l'approvisionnement en eau douce de la planète est plutôt limité, il est logique que nous la préservions autant que possible. Cela garantirait plus de ressources à utiliser là où les efforts de conservation sont actuellement déployés, car il y a pénurie d'eau disponible de nos</p>	<p>3-Il nécessite beaucoup d'énergie pour être traité : Comme mentionné précédemment, plus d'électricité et d'énergie sont nécessaires pour produire de l'eau à partir du dessalement que toute autre option d'approvisionnement en eau ou de gestion de la demande dans le monde, ce qui implique une préoccupation de dépendance accrue aux combustibles fossiles. Néanmoins, il convient de noter que l'utilisation de</p>

<p>jours</p>	<p>combustibles fossiles a été réduite dans de nombreuses installations dans le monde en utilisant l'énergie des vagues, du vent et du soleil pour alimenter les installations.</p>
<p>4-II à la quantité massive d'eau de mer comme source : Même si toute l'eau est produite par dessalement, l'eau de mer fournirait un approvisionnement presque inépuisable, ce qui signifie que même en période de sécheresse, les gens auraient un accès suffisant à l'approvisionnement en eau douce nécessaire à la croissance des cultures, à la vie quotidienne et à bien d'autres besoins. En termes simples, cela met fin à la crise de l'eau.</p>	<p>4-II contribue aux émissions mondiales de gaz à effet de serre : Les opposants au dessalement font valoir leur inquiétude quant au fait que ses usines pourraient produire de grandes quantités d'émissions de gaz à effet de serre, ce qui signifie que le processus d'élimination du sel de l'eau de mer peut être très nocif pour l'environnement et avoir un impact négatif sur l'air que nous respirons.</p>
<p>5-II ne dépend pas de facteurs changeants :</p> <p>Un énorme problème avec de nombreuses solutions proposées à la demande en eau sans cesse croissante est qu'elles dépendent fortement de facteurs incontrôlables. Par exemple, plus de réservoirs d'eau supposeraient qu'ils aient besoin de pluie ou de neige pour être remplis. Cependant, le dessalement ne repose sur rien d'autre que l'océan. Avec les inquiétudes entourant la fonte des calottes glaciaires polaires et l'élévation du niveau de la mer, personne ne s'inquiéterait de la disparition prochaine de l'océan.</p>	<p>5-La saumure qui en résulte peut avoir un impact dramatique sur l'environnement :</p> <p>Lors de la création d'eau douce à partir d'eau de mer, le sel dans l'eau doit être éliminé - un processus qui produit une saumure si riche en sel qu'elle peut contaminer tout environnement où elle est placée. La saumure est très forte et peut tuer la faune et la végétation si elle entre en contact avec eux. En dehors de cela, il existe généralement des agents antitartres et des produits chimiques éliminant le chlore dans la saumure</p>
<p>6-Ses usines sont situées en toute sécurité : Les usines de dessalement sont</p>	<p>6-II pourrait risquer de produire de l'eau contaminée : Selon le Pacific Institute, dans un</p>

<p>situées loin des grandes zones résidentielles. Bien qu'il existe de grandes installations, elles sont situées dans des zones industrielles, de sorte qu'elles ne mettraient pas en danger les zones résidentielles. Les gens n'ont qu'à mettre en place un plan d'implantation des usines de dessalement pour rendre une telle technologie plus sûre à long terme. De plus, une seule usine de dessalement pourra fournir plus de 500 millions de litres d'eau potable. Avec cette quantité incroyable d'eau, nous pourrions changer la façon dont nous obtenons de l'eau.</p>	<p>résumé qu'il a rédigé, "le dessalement peut produire de l'eau de haute qualité, mais il peut également introduire des contaminants biologiques ou chimiques dans notre approvisionnement en eau". Ils déclarent également que cela pèsera lourdement sur l'emplacement et la conception des centrales, qui devraient être étroitement surveillées par les gouvernements locaux pour garantir la sécurité [6].</p>
---	--

I.5. L'expérience algérienne en matière de dessalement

La variante du dessalement de l'eau s'avère la solution convenable : le pays dispose de 1200 km de côtes sur la mer méditerranée. La première installation de dessalement remonte à l'année 1964 à Arzew, d'une capacité de 576 m³/j travaillant en multiples effets. L'installation de l'usine de Mostaghanem en 1980 a été la plus grande du monde à cet époque, produisant environ 57.600 m³/j. Les techniques de dessalement qui ont été adoptées sont très diversifiées, pratiquement tous les procédés membranaires et de distillation, divers organismes interviennent dans la construction des stations de dessalement (tutelle et exploitation): Ministère des ressources en eau (représenté par l'Algérienne Des Eaux : ADE), SONATRACH (la Compagnie nationale pétrolière), SONELGAZ (la Compagnie nationale de l'électricité et du gaz), la Compagnie nationale « l'Algérienne de l'Energie »

(Crée récemment entre SONATRACH et SONELGAZ), la société privée Tongo, etc. La sécheresse qui a touché le pays en 2001, a poussé le gouvernement à mettre en place un grand programme de dessalement :

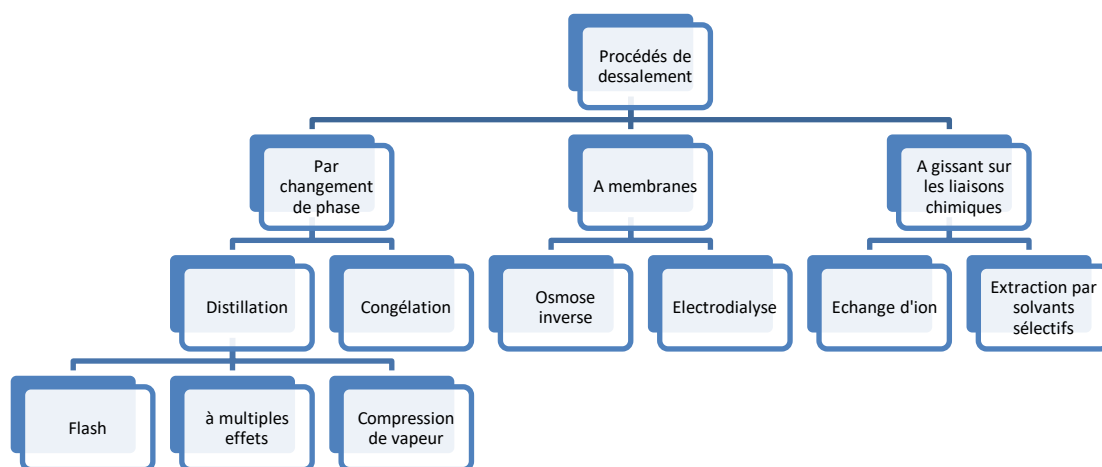
- Secteur d'eau potable : un programme d'action géant et très promoteur est déjà dressé et son application a commencé depuis 2001 au niveau du Ministère des ressources en eau pour installer Un programme de 15 stations afin de produire de l'eau potable avec une capacité totale de **2,5 millions m³/j** dont 13 stations seront opérationnelles d'ici 2014.
- Secteur de l'eau industrielle : le programme est actuellement à un état avancé, sous la tutelle de l'Algérienne de l'Energie, pour construire trois importantes stations produisant un débit total de 360.000 m³/j pour les besoins de l'industrie [7].

I.6 classification des différents procédés de Dessalement

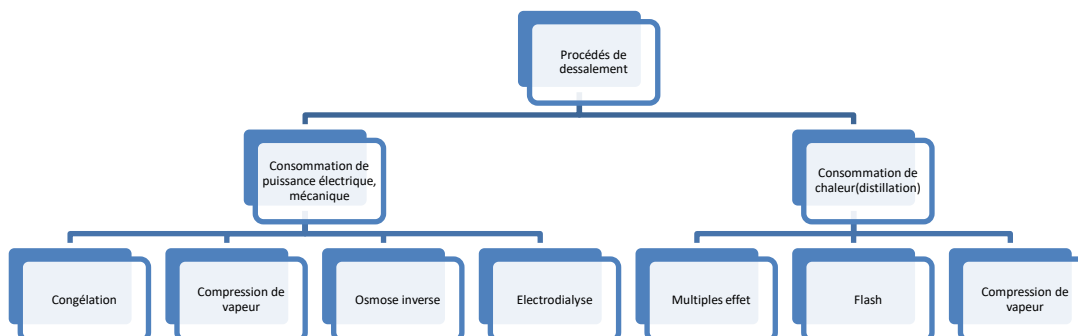
D'après le phénomène de Dessalement, On peut classer les méthodes de Dessalement en fonction des procédés utilisés pour se faire, un auteur a recensé 27 procédés différents de Dessalement, soient :

- Les procédés qui font intervenir un changement de phase (procédés thermique) (distillation et congélation).
- Les procédés qui utilisent des membranes (électrodialyse et osmose inverse).
- Les procédés qui agissent sur les liaisons chimiques (échange d'ions et extraction par solvant sélectif) [8].

A) Selon le principe sur lequel ils se basent :



B) Selon le type d'énergie consommée :



I.6.1. Procédés de dessalement thermique

Environ la moitié de l'eau dessalée dans le monde est produite au moyen de chaleur servant à distiller de l'eau douce à partir de l'eau de mer

I.6.1.1. Distillation :

Les premières unités de distillation d'eau de mer sont apparues à bord des navires.

Elles occupent aujourd'hui 70 % des usines de dessalement dans le monde, elles comportent une vaporisation en fournissant de l'énergie sous forme de chaleur (procédés thermiques) ou sous forme de travail mécanique (procédés par thermo compression), puis une condensation et enfin une récupération de chaleur libre par condensation, C'est une opération qui transforme par chauffage ou par réduction de pression l'eau de mer en vapeur exempte des impuretés dissoutes dans le liquide. Par condensation, cette vapeur donne une eau de grande pureté. Dans les distillateurs modernes, la température de travail oscille entre 95 et 125°C.

On obtient par ce procédé une eau douce de salinité toujours inférieure à 100 ppm qui nécessite une reminéralisation lorsqu'elle est destinée à la consommation [9].

On distingue :

➤ **Distillation thermique :**

a. Distillation à simple effet (bouilleur marine) :

Les premières unités de dessalement d'eau de mer sont apparues à bord des navires, c'était dans la plupart des cas des bouilleurs à simple effet à faisceau noyé : l'eau de mer était chauffée dans une enceinte étanche contenant dans sa partie basse de l'eau de mer à distiller

chauffée par la vapeur d'un fluide de chauffage circulant dans un faisceau tubulaire qui traverse cette eau de mer et en provoque l'ébullition. La vapeur formée était condensée sur un autre faisceau tubulaire placé dans la partie haute du récipient et parcouru par de l'eau de mer froide [10].

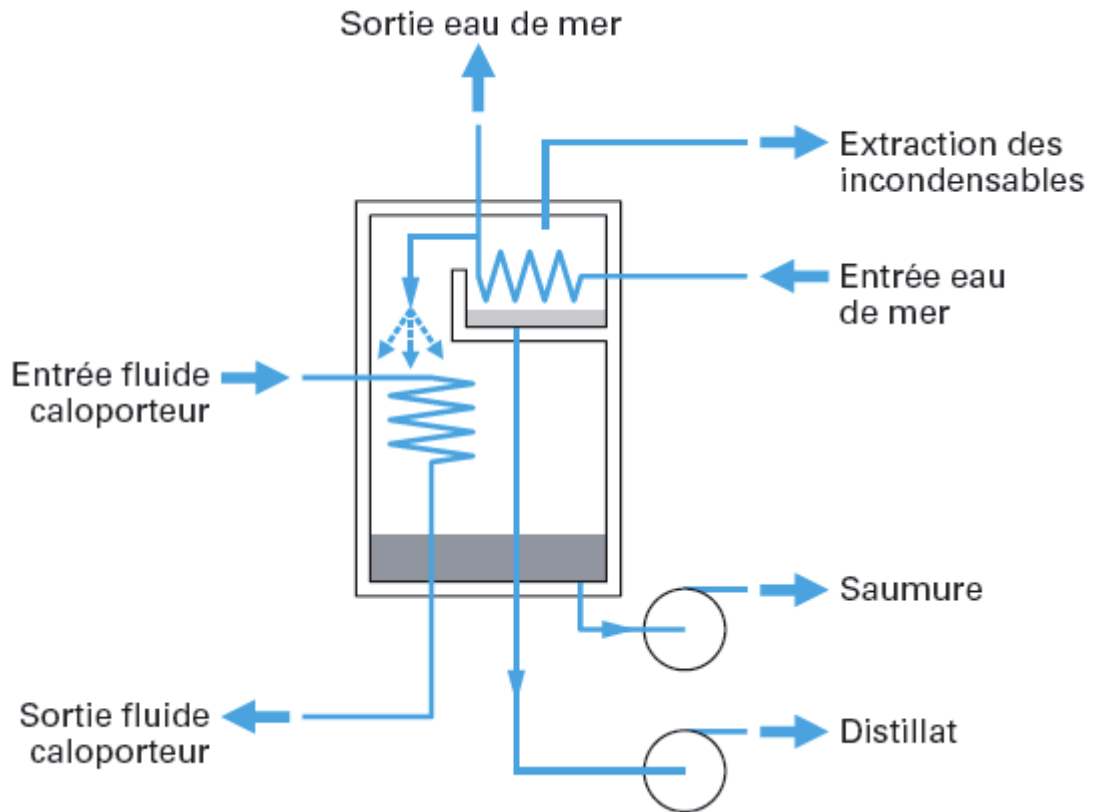
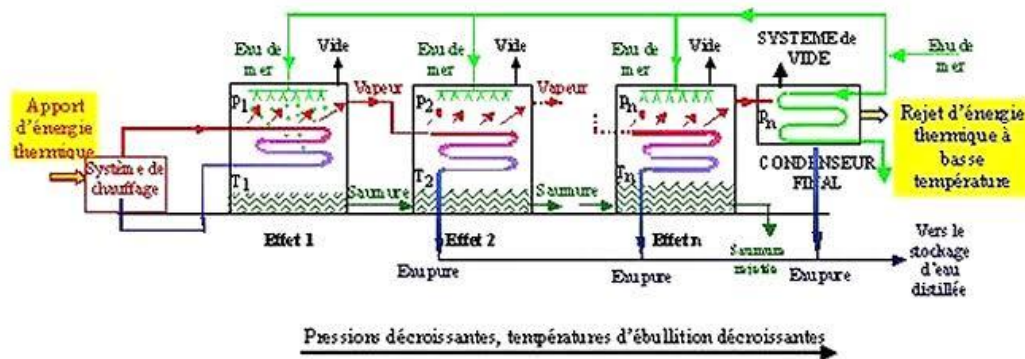


Figure I.2 : un distillateur simple effet

b. Distillation à multiples effets (Multi Effet Distillation : MED)

- Il s'est avéré nécessaire d'améliorer la consommation spécifique de l'évaporateur à simple effet afin d'augmenter le rendement du procédé en récupérant la chaleur d'apport pour une nouvelle distillation et le processus s'effectue comme suit :
- Dans la première cellule de distillation, l'eau de mer ruisselle sur un serpentin de tubes chauffés ou sur des plaques, grâce à la chaudière. Elle se transforme ainsi en vapeur à seulement 70°C, grâce à une pression inférieure à la pression atmosphérique. Cela évite l'entartrage des tuyaux .
- L'eau de mer non transformée en vapeur s'accumule au fond de la cellule. Elle se concentre davantage de sels car celui-ci n'est pas vaporisable
- .L'eau est pompée, puis envoyée dans la cellule 2.

- La vapeur entre dans la deuxième cellule, puis se condense dans le serpentin. Ce passage à l'état liquide dégage assez d'énergie pour en céder à l'eau de mer. Celle-ci ruisselle sur les tubes ainsi chauffés et se vaporise.
- Le même processus se répète dans la troisième cellule. En pratique, on peut placer en série jusqu'à 6 ou 7 cellules de distillation.
- Le dernier serpentin est refroidi par l'eau de mer.
- La vapeur condensée dans les serpentins donne de l'eau douce. Il faut 2 à 4 litres d'eau salée pour obtenir 1 litre d'eau douce [10].



i

Figure I.3: Une distillation à effets multiples

b.1. Distillation par longs tubes verticaux :

L'eau de mer admise en A bout en descendant par les tubes B et la vapeur sert de source de chaleur pour l'étage suivant. Seul le premier est alimenté en vapeur spécialement produite.

La vapeur en C se condense sur les tubes et l'eau douce est collectée en D. Comme la montre la figure ci-après

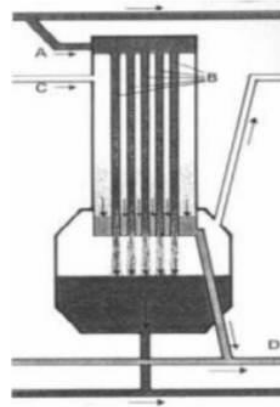


Figure I.4: Distillation par longs tubes verticaux

b.2. Distillation par longs tubes horizontaux :

Appelés aussi HTME dans la littérature anglo-saxonne (Horizontal Tube multiple Effet) dont le développement industriel date seulement d'une vingtaine d'années, constitués essentiellement de faisceaux tubulaires horizontaux chauffés intérieurement par de la vapeur et arrosés extérieurement par l'eau de mer.

c. Distillation multi- stage Flash (MSF) : par détente successives :

Le procédé Flash est relativement ancien, la première unité est installée en 1928 en URSS mais a connu un essor notamment dans les pays du Golfe à partir des années 1960 par l'installation d'une unité de 4500 m³ au Koweït en 1957. Ce procédé était développé à la suite des difficultés rencontrées dans la distillation à multiples effets par l'entartrage des surfaces d'échange d'ions. Il consiste à maintenir l'eau sous pression pendant toute la durée de chauffage, elle est introduite dans une enceinte où règne une pression réduite, il en résulte une vaporisation instantanée par détente appelée Flash, cette vapeur va se condenser, le phénomène se reproduit ensuite dans un deuxième étage où règne une pression plus faible ; la vaporisation de l'eau est réalisée par détente successives de températures excessives jusqu'à T_{max} et de pressions de plus en plus réduites. On peut trouver jusqu'à 40 étages successifs dans une unité MSF industrielle [10].

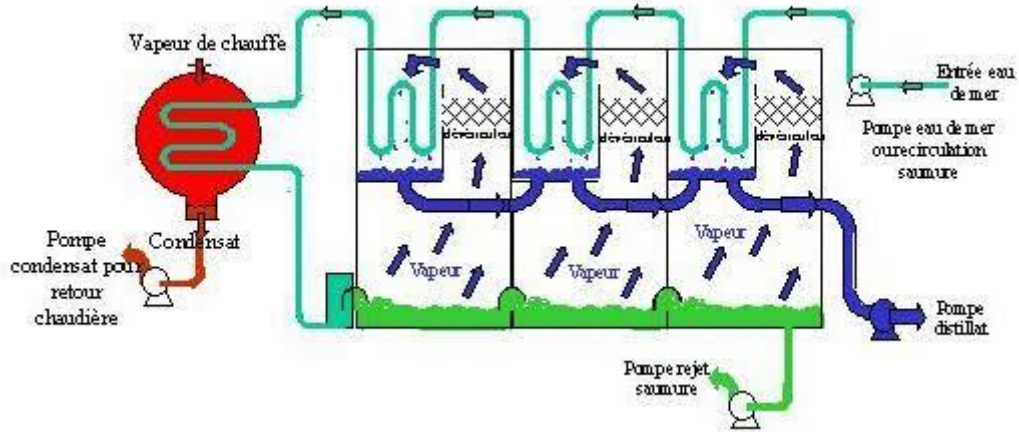


Figure I.5 : D'une distillation par une détente successive.

c.1. Distillation par thermo compression :

Le mélange d'eau de mer et de saumure est introduit par la pompe E autour des tubes F du condenseur. Le compresseur G injecte dans la chambre de la vapeur d'eau qui évapore de l'eau salée ce qui entretient la masse de vapeur brassée par le compresseur. Constamment, une partie de la vapeur se condense dans les tubes verticaux, fournissant l'eau douce, collectée en H.

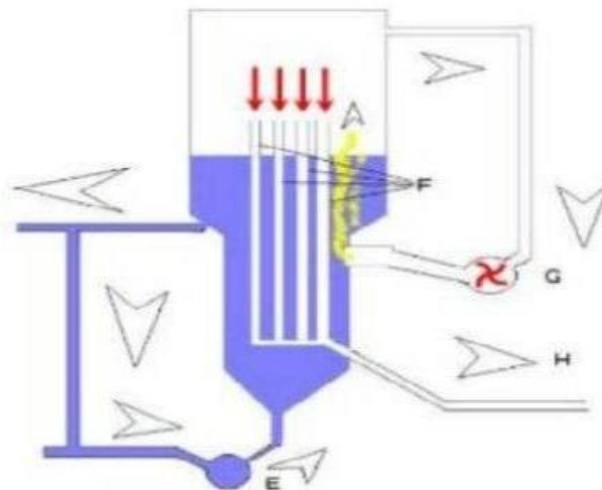


Figure I.6 : Distillation par therme compression

c.2. Distillation solaire :

L'idée est très ancienne, utilisée par les grecs au IIIe siècle avant J.C, dont le principe est le suivant : Soit une serre fermée et exposée au soleil à l'intérieur de laquelle se trouve une lame d'eau saline de quelques centimètres d'épaisseur. L'air à l'intérieur de la serre est surchauffé et saturé de vapeur d'eau (douce) qui se condense au contact de la paroi relativement froide du verre. Les gouttes d'eau douce peuvent être recueillies en bas du vitrage dans une gouttière [11].

I.6.1.2. La congélation

Lorsqu'on refroidit une eau de mer jusqu'à environ -2°C , il y a formation de cristaux de glace constitués d'eau douce. L'eau de mer étant alors plus concentrée, elle résiste mieux à la congélation. Si on fait baisser davantage la température, la production de glace augmente, le sulfate de sodium déca hydraté a tendance à précipiter à -9°C . Pour produire de l'eau pure, il est donc préférable de ne pas refroidir l'eau au-dessous de cette température, Le Dessalement des eaux de mer est particulièrement intéressant dans les régions où la température est souvent inférieure à 0°C , car dans ces conditions on peut aménager des bassins à ciel ouvert, Lorsque la température est suffisamment basse on remplit ces bassins sur une hauteur de 10 à 15 cm, lorsque la couche de glace atteint une épaisseur de 1 à 1,5 cm, on enlève la saumure et on recueille la glace. Qu'il ne reste plus qu'à laver et à faire fondre [12].

I.6.2. Procédés de Dessalement membranaire

Dans la nature, les membranes jouent un rôle important pour séparer les sels. Des processus de dialyse et d'osmose se produisent dans les organismes vivants. Les membranes sont utilisées sur le marché dans deux procédés importants: l'électrodialyse (ED) et l'osmose inverse (OI).

I.6.2.2. L'électrodialyse

L'électrodialyse un procédé à membranes très ancien puisque la première installation date des années 1960, c'est une méthode électrochimique dans laquelle le sel est séparé de l'eau par transfert d'ions et migration à travers des membranes sélectives sous l'action d'un champ électrique. Elle repose sur la mise au point et l'utilisation de membranes imperméables à l'eau et sélectives pour les ions. Ainsi seuls les anions peuvent traverser les membranes

anioniques et seuls les cations peuvent traverser les membranes cationiques. Pour construire un électro dialyseur, on place dans un bac des membranes anioniques en alternance avec des membranes cationiques. Lorsque le bac est rempli d'une solution, on crée une différence de potentiel continue entre le premier et le dernier compartiment.

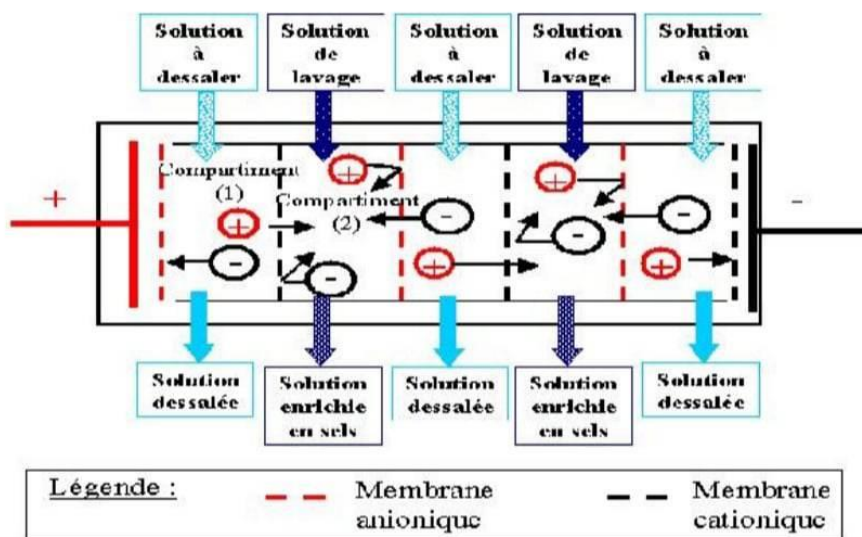


Figure I.7 : Un électrodialyse

Par exemple, le sel (NaCl), lorsqu'il est dissout, donne dans l'eau des ions positifs de Sodium (Na⁺) et des ions négatifs de chlore (Cl⁻), dans l'électrodialyse, La membrane qui laisse passer les cations Na⁺ a la propriété d'arrêter les anions Cl⁻ ; celle qui est imperméable aux anions oppose une barrière infranchissable aux cations. Dans certains compartiments de l'enceinte, on peut donc collecter les ions retenus par chacune de ces deux membranes. Ainsi, des cellules où l'eau contient une concentration de sels alternent avec d'autres où l'eau a été dessalée. Lorsque l'eau est insuffisamment dés ionisée (dessalée), elle est extraite de ces cellules.

En fait, l'électrodialyse a surtout été envisagée jusqu'ici pour le Dessalement d'eaux saumâtres, dont la salinité n'excède pas 1%, le procédé n'étant pas rentable pour des teneurs en sels supérieures. L'électrodialyse n'est pas non plus pratiquée pour traiter les eaux à moins de 0.04% de sels. Malgré ces limitations, plusieurs petites usines de Dessalement par électrodialyse sont exploitées dans le monde sur des bases commerciales, en 2000, le marché du Dessalement des eaux saumâtres par électrodialyse est dominé ; au niveau mondial ; par la société américaine Ionics. [13].

I.6.2.2. L'osmose inverse

L'osmose est une diffusion sélective se produisant lorsque deux solutions de concentrations différentes sont séparées par une membrane semi-perméable, qui laisse alors passer le solvant de la solution la plus diluée vers la solution la plus concentrée ; la différence de potentiel chimique entre les deux solutions tend à faire passer l'eau du potentiel le moins élevé au potentiel le plus élevé. Le phénomène d'osmose est important chez les êtres vivants :

Il permet le passage des liquides et des sels solubles sous forme d'ions à travers les membranes cellulaires.

L'osmose inverse est une technique révolutionnaire de purification appliquée par les scientifiques de la N.A.S.A. pour recycler et purifier l'eau consommée par les cosmonautes lors des vols spatiaux. Dans ce procédé ; on sépare un réservoir en deux compartiments à l'aide d'une membrane semi perméable ; chaque compartiment étant ouvert à l'air libre. On remplit d'eau douce le premier compartiment : cette eau douce traverse la membrane vers la solution salée et la pression augmente au niveau de cette dernière. Le passage de l'eau à travers la membrane cesse lorsque la différence de pression entre les deux solutions est égale à la pression osmotique.

Si on exerce sur la solution salée une pression supérieure à la pression osmotique (250 kPa pour l'eau de mer), de l'eau passe à travers la membrane de la solution la plus concentrée vers la solution la moins concentrée ; l'osmose inverse est donc une sorte d'hyper filtration [13].

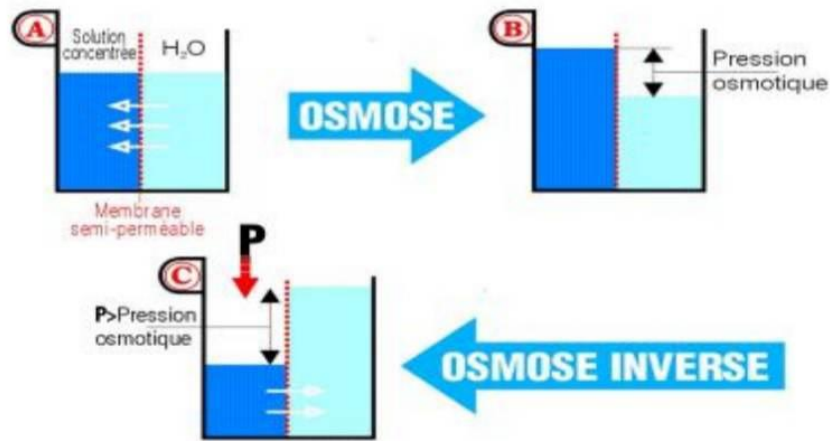


Figure I.8 : Schéma d'un système de dessalement par osmose inverse

I.7. Conclusion

La comparaison des avantages et des inconvénients de chaque méthode permet de définir leur domaine d'application respectif. La distillation est particulièrement adaptée aux grandes capacités de production, même si la capacité maximale des usines utilisant l'osmose inverse ne cesse de croître. Avec le temps, ces deux méthodes se sont partiellement chevauchées. En général, la distillation est légèrement plus payante que l'osmose inverse, mais elle permet d'obtenir une eau d'une pureté exceptionnelle, indépendamment de la qualité et de la salinité de l'eau d'origine. L'osmose inverse est plus avantageuse lorsque l'eau est peu salée.

Dans le prochain chapitre, nous fournirons une explication détaillée du processus d'osmose inverse utilisé dans le dessalement de l'eau de mer.

Chapitre II : Dessalement de l'eau de mer par osmose inverse

Partie

II.1 introduction

Au lieu d'extraire par évaporation l'eau douce de l'eau de mer, on peut envisager une séparation de l'eau et des sels dissous au moyen de membranes sélectives. Deux procédés utilisant de telles membranes sont actuellement commercialisés. Ce sont l'électrodialyse et l'osmose inverse.

Au début du 20^{ème} siècle, s'inspirant de la nature osmotique des parois cellulaires, des chercheurs avaient avancé l'idée de l'utilisation d'une membrane pour séparer le sel de l'eau de mer. Dans les années 1960, des chercheurs américains et japonais, avaient développé des membranes semi-perméables à des fins industrielles, se rendirent rapidement compte que ces mêmes membranes pourraient être utilisées pour dessaler l'eau de mer.

Dans la nature, l'osmose est un phénomène essentiel aux équilibres biologiques. Mais le procédé industriel est qualifié d'«osmose inverse» car, à l'aide d'une forte pression P (supérieure à la pression osmotique), de l'ordre de 80 bars, on force l'eau salée à passer du compartiment le plus concentré en sel au compartiment d'eau douce. Comme les deux compartiments sont séparés par une membrane, le compartiment d'eau douce s'enrichit en fait en eau douce. Dans la réalité, si on avait laissé faire la nature, sans imposer ni membrane ni pression, l'eau douce se serait chargée en sel et l'eau salée se serait diluée [14].

II.2 Principe de l'osmose inverse

L'osmose est une diffusion sélective se produisant lorsque deux solutions de concentrations différentes sont séparées par une membrane semi-perméable, qui laisse alors passer le solvant de la solution la plus diluée vers la solution la plus concentrée ; la différence de potentiel chimique entre les deux solutions tend à faire passer l'eau du potentiel le moins élevé au potentiel le plus élevé. Le phénomène d'osmose est important chez les êtres vivants : il permet le passage des liquides et des sels solubles sous forme d'ions à travers les membranes cellulaires [15].



Figure II.1: Phénomène de l'osmose inverse

L'osmose inverse est un procédé de séparation par membrane semi-perméable. Ces membranes ne sont perméables qu'aux liquides et non aux corps dissous (sels minéraux, colloïdes) ou aux matières en suspension.

Pour réduire la concentration en sels dissous d'une eau il suffit de lui appliquer une pression supérieure à la pression osmotique afin de forcer les molécules d'eau à travers la membrane semi-perméable. Il s'agit alors d'osmose inverse.

Si l'on met en contact de l'eau douce avec l'eau de mer par l'intermédiaire d'une membrane qui laisse passer l'eau mais retient les éléments dissous, l'eau douce a tendance à traverser la membrane, il va s'établir une différence de niveau entre le compartiment qui contient l'eau de mer et celui qui contient l'eau douce, ce différentiel est appelé pression osmotique.

Une augmentation de la pression au-delà de la pression osmotique va se traduire par un flux d'eau dirigé en sens inverse du flux osmotique, c'est à dire de la solution concentrée vers la solution diluée, La pression appliquée doit donc être supérieure à la pression osmotique. Pour le Dessalement d'eau de mer, la pression doit être d'environ de 50-70 bars [16].



Figure II.2 : Procédé de l'osmose inverse

II.3 Historique de l'osmose inverse

- 1640-1718 : LA HIRE rapporte que la vessie du porc est plus perméable à l'eau qu'à l'alcool.
- 1700-1770 : l'Abbé Nolet décrit l'osmose entre deux solutions de concentrations différentes séparées par la membrane de la vessie du porc.
- 1816-1894 : Taube mis en évidence le phénomène de pression osmotique et synthétise la 1ère membrane artificielle.
- 1950 : réalisation des premières membranes semi-perméable en acétate de cellulose à l'Université de Floride par Reid et BRETON.

- 1971 : mise en service par la société DEGUMENT de la première installation de dessalement de l'eau de mer par osmose inverse à RHONE POULENC/SFEC à l'Ile d'HOUAT (France). Capacité 50 m³/j [17].

II.4 Les éléments constitutifs d'osmose inverse

Les éléments constitutifs d'une unité d'osmose inverse sont simplifiés sur le schéma suivant :

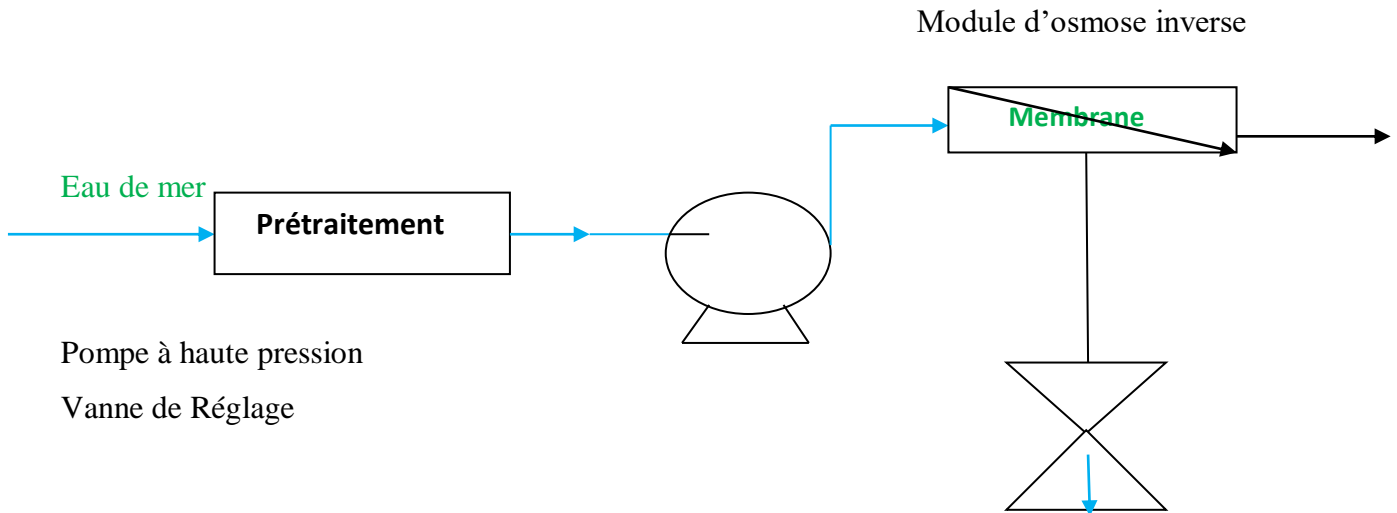


Figure II.3: Éléments constitutifs d'une unité d'osmose inverse

1. **Prise d'eau de mer** : La prise d'eau de mer doit permettre d'obtenir à l'entrée de l'usine de dessalement une eau de la meilleure qualité possible, en particulier du point de vue matières en suspension. Dans ce cadre, deux technologies peuvent être utilisées : les forages côtiers et les prises d'eau de surface qui vont dépendre de la localisation géographique de l'usine [18].
2. **Le prétraitement** : Destiné à optimiser les performances et la durée de vie des membranes d'osmose inverse, le prétraitement est une étape clé dans la conception des installations de dessalement. Les eaux de mer brutes peuvent connaître une forte variation de leur composition (matières organiques, algues) en fonction de paramètres géographiques, saisonniers (température, luminosité), ou encore de la pollution locale (par exemple, aux hydrocarbures). La qualité des eaux saumâtres peut également varier, mais dans une moindre mesure. Afin de limiter la vitesse d'encrassement et le colmatage des membranes d'osmose inverse, la chaîne de prétraitement doit être adaptée aux caractéristiques de l'eau brute afin de réduire de façon significative :

- La turbidité et la quantité de matières en suspension (MES) : la turbidité doit être en effet inférieure à 0,1.
- L'indice de colmatage (SDI) : la valeur cible moyenne de l'indice de colmatage doit être inférieure à 3 en amont des membranes. Diminuer l'indice de colmatage entraîne l'élimination d'algues, de planctons, de micro-organismes et de composants organiques [19].

Il y a deux types de filières de prétraitement : conventionnelle et à membrane.

- Prétraitement conventionnel :
 - * Filtration sur sable mono- ou bicouche
 - * Décoloration et antitartre
 - * Filtration sur cartouche

- Prétraitement par les procédés membranaires :

En raison des limitations du prétraitement conventionnel qui viennent d'être évoquées, un intérêt croissant s'est porté sur l'utilisation de procédés membranaires basse pression telles que la microfiltration (MF), l'ultrafiltration (UF) et la nano filtration (NF). Les avantages majeurs des procédés membranaires sont les suivants :

- Flux de l'osmose inverse significativement élevé ;
- Plus faible consommation de produit chimique ;
- Augmentation de la durée de vie des membranes d'osmose inverse ;
- Capacité de fonctionnement à une qualité de l'eau d'alimentation variée ;
- Désinfection et nettoyage de l'osmose inverse moins nécessaire [20].

3. Le pompage haut pression : Avant l'entrée dans les membranes d'O.I, l'eau prétraitée arrive au système de pompage de haute pression généralement entre 55 et 85 bars, en fonction de la température et de la salinité [21].

4. Récupération d'énergie : Dans les stations d'eau de mer principalement, où l'on travaille avec des pressions comprises entre 60 et 90 kg/cm², la récupération de l'énergie contenue dans le débit de rejet, est obligatoire pour des raisons énergétiques-économiques. Au début, on utilisait des turbines Francis, avec des rendements très bas, de l'ordre de 65%, plus tard on a utilisé des turbines Pelton, avec des efficacités supérieures à 80%. Récemment, ces dernières sont devenues également obsolètes grâce à l'apparition sur le marché des systèmes d'échange d'énergie, qui, outre des rendements supérieurs à 90%, ont, comme caractéristiques, besoin d'une pompe à haute pression approximativement 50% plus petite que celle d'une station conventionnelle, ce qui a induit d'importantes réductions dans la consommation d'énergie [22].

5. Unité d'osmose inverse :



Figure II.4 : station de dessalement



Figure II.5 : Racks d'osmose inverse

6. Poste traitement :

Les post-traitements consistent principalement à reminéraliser l'eau en la diluant avec une autre source d'eau potable afin d'ajuster sa salinité à des salinités acceptables pour la consommation. Sa dureté et son alcalinité sont également augmentées. Un traitement complémentaire pour éliminer le bore et une chloration peuvent également avoir lieu [23].

L'étape de poste traitement comporte deux phases principales : l'ajustement du pH et le poste chloration

7. Poste de nettoyage chimique :

Périodiquement, les membranes doivent être nettoyées pour les débarrasser de tous les dépôts qui tendent à diminuer les performances qualitatives et quantitatives du système. Cette élimination est obtenue en faisant recirculer des solutions chimiques acides (pour les dépôts de carbonate de calcium, d'hydroxydes métalliques) et basiques (pour les dépôts biologiques et bactériens) [24].

II.5 Les modules d'osmose inverse

Toute technologie membranaire requiert une membrane et un module qui lui tient lieu de support. Les modules supportent les membranes, quatre grands types de modules sont commercialisés

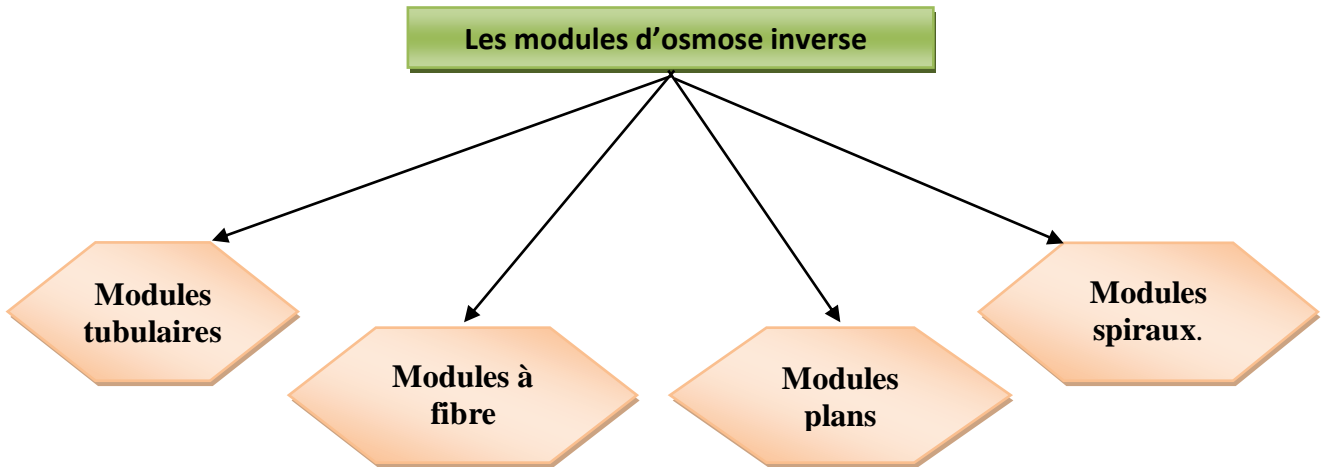


Figure II.6 : les modules d'osmose inverse

➤ **Modules spirales :**

Elles sont très utilisées pour la nano filtration. Les modules sont composés d'un tube sur lequel sont enroulés successivement une membrane, une grille fine, une autre membrane et une grille plus grossière. Le retentât circule à travers la grille moins fine tandis que le filtrat va aller jusqu'à la grille plus fine où il passera dans le creux central du tube [25].

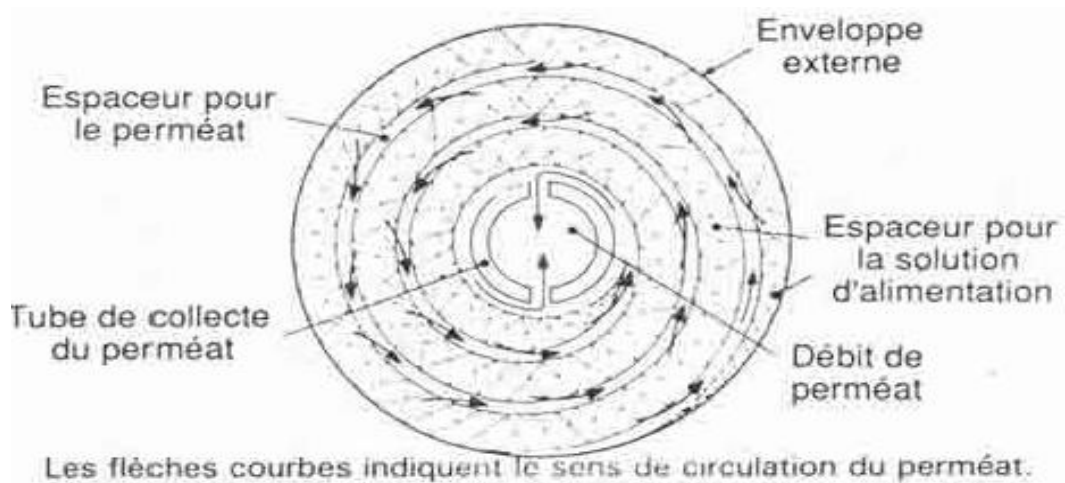


Figure II.7: système d'un module spiral

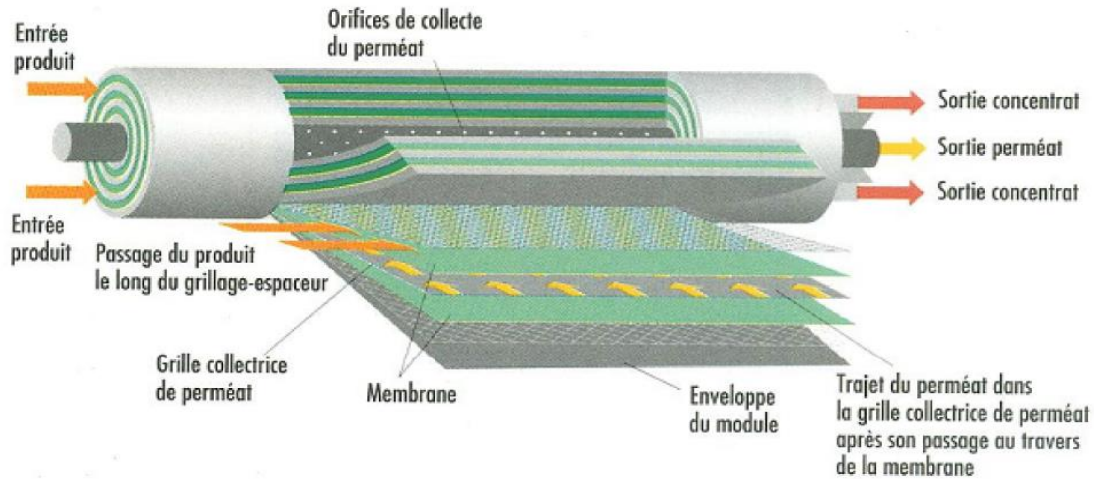


Figure II.8 : Schéma d'un module spiral.

➤ **Les avantages et les inconvénients de module spiral.**

✚ **Les avantages :**

- Ratio surface membrane/volume D'encombrement important (300-1000 m²/m³) ;
- Coût d'investissement faible ;
- Prétraitement simplifié par rapport aux fibres creuses.

✚ **Les inconvénients :**

- Risque élevé de colmatage à cause de la faible distance entre membrane ;
- Difficulté de nettoyage [26].

II.6 La fonction de l'osmose inverse

Dans la majorité des cas, l'OI est mise en œuvre avec des modules à membranes spiralées Dans lesquels la filtration est réalisée en mode tangentiel. Dans un module spiralé l'eau à dessaler rentre sur le côté d'un module par les espaceurs et passe à travers la membrane en parcourant la longueur du module. L'eau filtrée est récoltée par un espace appelé collecteur de perméat qui amène vers un tube positionne au centre du module. Un module spiral est schématisé sur la Figure.

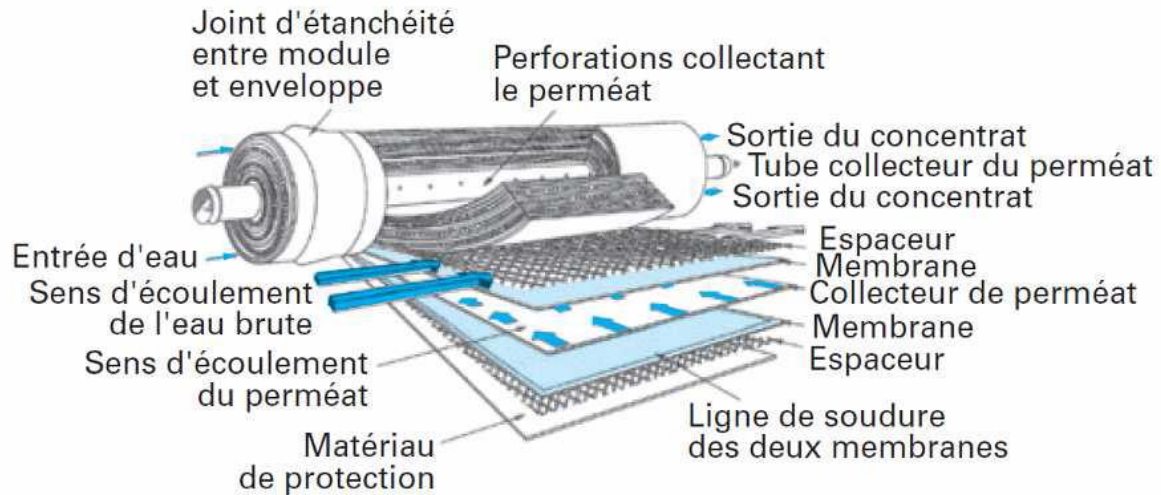


Figure II.9 : Schéma d'un module spiral d'OI (Desclaux et Remigy, 2012)

Dans cette configuration, on définit le perméat comme l'eau dessalée et le concentrat comme l'eau salée qui n'est pas passée à travers la membrane et qui est recueillie à la sortie du module [27].

➤ **Les usages d'osmose inverse :**

La technologie de l'osmose inverse dont la taille des pores est de 0,1 à 1,5 nm s'applique dans les cas suivants :

- Dessalement des eaux de mer et des eaux saumâtres ;
- Récupération d'eau d'effluents colorés ;
- Récupération d'eau d'effluents d'usine de blanchiment ultrafiltrés et d'eau blanche ultra filtrée ;
- Production d'eau ultra pure pour utilisation dans des procédés sensibles (pharmacie, tannerie, papeterie...) ;
- Récupération d'eau d'effluents miniers ;
- Concentration et purification d'effluents acides ou alcalins contaminés [28].

➤ **Les avantages et les inconvénients d'osmose inverse**

✚ **Les avantages :**

- Un taux de conversion élevé (supérieur à 55%) ;
- Une consommation spécifique d'énergie basse (3 à 5Kwh/m3) ;
- Une flexibilité par rapport à la variation de la demande en eau ;
- Un coût d'investissement relativement bas ;

- Une durée de mise en œuvre réduite [29] ;
- Après l'osmose inverse on obtient une eau très pure possédant des mesures bioélectroniques parfaites pour la santé, pratiquement identiques qu'à celles des eaux de sources les plus naturelles ;
- pH légèrement acide de 6.6 (idéal pour la digestion, l'assimilation des aliments).
- Résistivité élevée 20000 à 30000 ohms, ce qui permet une parfaite élimination des toxines par les reins[30].

✚ Les inconvénients :

Malgré les avantages, il y a aussi des inconvénients comme :

- Sensibilité à la variation de la qualité d'eau brute et surtout aux pollutions ;
- Nécessité d'un personnel qualifié ;
- Exploitation relativement difficile surtout au niveau du prétraitement ;
- Un coût de maintenance élevé dû aux frais de renouvellement des membranes d'une durée de vie ne dépassant pas 7 ans à présent [29] ;
- La perte de cinq litres d'eau pour un litre d'eau osmosée car la membrane doit être continuellement nettoyée ;
- Comme l'eau est déminéralisée, elle est agressive et corrosive pour les tuyauteries ;
- L'eau perd tous ses minéraux y compris les minéraux bénéfiques comme certains alcalins ;
- Notamment le calcium et le magnésium. Il est donc préférable de reminéraliser l'eau avant de la boire [31].

II.7 Définition de membrane



Une membrane est une mince couche de matière permettant d'effectuer une séparation solide-liquide sélective à l'échelle microscopique lorsqu'elle est soumise à une force motrice. Cette force peut être générée par un gradient de pression, de concentration ou de potentiel électrique, de part et d'autre de la membrane [32].

Figure II.8 : les Membranes d'osmose inverse.

II.7.1 Technologie de membrane

La membrane est constituée d'une surface plane dont la perméabilité est sélective, son objectif principal est d'éliminer le sel. Elle assure également la rétention des composants indésirables dans l'eau (micro algues, bactéries, certains virus, microorganismes, micropolluants), supprime la turbidité (eaux troubles), limite les sous-produits de désinfection et permet la production d'une eau épurée. Dans le cas de l'osmose inverse, l'élimination des éléments physico-chimiques et biologiques indésirables est quasiment totale.

Il existe différents types de membranes telles qu'en polyamide, en poly sulfone acétate de cellulose, membranes composites et membranes dynamiques.

Ces membranes doivent être résistantes au pH, à la température et aux agents chimiques.

Les membranes sont rassemblées en modules afin d'augmenter les débits de traitements. On distingue, les modules tubulaires, les fibres creuses, les modules plans et les modules spiraux. L'essor des matériaux de synthèse a permis de réaliser des parois semi-perméables éminemment plus pratiques et on peut les classer suivant le critère adopté en plusieurs catégories [16].

II.7.2 Les types de membrane

L'abbé Nollet à la fin du 17^{ème} siècle avait déjà observé le comportement d'une membrane constituée d'une vessie de porc : cette membrane laissait passer un flux d'eau douce pour diluer une solution saline séparée de la précédente par cette paroi : il avait observé le phénomène d'osmose. Au 19^{ème} siècle cette « curiosité de laboratoire » avait été étudiée par Van't Hoff qui donna sa loi au phénomène d'osmose, les parois utilisées étaient réalisées ainsi :

« On peut réaliser artificiellement une paroi semi perméable par le procédé de Traube .il consiste à plonger un vase poreux contenant une solution de sulfate de cuivre, dans une solution de ferrocyanure de potassium : les deux liquides, se rencontrant dans les pores du vase, donnent un précipité gélatineux de ferrocyanure de cuivre, qui forme une paroi semi perméable » [28].

En fonction de la nature des matériaux constitutifs des couches de membranes, on parle de :

1- Membranes organiques :

Fabriquées à partir de polymères organiques tels que l'acétate de cellulose, de polyamides, poly sulfones...

- Membranes en acétate de cellulose : Constituées principalement de cellulose en remplaçant les groupements hydroxyyles par des groupements acétyle dont il permet d'obtenir soit le

diacétate soit tri acétate de cellulose, on note que le degré de substitution d'un polymère d'acétate de cellulose est supérieur à 2,75 ce qui équivaut à un pourcentage d'acétyle de 42,3 ; C'est le plus ancien des polymères mais il est toujours utilisé parce qu'il présente certains avantages ;

- Membrane en polyamides : Les formules chimiques des membranes ont évolué avec le temps : à l'origine en acétate de cellulose, elles sont aujourd'hui en majorité en polyamide vu les inconvénients de l'acétate de cellulose ;
- Membrane en poly sulfone : Caractérisées par un groupement -SO₂- relativement stable relié à deux noyaux benzéniques ;
- Membrane en matériaux acryliques : poly (acide acrylique) et poly acrylonitrile (pan) ;
- Membranes en matériaux fluorés : poly (fluorure de vinyldéne) ou PVDF et poly (tétrafluoroéthylène) ou PTFE_y [33].

Tableau II.1 : Les avantages et les inconvénients

Membrane organique	Avantages	Inconvénients
En acétate de cellulose	-Perméabilité très élevée, -Mise en œuvre aisée, -Le matériau de base (cellulose) est répandu, -Colmatage moins élève	-Sensibilité à la température, -Sensibilité au PH, -Sensibilité au chlore, -Sensibilité aux microorganismes, -Sensibilité au colmatage.
En polyamides	-Bonne stabilité chimique et thermique, -meilleure résistance mécanique	-Très grande sensibilité aux oxydants, - Faible perméabilité, - Problèmes d'adsorption
En poly Sulfone	-Bonne stabilité thermique jusqu'à 75° C, -Bonne tenue au PH variant de 1 à 13 ; -Bonne résistance au chlore	-Sensibilité au colmatage, aucune membrane de ce type ne supporte des pressions à 15 à 20 bar, -Problèmes d'adsorption.
En matériaux acryliques	-Bonne stabilité thermique, -Bonne stabilité chimique, -Possibilité de stockage à sec.	-Résistance mécanique limitée, -Difficulté d'obtenir de faibles diamètres
En matériaux fluorés	-Très bonne résistance thermique, -Très bonne résistance chimique	-Faible perméabilité due au caractère hydrophobe de la membrane, -Utilisable seulement en microfiltration

2- **Membranes minérales** : Membranes à support carbone, Membranes dynamiques et Membranes en alumine.

Tableau II.2 : Les avantages et les inconvénients

Membrane Minérale	Avantages	Inconvénients
A support Carbone	-pH compris entre 0 à 14, -Températures pouvant atteindre 300°C, -Pressions allant jusqu'à 2 MPa.	-Prix élevé, -Volume mort important, dû à la configuration tubulaire : 1,5 l/m ² .
Dynamiques	-Investissement faible pour la fabrication, -Bonne tenue en température, au pH et en milieu oxydant.	-Performances (perméabilité et sélectivité) médiocres en osmose inverse. -Mise en œuvre nécessitant un savoir-faire important
En alumine	-Bonne tenue en température élevée jusqu'à 300°C, -Bonne tenue en milieu acide jusqu'à pH=1, -Bonne tenue en pression.	-Sensibilité au milieu basique, ce qui pose de problèmes lors du nettoyage à la soude,

3- Membranes composites :

Apparues il y a dix ans, elles sont caractérisées par une structure asymétrique dont la peau est beaucoup plus fine que celle des membranes classiques non composites et par une superposition de plusieurs couches différenciées soit par leur nature chimique, soit par leur état physique. Elles peuvent être organiques (superposition de polymères organiques différents), organo- minérales ou minérales (association de carbone ou d'alumine comme support et de métaux tels le zircon, l'alumine et le titane).

Tableau II.3 : Avantages et Inconvénients des membranes composites

Avantage	Inconvénients
- Perméabilité et sélectivité élevées ; - Stables à des valeurs de pH de 2 à 11 ; - Bonne tenue à des températures de 40° à 60°C suivant la pression.	- Mauvaise tenue au chlore. [34]

III.7.3 Nettoyage de membrane

Trois types de nettoyage sont de façon générale pratiqués : Les rétro lavages, Les nettoyages chimiques et le Nettoyage enzymatique

1. Les rétro lavages :

Les rétro lavages consistent à inverser le sens d'écoulement au travers de la membrane et le gradient de pression de façon à envoyer le perméat au travers de la membrane et ainsi

permettre l'évacuation du dépôt et des particules participant au blocage de pores. Le succès d'une opération de filtration passe par une bonne efficacité des rétro lavages de façon à maintenir une productivité élevée. Ainsi, si les rétro lavages sont généralement réalisés à l'aide du perméat, il est aussi proposé d'utiliser de l'air et du perméat ou encore uniquement de l'air.

Les rétro lavages, quel que soit leur mode de mise en œuvre, ne permettent généralement pas d'assurer la restauration intégrale à long terme de la perméabilité des membranes [35].

2. Les nettoyages chimiques :

Le nettoyage chimique est presque toujours nécessaire si l'on veut que l'installation fonctionne suivant ses performances nominales. La décision d'effectuer un nettoyage chimique d'un module d'osmose inverse peut être liée :

- Soit à une valeur de la perte de charge que l'on s'impose comme maximum à ne pas dépasser ;
- Soit à une valeur du débit de perméat lorsque la diminution atteint 20 à 25% par rapport au débit nominal ;
- Soit à un programme de nettoyage systématique prédéterminé. Ceci est utilisé lorsque l'on a une installation importante qui comporte un nombre élevé de modules.

On peut ainsi avoir une partie des modules en nettoyage tandis que le reste assure la production [36].

3. Nettoyage enzymatique :

Ce type de nettoyage constitue une alternative aux traitements chimiques. Il peut être appliqué dans les cas de membranes sensibles aux réactifs chimiques, au pH ou à la température élevée, ainsi que dans les cas de colmatage avancé. Bien que peu énergivores et biodégradables, les enzymes requièrent des temps de traitement plus longs que les traitements chimiques et sont aussi plus coûteux. Pour ces raisons, ils sont peu souvent adoptés [37].

Bien entendu, ces nettoyages présentent plusieurs inconvénients de taille : arrêt de la production pour réaliser le nettoyage, consommation élevée en eau pour rincer l'installation, utilisation de produits chimiques néfastes pour l'environnement, traitement nécessaire des effluents de nettoyage, dégradation des propriétés mécaniques des membranes [35].

II.7.4 Durée de vie de membrane

Il est très difficile de déterminer exactement la durée de vie des membranes d'osmose inverse. En effet, la durée de vie dépend de la nature de la membrane mais aussi de ses

conditions d'utilisation, notamment : La Pression de fonctionnement, La Température de l'eau, Le pH de l'eau et La qualité du prétraitement.

Enfin, la notion même de la durée de vie d'une membrane n'est pas très nette. Les performances d'une membrane d'osmose inverse évoluent lentement au cours du temps et en général on change les membranes lorsque la qualité du perméat dépasse un certain seuil. Mais pour différentes raisons, l'exploitant peut très bien augmenter la durée de vie des membranes en faisant fonctionner l'installation au-delà de ce seuil [38].

II.8 Prise d'eau de mer

Qualité d'eau de mer requise, pour le dessalement, la stabilité des caractéristiques et le minimum de MES et MO, visant la protection des membranes contre les colmatages et biofouling [17].

Il existe différents modes de prélèvement pour une usine de dessalement, cela dépendent des possibilités qu'offrent le site du projet :

- Contextes des sites (potentialités et contraintes des sites) : géomorphologie de la côte, hydrogéologie côtière, nature fonds marins, courantologie (marée, courants, houles, transit sédimentaire,...); faunes et flores terrestres et continentales,...etc.
- Facteurs Technico-économique : Coût de l'énergie (KWh), distances d'approvisionnement, technicités et spécialisation et entreprises locales, taxes et droits de douane, etc....
- Facteurs Environnementaux : sites d'intérêts biologiques et écologiques, plages publiques, rejets urbains, activités socioéconomiques et culturelles, etc [25].

Partie 02

II.9 Traitement de l'eau de mer

Le prétraitement est l'un des principales filières dans les stations de dessalement de l'eau de mer, il évite la formation de dépôts sur les surfaces membranaires et afin de produire une eau conforme à l'alimentation des systèmes d'osmose inverse [39]. En plus, il a une importance prédominante tant en ce qui concerne les qualités physico-chimiques, organiques et microbiologiques de l'eau à traiter, ainsi en ce qui concerne la durée de vie des membranes, et ce en minimisant le colmatage réversible ou irréversible à long terme [40].

Le prétraitement a pour but d'éliminer les matières décantables et de réduire les matières en suspension, ainsi que la turbidité. En osmose inverse, une variété de techniques de prétraitement est appliquée telles que :

1. Prise d'eau de mer :

L'alimentation des stations de dessalement de l'eau de mer se fait par l'une des deux prises à savoir : la prise ouverte en plein mer ou la prise par forage. Plusieurs études ont démontré qu'il est moins coûteux de capter l'eau de mer par des forages que de faire des prises directes. Il est donc recommandé, avant la sélection définitive du site, de réaliser des forages qui permettent de déterminer l'emplacement susceptible d'être sélectionné. En dessalement, les problèmes en rapport avec le captage des eaux de mer, demandent un projet spécifique des systèmes d'exploitation, y compris les forages, leur finition, et leur développement comme étape importante à la sélection des meilleurs sites de captage [41].

2. Propriétés et analyse de l'eau de mer :

Le changement des propriétés de l'eau de mer risque de passer inaperçu, à cet effet, le moyen qui nous permet d'identifier et de caractériser ces changements est de faire des analyses complètes (physico chimiques et bactériologiques). ,

3. Coagulation et floculation :

La coagulation-floculation est un procédé de traitement physico-chimique qui a pour but la déstabilisation des particules colloïdales en suspension avec addition de coagulants et floculants, puis formation de flocons par adsorption et agrégation, les flocons ainsi formés seront décantés et filtrés par la suite [39].

4. Inhibiteur d'entartrage :

Le colmatage inorganique faiblement soluble, dû aux précipitations des sels durs tel que de calcium, de magnésium et des sulfates, présentant une faible solubilité dans l'eau, est le problème le plus rencontré dans les stations de dessalement de l'eau mer [42].

Pour réduire ou éviter le colmatage des membranes d'osmose inverse, actuellement plusieurs méthodes ont été employées dans les stations de dessalement, Shamir et al [42]. Ont utilisé des acides et un produit anti calin en vue d'une réduction de la précipitation de sels au niveau des membranes d'osmose inverse.

5. Désinfection :

La désinfection est le moyen le plus efficace pour éliminer et désactiver tous les germes pathogènes contenus dans l'eau. C'est une oxydation assurée par des oxydants chimiques tels que le chlore Cl_2 , le dioxyde de chlore ClO_2 , l'hypochlorite de sodium, l'ozone O_3 et dans un certain nombre de cas, par un procédé physique comme le rayonnement UV [42].

Le chlore est le produit le plus utilisé pour la désinfection parce qu'il est facile à appliquer, à mesurer, à contrôler, et ne présente pas de risques importants ; il est très efficace

contre l'activation des microorganismes, c'est un produit assez persistant et relativement bon marché [43].

6. Décantation :

La décantation est une méthode physique de séparation des matières en suspension et des colloïdes rassemblés en floc, après l'étape de coagulation-floculation. La décantation aura lieu quand la densité des floccs est supérieure à celle de l'eau. Les particules s'accumulent au fond du bassin de décantation d'où on les extrait périodiquement. Pour améliorer la décantation en favorisant le grossissement des floccs, il est préférable de prévoir une zone de floculation avec agitation lente à l'entrée du bassin. Plusieurs types de décantation existent à savoir : la décantation statique, la décantation à contact de boues, la décantation lamellaire et la décantation à floccs lestés [39].

Au niveau des stations de Dessalement, la décantation de type statique et lamellaire sont les plus utilisées.

7. Déchloration :

C'est une étape très importante, elle est utilisée pour éliminer le chlore libre résiduel afin d'éviter l'oxydation des membranes. Parmi les produits les plus utilisés pour la déchloration d'une eau, le dioxyde de soufre, le charbon actif et le bisulfite de sodium [42].

Actuellement, plusieurs stations utilisent la déchloration par le bisulfite de sodium pour protéger les membranes d'osmose inverse en polyamide et fibre creuse [44].

8. Filtration :

La filtration est un procédé physique destiné à éliminer les matières en suspension en faisant passer l'eau à travers un milieu poreux constitué d'un matériau filtrant. Elle est caractérisée par la vitesse à laquelle l'eau à filtrer traverse le milieu filtrant dont le nettoyage doit être particulièrement soigné et contrôlés fréquemment [45].

Parmi les filtres les plus utilisés pour le traitement des eaux on peut citer : Les filtres à sable rapides qui sont les plus utilisés pratiquement, Les filtres à sable lents et Les filtres sous pression.

9. Microfiltration :

La microfiltration est l'étape finale des prétraitements de l'eau destinée à l'alimentation des membranes d'osmose inverse. Elle permet donc la rétention des particules en suspension, des bactéries, des colloïdes et de certains ions après fixation de ces derniers sur de plus grosses particules obtenues par complexation, précipitation ou floculation.

Dans les systèmes de Dessalement par osmose inverse, la microfiltration est placée en amont des tubes de pression afin de garantir une meilleure protection des membranes. Trois types de cartouches sont utilisés dans les stations de Dessalement dont :

- La filtration en profondeur à cartouches bobinées qui sont constituées par un fil en polypropylène enroulé d'une manière croisée et continue autour d'un noyau. Pour que la filtration s'effectue en profondeur, la résistance du fil diminue des couches inférieures vers les cartouches supérieures lors de l'enroulement, la filtration s'effectue de l'extérieur vers l'intérieur ;
- La filtration en profondeur à cartouches agglomérées qui sont constituées de fibres longues thermosoudées entre elles et comprimées. La dimension des pores va en décroissance de l'extérieur vers l'intérieur [29].

II.10 Correction de la corrosivité et Reminéralisation

Un post-traitement de reminéralisation permet de rendre à l'eau son équilibre calco-carbonique et de préserver ainsi le réseau de distribution de la dégradation par corrosion : ce traitement est généralement réalisé par ajout de CO₂ et de chaux ou de CO₂ suivi d'une filtration sur lit de CaCO₃ [30]. Quatre solutions sont généralement utilisées pour reminéraliser l'eau [46].

Tableau II.4 : Différents techniques de reminéralisation des eaux dessalées.

Procédé	Description	Minéraux
1	Mélange avec 1% d'eau de mer clarifiée + neutralisation pH	15 mg/L Mg + 5 mg/L Ca + 125 mg/L Na + 220 mg/L Cl + 25mg/L SO ₄ pH 7-7.5
2	Ajout de CO ₂ + percolation de calcite (CaCO ₃ , MgO) + Na ₂ CO ₃	80 mg/L CaCO ₃ pH 7-7.5
3	Ajout de CO ₂ + percolation de dolomite (CaCO ₃ , MgCO ₃) + Na ₂ CO ₃	80 mg/L CaCO ₃ + MgCO ₃ pH 7-7.5
4	Ajout de CaCl ₂ + NaHCO ₃	100 mg/L CaCO ₃ 100 mg/L Na + 50 mg/L Cl pH 7-7.5

II.11 Impact de la station de Dessalement sur l'environnement

La construction d'une station de Dessalement produit plusieurs impacts sur l'environnement, certains d'entre eux sont positifs et les autres sont négatifs :

1. Impacts positifs :

- La disponibilité de l'eau de bonne qualité est préliminaire au développement économique et social des communautés locales ;
- Le dessalement est une source fiable de l'eau qui n'est pas soumise aux changements climatiques liés aux sources d'eau douce.

2. Impacts négatifs :

- Destruction du fond marin et diminution de la biomasse planctonique et de la biodiversité marine.
- augmentation de la salinité et des taux des métaux lourds.
- Impacts ontogénique, cellulaire et sur la croissance, la reproduction et la survie des macrophytes [46].

II.12 Conclusion

Le dessalement de l'eau de mer par osmose inverse est, à l'heure actuelle, un procédé majeur pour la production d'eau potable dans les pays souffrant d'une pénurie d'eau douce.

L'objectif principal de cette technique est l'élimination des sels, des matières organiques et des microorganismes présents dans l'eau de mer. Les avantages de l'osmose inverse sont sa simplicité de mise en œuvre et son faible coût énergétique par rapport au dessalement thermique. Cependant, ce procédé possède encore des limitations ; la principale est due à la pression de travail qui doit être appliquée pour vaincre la pression osmotique.

Cette pression osmotique est d'autant plus importante que la concentration en sels augmente ce qui limite les taux de conversion pouvant être obtenus avec l'osmose inverse. De plus, bien que le phénomène de polarisation de concentration contribue à réduire les flux produits, le phénomène de colmatage rend le procédé très sensible à la qualité des prétraitements et le problème de concentrats qui sont rejetés sans traitement dans l'eau de mer, modifie fortement l'équilibre et la biodiversité maritime.

**Chapitre III : Présentation de la station de
dessalement d'eau de mer d'El Marsa
Skikda**

III.1. Introduction

Suite à la pénurie de l'eau dans la région, les autorités ont pris la décision de construire une station de Dessalement de l'eau de mer à El-Marsa Rmila, située dans la wilaya de Skikda. Cette station a pour objectif de répondre aux besoins en eau de la zone en transformant l'eau de mer en eau douce grâce à des procédés de Dessalement membranaire. Cette initiative vise à assurer un approvisionnement en eau fiable et durable dans la région, en exploitant les ressources marines disponibles.

III.2. Présentation de la station

La station de Dessalement de l'eau de mer de El-Marsa est conçue pour placer très bien les difficultés d'approvisionnement en eau pour les résidents de cette communauté et des villages environnants, où la station de Dessalement traite 5000m³/jour. Elle est actuellement exploitée à hauteur de 50% de ses capacités, soit 2.500 m³/jour, a précisé la même source, ajoutant qu'elle fonctionnera en plein régime, dans les prochains jours pour assurer de l'eau douce en H24.

Les services de la wilaya ont rappelé que la réalisation de cette station de Dessalement d'eau de mer a mobilisé une enveloppe financière de 1,6 milliard DA, à laquelle s'ajoutent 170 millions DA, réservés au raccordement de la station aux châteaux d'eau. Le wali de Skikda, M^{me} Houria Meddahi qui a procédé à la mise en service de la station a mis l'accent sur l'impératif d'assurer la maintenance et la réhabilitation des réseaux d'alimentation en eau douce.

III.3. Situation géographique de station

La deuxième station de Dessalement d'eau de mer à Skikda, située dans El Marsa à l'Ouest de Skikda, a été baptisée du nom du martyr Mohamed Amirat.

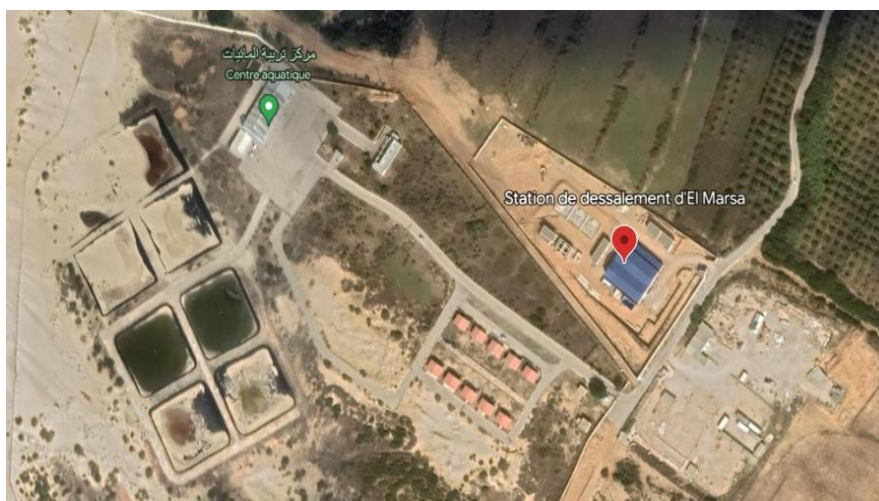


Figure III.1 : Situation géographique de la station

III.4. Prise d'eau de mer

Dans notre station de dessalement, la prise d'eau est de type ouvert. L'eau est acheminée gravitairement par un canal d'amenée et est recueillie dans une bêche d'eau situé sur la plage d'où elle est pompée jusqu'à la première batterie de filtres. Le choix du point de captage a été décidé après différentes études pour obtenir une bonne qualité d'eau durant toute l'année, et loin des problèmes provoqués par l'embouchure de la rivière et ses apports d'eau douce et turbide, pendant les périodes de crues.

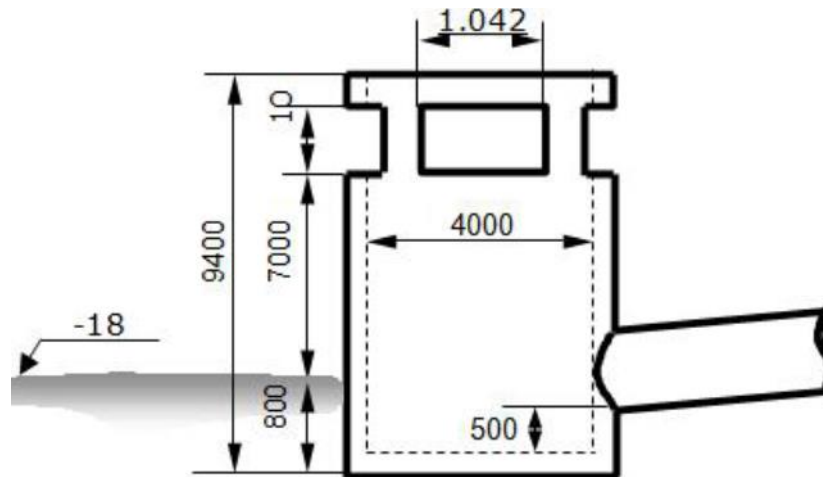


Figure III. 2 : Tour de captage d'eau de mer

L'eau de mer sera pompée par une station de pompage, Un système de filtration de l'eau de mer comprenant des grilles à 15 mm d'ouverture et des filtres pour empêcher le passage des débris, des algues etc. Cet équipement empêchera également l'ingestion et la destruction de poissons et d'autres organismes de la flore et de la faune marine à l'entrée du système de pompage.

III.5. Traitement de l'eau de mer

L'eau qui va se dessaler contient une série de composants organiques et non organiques qui doivent être contrôlés dans des limites déterminées, pour qu'elles en soient détériorées.

Elle doit être conditionnée en la soumettant à une série de traitements qui répondent globalement à deux types :

- Physiques, destinés à éliminer fondamentalement les éléments solides, les algues et la matière organique.
- Chimiques, pour éviter des attaques à la membrane ou des précipités de sels sur cette dernière.

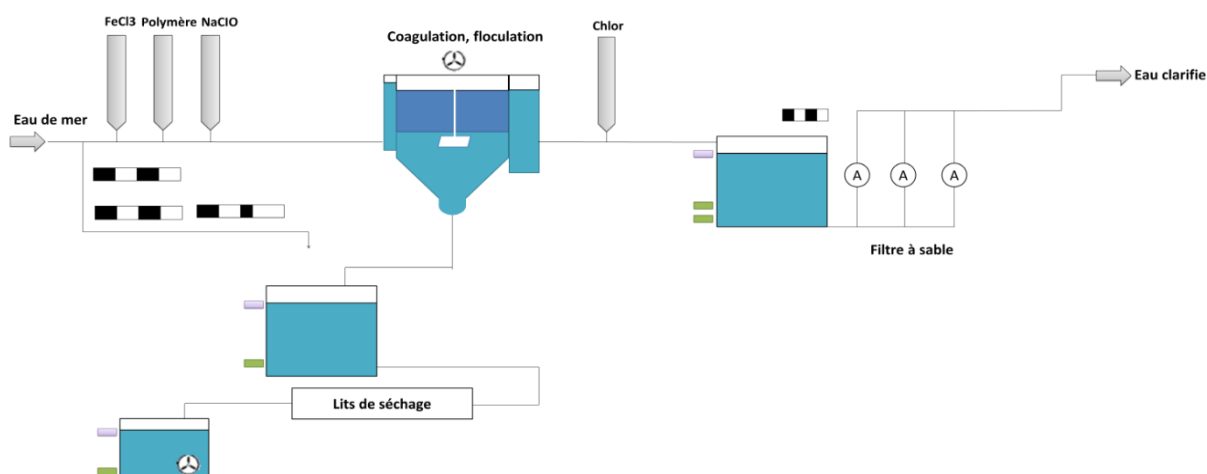


Figure III.3 : schéma de traitement d'eau de mer

III.5.1. Prétraitement

L'objectif principal de cette étape est de procéder à l'élimination des matières en suspension présentes dans l'eau de mer, afin de fournir une eau clarifiée. La configuration de base du prétraitement est la suivante :

- Un mélangeur statique pour la coagulation, avec de FeCl₃ comme coagulant ;
- Un mélangeur statique pour la floculation, avec du polymère et NaClO (floculant) ;
- Un décanteur lamellaire ;
- Un bac pour l'eau clarifiée avec trois pompes de transfert reliées (2 pour l'utilisation + 1 de secours) ;
- Un réservoir pour les boues, relié avec un lit de séchage des boues

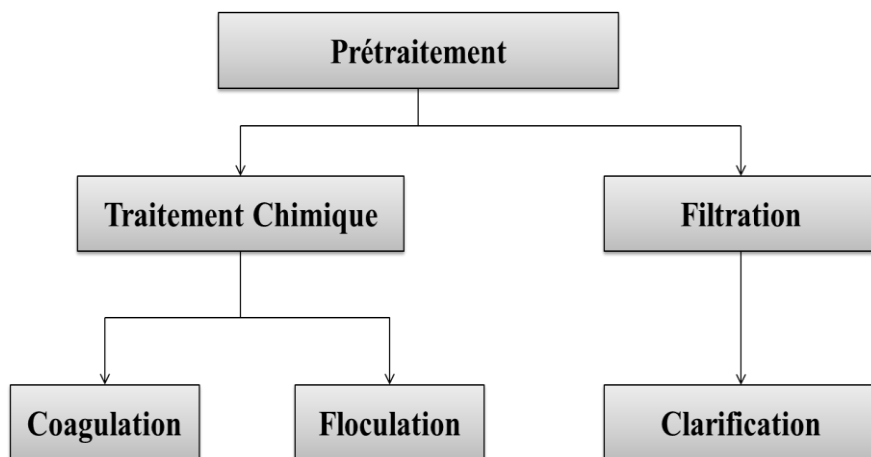


Figure III.4: Les phases de prétraitement

Comme illustré dans la figure ci-dessus, le prétraitement est composé d'un traitement chimique et d'une sédimentation (filtration). Le traitement chimique est généralement

appliqué comme première étape afin d'améliorer la capacité d'un procédé de traitement à éliminer les particules [47].

- **Coagulation**

La coagulation est l'effet résultant de l'addition d'un produit chimique, dans notre cas le FeCl_3 , entraînant une neutralisation des charges, une augmentation de la vitesse des particules suspendues, puis une intensification des collisions entre particules formant ainsi une masse suffisamment grande (flocs) pour être piégée dans le filtre.

En théorie, comme la plupart des particules dans l'eau sont chargées négativement, tout ion positif (cation) peut être utilisé comme coagulant [48].

- **Floculation :**

La floculation est une agitation douce pour favoriser l'agglomération des particules ainsi formées en macro-flocs suffisamment grandes pour être décantées ou être filtrées de la solution.

L'efficacité de la floculation est affectée par la capacité d'un floc à se former, ce dernier peut ne pas être idéal pour la décantation et la filtration, ainsi, divers agents chimiques peuvent être ajoutés pour améliorer la formation et la densité de flocs tels que des polymères et le NaClO . Mais ils peuvent ou non apporter une amélioration de la capacité à se déposer ou même à former un floc [48].

- **Clarification (décantation):**

Consiste à sédimenter les flocs formés et dilués par le traitement chimique, ainsi qu'à éliminer les solides décantés sous forme de boue [49].

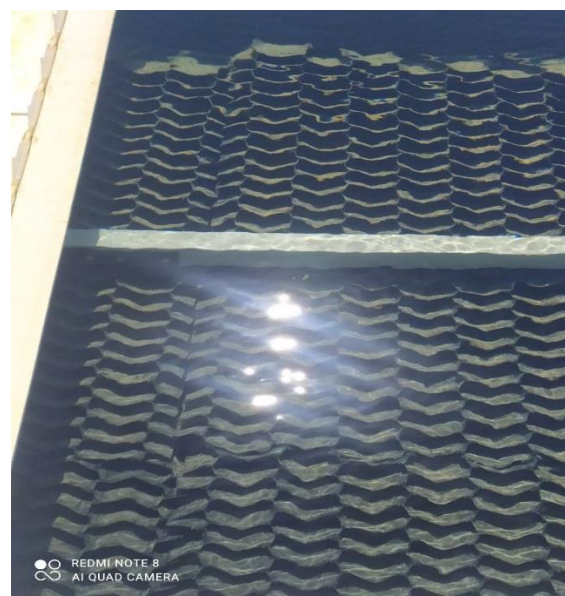


Figure III.5: Décanteur lamellaire de la station

Le décanteur lamellaire (également appelé clarificateur lamellaire) sert à séparer les solides décantables des liquides, en suivant le fonctionnement détaillé ci-après :

- L'eau flocculé rentre dans le décanteur, et passe à l'intérieur du canal d'entrée, il descend jusqu'à atteindre le bas du décanteur. Ensuite, le flux s'inverse et l'eau remonte à travers les paquets de lamelles [49].
- Les particules se déposent à l'intérieur des paquets de lamelles. Puis, ils glissent dans l'entonnoir à boues ;
- Les boues accumulées sont éliminées de manière continue ou discontinue, si nécessaire ;
- Lorsque l'eau s'écoule vers le haut à travers les lamelles inclinées, la voie d'une particule résulte du flux de suspension et du taux de décantation de cette dernière. La résultante des deux vitesses constitue la vitesse de sédimentation, et force la particule en bas des paquets de lamelles, par conséquent les boues glissent vers le bas ;
- Finalement l'eau propre s'écoule vers le haut et sera évacuée à la sortie[50].



Figure III.6 : Décanteur de la station

- **Traitement des boues :**

Le traitement des boues comprend l'élimination des résidus solides provenant de l'étape de prétraitement. Ces boues sont ensuite pompées vers des lits de séchage dans le but de réduire leur quantité et de faciliter leur manipulation et leur élimination. Cette étape permet d'extraire l'excès d'eau des boues, ce qui les rend plus compactes et plus faciles à

gérer. En réduisant le volume des boues, le processus de traitement facilite également leur élimination finale de manière plus efficace et conforme aux normes environnementales.

III.5.2. Filtration

Après les traitements primaires, on passe à la filtration. Dans la station, il existe deux types de filtration filtre à sables et filtre à cartouche. La configuration de base de la filtration est la suivante :

- Huit filtres à sable pour la filtration en profondeur ;
- Cinq filtres à cartouches pour la filtration de surface ;
- Deux surpresseurs et deux pompes pour le lavage des filtres à sables (1 pour l'utilisation + 1 de secours).

III.5.2.1. Filtre à sable

Le filtre à double couche comprend un diamètre de pore 20 microns mètres, un film d'anthracite d'épaisseur entre 1,25 et 2,5 mm, reposant sur une couche de sable fin marbré d'épaisseur entre 1 et 1,5 mm, ces deux couches sont renforcées du gravier. Le filtre comprend six vannes pneumatiques.

L'anthracite est grossier et lorsqu'on les compare au sable fin, ils ont plus de capacité à retenir la saleté. Dans des conditions de volumes de système de filtrage élevés, les filtres à double couches permettent également une élimination très efficace des particules. Afin de préserver l'efficacité de l'unité, les filtres à double couche utilisent un mécanisme de lavage à contre-courant automatisé qui utilise une variété d'air et d'eau [51].

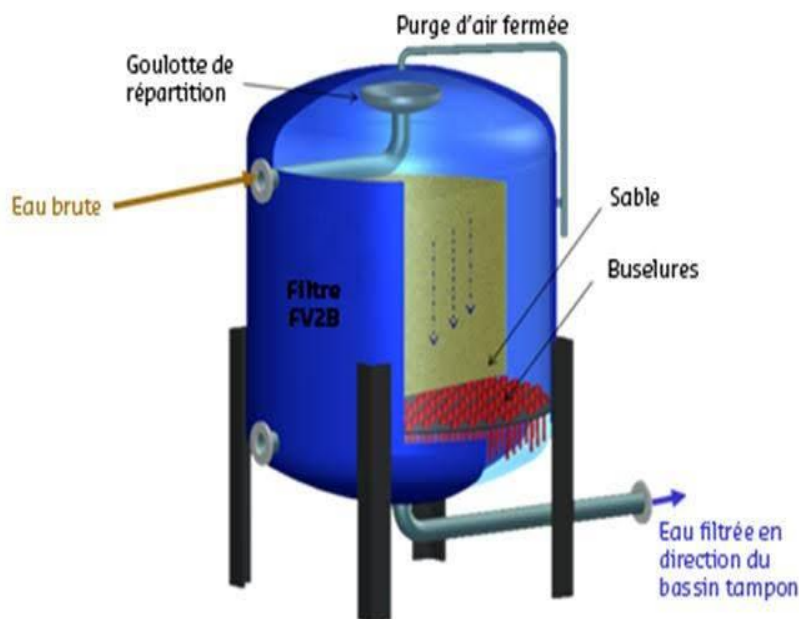


Figure III.7: Filtre à sable sous pression à double couche

- Lorsque le filtre est en production, l'eau non traitée entre par la vanne d'eau brute (vanne EB) et passe à travers un milieu granulaire qui piège les particules.
- L'eau filtrée est évacuée par la vanne de production (vanne prod).
- Pendant la séquence de lavage, le filtre est mis au repos, toutes les vannes sont fermées. Une vidange est effectuée par la vanne 1er filtre, ce qui fait baisser le niveau de l'eau au-dessus des lits de filtration.
- Ensuite, un lavage à air est réalisé pour éliminer la purification et éliminer le milieu filtrant. Cela se fait par la vanne surp.
- Après la désaération, un lavage à l'eau est effectué par la vanne lav.
- Enfin, le filtre est rechargé avec de l'eau clarifiée, et l'eau de lavage retenue du premier filtrat est rejetée pour éviter toute contamination des étapes du processus en aval.

III.5.2.2. Filtre à cartouche

Avant d'arriver aux pompes d'alimentation du processus d'osmose inverse, l'eau passe par six (6) filtres à cartouche avec un degré de filtration de 5 microns mètres. Trois (3) filtres à cartouche sont installés pour une pompe d'osmose inverse. Chaque filtre est équipé de 50 cartouches. Les vannes d'entrée et de sortie sont à opération manuelle [52].

Le filtre à cartouche est conçu dans le but d'éliminer les particules de plus grande taille présentes dans l'eau par une filtration de surface. Son objectif principal est de protéger les membranes d'osmose inverse (OI) en prévenant les particules solides de les obstruer ou de les endommager. En piégeant les grosses particules, le filtre à cartouche garantit ainsi un fonctionnement optimal et prolonge la durée de vie des membranes d'OI.



Figure III.8 : filtres à cartouches

➤ **Qualité de l'eau résultante :**

Après la phase de prétraitement et celle de filtration, le filtrat sortant des filtres à cartouches doit répondre à des critères de qualité stricts pour pouvoir être utilisé pour l'étape d'OI. Les critères sont les suivants :

Tableau III.1 : Critères de qualité de l'eau filtrée

Critères	Valeur
pH	Entre 7.6 et 7.8
Indice de colmatage (SDI)	≤ 5
Turbidité	≤ 0.5 NTU
Concentration de chlore total CL2	≥ 0.1 mg/l

Un filtrat qui ne correspond pas à l'un des critères susmentionnés, n'est pas autorisé dans l'étape d'OI et doit être rejeté.

III.5.3. L'osmose inverse (membrane)

Le système d'osmose inverse est conçu à une passe et un étage avec un taux général de récupération de perméat (rendement) de 45% sur toute la plage de température de l'eau de mer. Le système dispose de deux lignes séparées en arrangement parallèle, chacune dimensionnée pour 50% du débit total de perméat = 2500 m³/j.

L'unité d'entraînement de chaque ligne OI inclut une pompe OI à haute pression, un jeu de deux (2) systèmes de récupération d'énergie isobare – échangeurs de pression – en parallèle ainsi qu'une pompe de recirculation/ « booster ». Le débit de filtrat à basse pression vers chaque ligne OI est de ~233 m³/h. Ce débit est distribué de façon inégale à la pompe OI HP et aux échangeurs de pression : le débit vers la pompe OI HP est de ~106 m³/h et celui vers les échangeurs de pression est de ~127 m³/h. Utilisant la pression de saumure transférée par l'échangeur de pression, la pompe de circulation dynamise (« booste ») et retourne la quantité de 127 m³/h de filtrat entrant de retour dans la conduite commune d'alimentation vers les membranes OI. Le débit de saumure rejetée utilisée dans les échangeurs de pression et mise au rebut est de ~128 m³/h.

Chaque ligne d'osmose inverse produit une quantité de ~105 m³/h d'eau dessalée (perméat), ce qui donne ainsi le débit total de perméat de ~210 m³/h => 5040 m³/j.

La configuration décrite ci-dessus avec des échangeurs de pression permet d'économiser ~50% d'énergie. La tuyauterie basse pression pour le filtrat entrant est fabriquée en PE. La

tuyauterie au côté de refoulement des deux pompes OI ainsi que celle entre les châssis OI et les échangeurs de pression sont fabriquées en acier inoxydable super duplex [52].

➤ **Châssis à membranes**

Il y a quatre (4) châssis ; chaque châssis d'osmose inverse (« rack ») pour une production de 2500 m³/jour d'eau traitée comprend 28 cuves sous pression à membrane. Chaque cuve contient sept (7) membranes. Les cuves sous pression seront installées sur un châssis en acier revêtu de 5CFM. Les tubes à haute pression sont fabriqués en super duplex et les tuyaux au côté à basse pression de perméat sont fabriqués en PVC. Les tubes de sortie de perméat sont fabriqués en PE [52].

Chaque châssis est composé de deux lignes, qu'on la première ligne est fonctionnelle, la deuxième sera en cessation. Cela est dû à un léger problème dans la prise d'eau de mer, ce qui entraîne un drainage de petites quantités d'eau. Il n'est pas nécessaire d'activer la deuxième ligne pour éviter d'endommager le système et prévenir les pannes. Lorsque la deuxième ligne, sera activée cela ne produira aucun effet utile, ce qui pourrait être comparé à "marcher dans le vide".



Figure III.9 : châssis des membranes d'osmose inverse

Système de lavage des membranes CIP :

Pour le nettoyage des membranes, nous préconisons l'utilisation d'acide citrique ou de NaOH. Un réservoir CIP fabriqué en PP avec un volume de 11 m³ sera installé. L'eau CIP doit avoir une température d'environ 35...40°C. Un chauffage électrique sera installé dans la virole du réservoir aux fins de chauffage de l'eau. Une (1) pompe CIP à vitesse variable sera

installée. Pour protéger les membranes, un (1) filtre à cartouche avec 70 cartouches sera installé dans la conduite de décharge CIP [52].

La procédure de nettoyage comporte six étapes :

- ✓ Remplacement des liquides résiduels (perméat et concentrât) dans les membranes d'OI, les cuves sous pression et la tuyauterie d'OI avec du nouveau perméat ;
- ✓ Préparation et chauffage de la solution de nettoyage ;
- ✓ Pompage à faible débit et recyclage de la solution de nettoyage à travers les membranes d'OI et les cuves sous pression. Cela se fait à faible pression (≤ 4 bars) pour minimiser la production de perméat ;
- ✓ Trempage avec la pompe CIP mise à l'arrêt, le produit chimique de nettoyage reste dans les membranes d'OI pour réagir efficacement avec les agents d'encrassement et les tartres visés;
- ✓ Pompage à haut débit et recyclage de la solution de nettoyage à travers les membranes d'OI et les cuves sous pression. Cela se fait aussi à faible pression (≤ 4 bars) pour minimiser la production de perméat et chasser les retombées retirées de la surface de la membrane par le nettoyage
- ✓ Rinçage de la solution de nettoyage appliquée des membranes d'OI avec du nouveau perméat. On continue le rinçage jusqu'à ce que la conductivité et le pH du perméat reviennent aux limites acceptables [53].

III.6. Reminéralisation

Pour la reminéralisation du perméat produit dans la station d'osmose inverse, la conception de la station prévoit l'utilisation de trois (3) réservoirs de réacteur à calcite, chacun ayant une capacité d'environ 15 m³. Cependant, il est recommandé de faire fonctionner deux (2) réacteurs à calcite pour le processus de reminéralisation.

Il est suggéré d'exploiter les trois (3) réservoirs en parallèle afin d'assurer un remplissage uniforme en calcite dans tous les réservoirs. Après environ un mois de service continu, une recharge d'environ 2 m³ de calcite sera nécessaire.

Le perméat des deux stations d'osmose inverse doit être réparti en deux (2) flux, l'un de 110 m³/h et l'autre de 94 m³/h [54].

Alors l'eau résultant de l'étape d'OI est de l'eau distillée, elle est dépourvue des minéraux essentiels, et contient le manganèse (Mn) qui est un des contaminants émergents

dans l'eau. A cet effet le contacteur de calcite est utilisé simultanément pour reminéraliser cette eau et éliminer le manganèse.

Le contacteur de calcite est un filtre sous pression, dans lequel l'eau passe à travers un lit de grains de calcite tout en dissolvant les minéraux carbonatés des grains dans l'eau qui passe jusqu'à ce que le pH se rapproche de l'équilibre avec le carbonate de calcium. La dissolution de la calcite ajoute de la dureté calcique et de l'alcalinité bicarbonate, qui est deux éléments essentiels de l'eau potable nécessaires pour minimiser la corrosivité de l'eau. Par ailleurs, un autre avantage intéressant de la calcite réside dans sa capacité à absorber les cations métalliques divalents (Me^{2+}) à sa surface. Des grains de calcite doivent être ajoutés périodiquement au lit pour remplacer les milieux dissous. [55].

Les contacteurs de calcite utilisent le même mécanisme de lavage que celui des filtres à double couche.



Figure III.10 : La calcite

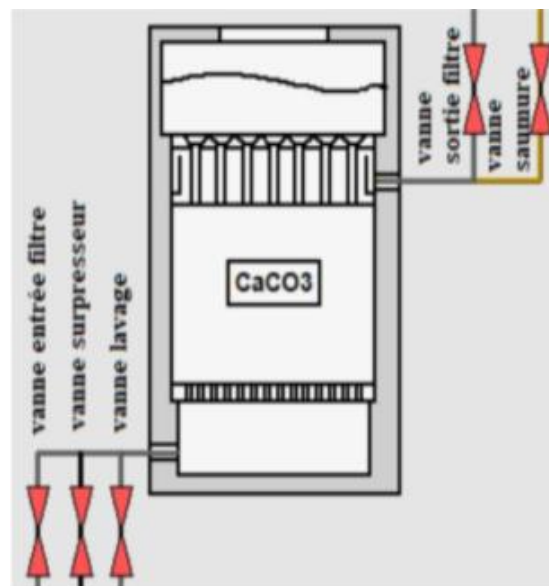


Figure III.11 : les différentes vannes du contacteur de calcite

➤ **Qualité de l'eau résultant :**

A l'issue de la phase d'osmose inverse, l'eau traitée aura les caractéristiques représentées dans le tableau suivant :

Tableau III. 2 : Critères de qualité de l'eau filtrée

Critères	Valeur
Température	Entre 13 et 28 °C
pH	Entre 8,5 et 8,8

(TDS)	≤ 500 mg/l
Alcalinité, CaCO ₃	≤ 32 mg/l
Conductivité	≤ 900 μ S/cm
Turbidité	≤ 0.3 NTU

III.7. Distribution [château d'eau de mélange (eau dessalée avec eau de forage)]

La distribution d'eau potable a été menée dans la région de Rmila El-Marsa, où une station de dessalement est en service. L'objectif de cette expérience était d'optimiser l'approvisionnement en eau en combinant l'eau dessalée produite par la station et l'eau provenant des trois forages situés dans la région. Initialement, les forages 2 et 4 ont été choisis pour prélever l'eau destinée à être mélangée avec l'eau dessalée. Cependant, en raison de variations de disponibilité et de qualité de l'eau, la décision a été prise de passer à l'utilisation des forages 4 et 5 pour assurer un approvisionnement stable en eau potable. Une fois prélevées, l'eau dessalée et l'eau de forage sont acheminées vers un réservoir de stockage où elles sont mélangées. Ce réservoir joue un rôle crucial dans la régulation du flux d'eau et permet d'homogénéiser les différentes sources afin de garantir une distribution uniforme aux consommateurs. La qualité de l'eau est une préoccupation majeure dans le processus de distribution d'eau potable. Des mesures de surveillance et d'évaluation régulières sont effectuées pour s'assurer que l'eau répond aux normes de potabilité et est sûre à la consommation. Des analyses microbiologiques, chimiques et physiques sont réalisées pour garantir la qualité de l'eau distribuée. La distribution combinée d'eau dessalée et d'eau de forage présente plusieurs avantages. Elle permet d'optimiser l'utilisation des ressources en eau disponibles dans la région, en tirant parti des avantages de chaque source. De plus, elle contribue à assurer un approvisionnement fiable en eau potable, même en cas de variations de disponibilité ou de problèmes de qualité.

III.8. Manipulation des rejets

Les rejets sont des liquides éliminés à différentes étapes du processus de traitement, tels que les effluents de lavage, les filtrats ne répondant pas aux critères requis ou encore la saumure issue du processus d'osmose inverse. Ces rejets sont collectés dans un réservoir de saumure, puis finalement rejetés dans la mer [56].

➤ **Réservoir de saumure**

Un réservoir de saumure fabriqué en béton avec un volume d'environ 75 m³ sera installé. La saumure issue du processus de dessalement, l'eau de lavage des filtres, l'eau de lavage à calcite et l'eau CIP neutralisée seront évacuées dans ce réservoir de saumure d'où l'eau sera ensuite déchargée dans la mer par gravité [57].



Figure III.12 : réservoir de saumure

➤ **Dosage des réactifs**

Pour le processus de traitement, les réactifs suivants sont à prévoir :

1. Pour la désinfection de l'eau traitée, le dosage de NaClO est prévu. Une (1) pompe de dosage pour la préchloration et une (1) pompe de dosage pour la post-chloration seront installées (une pompe de chaque type sera mise en stock). Un (1) réservoir industriel IBC d'une capacité de 1 m³ sera installé. Le Client est tenu de fournir les conteneurs de réserve nécessaires.
2. Après la désinfection en tant que prétraitement, le SMBS sera dosé pour l'élimination du chlore libre. Deux (2) pompes de dosage (une en standby) seront installées. Un (1) réservoir de préparation de 1 m³ avec agitateur sera prévu.
3. L'antitartre sera dosé en amont des filtres à cartouche pour protéger les membranes. Deux (2) pompes de dosage (une en standby) seront installées. Un (1) réservoir industriel IBC d'une capacité de 1 m³ sera installé. Le Client est tenu de fournir les conteneurs de réserve nécessaires.
4. Le DBNPA en tant que biocide sera dosé au côté d'aspiration de la pompe à haute pression pour protéger les membranes contre la salissure biologique. Le dosage est à

effectuer de temps en temps. L'eau de nettoyage doit être évacuée dans le réservoir de saumure après le nettoyage. Une (1) pompe sera installée et une (1) pompe sera fournie pour être mise en stock. Un (1) réservoir de préparation d'une capacité de 0,2 m³ sera installé.

5. Le H₂SO₄ sera dosé dans le perméat pour corriger le pH après le dosage de CO₂. Deux (2) pompes de dosage (une en réserve) et une (1) pompe de neutralisation seront installées. Un (1) réservoir industriel IBC d'une capacité de 1 m³ sera installé. Le Client est tenu de fournir les conteneurs de réserve nécessaires [57].

III.9. Présentation du laboratoire de l'algérienne des eaux Skikda (Ade)

Le laboratoire central ADE se situe à 6km du chef-lieu de la wilaya de Skikda, il occupe siège CONDOTTE Entreprise réalisatrice du projet adduction et ouvrages des Stockage de l'eau dessalée qui se trouve à ZERAMNA

- Le laboratoire central est divisé en
 - Une salle de réception des échantillons
 - Une salle destinée aux Analyses Bactériologique
 - Une salle destinée aux Analyses Physico-chimique
 - Un magasin de réactifs stockés ou produits chimiques et verreries de laboratoires.

L'activité du Laboratoire central se repose sur la réalisation de 02 types d'analyses :

- Les Analyses Physico-chimiques
- Les Analyses Bactériologiques

Volume distribué pour la ville de Skikda est de moyenne **32.450.000 m³ / ans.**

III.10. Conclusion

La station d'El Marsa est conçue pour produire de l'eau dessalée avec reminéralisation, qui sera utilisée à des fins de consommation humaine. Il est donc essentiel d'analyser et de vérifier la qualité de l'eau dessalée avant et après reminéralisation avant sa consommation.

Les détails concernant ces analyses et vérifications seront évoqués dans le prochain chapitre.

Chapitre IV : Méthodes D'analyses

IV.1 Introduction

Le contrôle de la qualité de l'eau de douce obtenue par dessalement de l'eau de mer de la station d' El Marsa Skikda se fait dans le laboratoire de l'unité ou sont effectués des analyses de plusieurs paramètres physico-chimiques et bactériologiques.

IV.2 L'objectif

Le but de notre étude expérimentale est de réaliser des analyses physico-chimiques et bactériologiques pour examiner la qualité de l'eau dessalée de la station EL-MARSA Skikda et s'assurer de son aptitude à la consommation et à l'utilisation selon les normes internationales et algériennes.

IV.3 Paramètres des analyses effectuées Expérience

Dans notre étude expérimentale, nous avons prélevé quatre types d'échantillons prélevés à partir des vannes situées à différents endroits : Eau dessalé, Eau de forage 04, Eau de forage 05 et Eau de mélange (dessalé + forage). Les quatre échantillons d'eau ont subi les mêmes analyses physico – chimiques et bactériologiques.



Figure IV.1 : Echantillon de prélèvement.

IV.3.1 Échantillonnage

Le prélèvement d'un échantillon d'eau est un processus délicat qui nécessite le plus grand soin. C'est la condition de ses résultats analytiques et de l'interprétation de ce qu'il a fait, s'il sait que le testeur a une connaissance précise des conditions de prélèvement et de leur importance pour la qualité des résultats analytiques.

L'échantillon doit être homogène, représentatif et obtenu sans modifier les caractéristiques physico - chimiques, ni l'aspect microbiologique de l'eau. Le transport des échantillons est effectué à l'obscurité dans des emballages isotherme, dans une glacière.

➤ **Échantillonnage pour l'analyse physico-chimique :**

L'échantillon a été prélevé directement à la source (vanne) dans une bouteille en plastique munie d'un couvercle, et les bouteilles ont été lavées à l'eau pour être recueillies, fermées rapidement et transportées au laboratoire, à condition qu'elles soient conservées à basse température (glacier).

➤ **Échantillonnage pour l'analyse bactériologique :**

L'échantillon est prélevé directement à la source dans un récipient en verre, il doit être stérile pour s'assurer que l'échantillon est complètement propre lors du prélèvement. il est rapidement remplie, scellée et transportée au laboratoire après avoir désinfecter le robinet en le nettoyant avec coton imbibé d'alcool ou en le flambant à l'aide d'un briquet. L'échantillon est ensuite transporter rapidement au laboratoire dans une glacière.

Si l'échantillon est destiné à un examen bactériologique uniquement, le volume de l'échantillon ne doit pas être inférieur à 200 millilitres et il est prélevé dans des bouteilles de 250 millilitres.

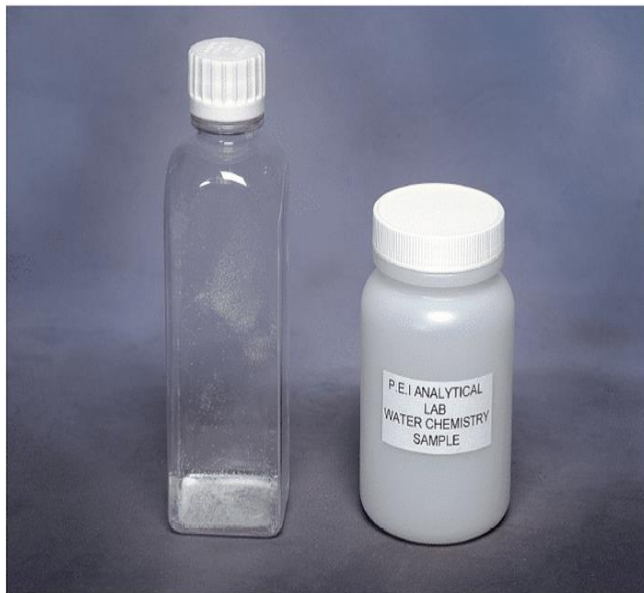


Figure IV.2 : Flacon d'analyse bactériologique. **Figure IV.3 :** Méthode d'échantillonnage

Les récipients destinés à l'examen chimique ou bactériologique doivent être en verre lisse clair avec un couvercle en verre dépoli. Et si l'échantillon est pour examen bactériologique, le laboratoire spécialisé dans l'eau stérilise les bouteilles.

IV.3.2 Paramètres physico-chimique

Température :

Il est très important de connaître la température de l'eau avec une bonne précision. En effet, celle-ci joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout des gaz, dans la dissociation des sels dissous donc sur la conductivité électrique et dans la détermination de pH.

➤ **Le principe :**

La température est mesurée par un thermomètre digital (HANNA INSTRUMENT) et les valeurs obtenues sont estimée en °C

➤ **Mode opératoire :**

On rince l'électrode à l'eau distillée, puis on verse une quantité suffisante de l'échantillon à analyser dans un bécher. Après homogénéisation de l'échantillon par légère agitation, on place l'électrode du thermomètre dans le bécher et on allume le thermomètre.

➤ **Expression de résultat :** lire la valeur affichée sur l'appareil.

Le potentiel d'hydrogène :

Le potentiel hydrogène, plus connu sous le nom de "pH" permet de mesurer l'acidité ou la basicité d'une solution. Le pH de l'eau pure à 25 °C, qui est égal à 7, a été choisi comme valeur de référence d'un milieu neutre.

$[H^+]$ est l'activité des ions hydrogène (mol / L) ;

$[OH^-]$ est l'activité des ions hydroxyde (mol/L).

L'activité des ions hydrogène, aussi appelée concentration efficace, fait référence aux ions qui participent à la réaction et diffère de la concentration réelle des ions en solution.

➤ **Principe :**

Il existe de nombreuses façons de mesurer le pH d'une solution aqueuse. On peut tout d'abord le mesurer par électrochimie à l'aide d'un appareil appelé pH - mètre. On peut aussi utiliser des indicateurs de pH ou indicateurs acide – base.

Un pH mètre Principe repose sur la différence de potentiel chimique existant entre une électrode de verre et une électrode de référence (calme-kel), plongeant dans une même solution est une fonction linéaire du pH de celle - ci selon les lois d'Erneste, le potentiel de l'électrode est lié à l'activité des ions H^+ .

➤ **Mode opératoire :**

On rince l'électrode à l'eau distillée puis on verse une quantité suffisante de l'échantillon à analyser dans un bécher, après homogénéisation de l'échantillon par légère agitation, on place l'électrode du pH-mètre dans le bécher Allumer le pH-mètre.



Figure IV.4: Le pH mètre.

➤ **Expression de résultat :**

La lecture du pH se fait quelques secondes ou minutes jusqu'à ce qu'il se stabilise la valeur affichée sur l'appareil.

➤ **La turbidité :**

Est la réduction de la transparence d'un liquide due à la présence de matières non dissoutes. La mesure de la turbidité est très utile pour le contrôle d'un traitement mais ne donne pas d'indications sur les particules en suspension qui l'occasionne.

➤ **Le principe**

Elle donne une idée sur la teneur en matières en suspension, les eaux troubles changées de substances finement divisées (grains de silice, argile, limon, sable, matières organiques, ...) forment parfois d'importants dépôts dans les tuyauteries et les réservoirs.

➤ **Mode d'opérateur :**

Nous rinçons une cuve propre avec l'échantillon à analyser et nous la remplissons avec environ 20 ml de l'échantillon scellé et la secouons plusieurs fois avant de jeter l'échantillon, puis remplissons le réservoir avec l'échantillon à analyser (environ 30 ml) puis nous fermons la cuve à l'aide du couvercle étanche à la lumière ; on s'assure que l'extérieur de la cuve est propre, sec et vide des empreintes digitales ; puis on met la cuve dans le puits de cuve du turbidimètre.



Figure IV.5 : La Turbidimètre

- **Expression de résultat :** lire la valeur affichée sur l'appareil.

✚ La conductivité :

Mesure la capacité de l'eau à conduire le courant entre deux électrodes. La plupart des matières dissoutes dans l'eau se trouvent sous forme d'ions chargés électriquement. La mesure de la conductivité permet donc d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau.

- **Le principe**

La mesure de conductivité permet d'avoir très rapidement une idée sur la concentration de l'eau en sels dissous. Et leur mobilité permet au courant électrique de s'écouler.

- **Mode opératoire :**

Etalonner le conductimètre et rincer l'électrode avec de l'eau distillée, puis verser une quantité d'eau à analyser dans un bécher et y immerger l'électrode de mesure dans le bécher.



Figure IV.6: La conductimètre.

➤ **Expression de résultat :** lire la valeur affichée sur l'appareil.

✚ **Le titre alcalimétrique complet (TAC) et simple (TA) :**

C'est la grandeur utilisée pour mesurer le taux d'hydroxydes, de carbonates et de bicarbonates d'une eau. Il exprime l'alcalinité totale de l'eau.

➤ **Le principe :**

La première détermination sert à calculer le Titre Alcalimétrique (TA) la seconde à calculer le Titre Alcalimétrique Complet (TAC), ils sont basés sur la neutralisation d'un certain volume d'eau par un acide minérale dilué, en présence d'un indicateur coloré.

Cette analyse a pour but de la détermination titrimétrie de l'alcalinité.

➤ **Mode opératoire :**

On verse 100 ml d'eau analysé dans le bêcher et on y ajoute 02 gouttes de phénolphtaléine, après, on titre avec H₂SO₄. - Après titrage de TA, on ajoute 02 gouttes de méthyl orange à la solution et on titre avec H₂SO₄ jusqu'à obtention d'une coloration orange puis on note le volume chute burette V.

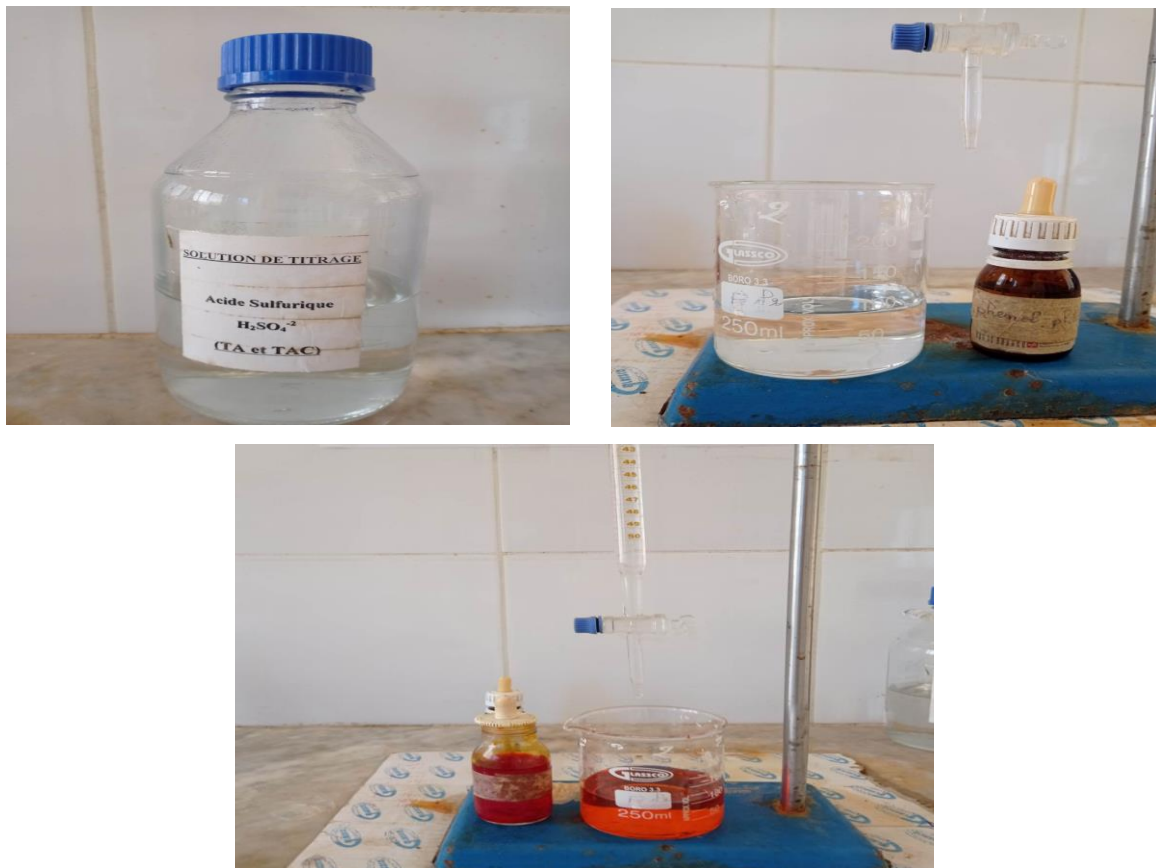


Figure IV.7 : Résultat de titrage TA et TAC dans laboratoire.

➤ **Expression de résultat :**

$$TA \text{ (mg/L)} = 10 * V$$

$$TAC \text{ (mg/L)} = (VTA + VTAC) * 10$$

✚ Le titre hydrotimétrique (THT) :

Appelée aussi la dureté totale est l'indicateur de la minéralisation de l'eau. Elle due uniquement aux ions calcium (Ca^{2+}) et magnésium (Mg^{2+}), la dureté total s'exprime en ppm (mg /l) de CaCO_3

➤ Le principe :

On fait agir en milieu neutre, $\text{pH} = 6.7$ ou 7 , une solution à titrer de nitrate d'argent sur une prise d'essai connue de solution titrée de chlorure de sodium. La réaction se fait en présence de chromate de potassium (indicateur colorée) En premier lieu l'ion d'argent réagit avec l'ion chlorure pour former le précipite blanc « AgCl », ensuite ion argent réagit avec l'ion CrO_2 (chromate) pour former le précipite rouge brique Ag_2CrO_4 qui indique la fin de dosage.

➤ Mode opératoire :

Dans un d'Erlenmeyer on met 50 mL d'eau puis on y ajoute 4 ml d'une solution tampon de $\text{pH}=10$ à l'aide d'une pipette en plastique propre et on additionne une goutte d'indicateur coloré Noir d'Eriochrome T (NET) d'où on obtient une couleur rose-violet obtenu; ensuite on titre le mélange par la solution d'EDTA 0,01 N avec l'agitation jusqu'au virage au bleu-franche ; notez le volume « V » de la burette.



Figure IV.8: Résultat de titrage de THT dans laboratoire.

➤ Expression de résultat : $\text{THT (mg/l)} = 20 * V$ ($\text{THT} \leq 500 \text{mg/l}$)

✚ Le Calcium (Ca^{2+}) :

➤ Le principe :

Le calcium est un élément principal dans le squelette (99 %). Le calcium, élément essentiel de la dureté de l'eau, est un métal alcalino-terreux extrêmement répandu dans la

nature et en particulier dans les roches calcaires sous forme de carbonates. Ses sels se rencontrent dans presque toutes les eaux naturelles.

➤ **Mode opératoire :**

On prend 50 ml d'eau à analyser dans un Erlenmeyer de 100 ml et on ajoute 4 ml de solution de soude (1 Newton) et une pincée de murexide pour l'obtention d'une coloration rose, puis on verse de l'EDTA goutte à goutte en agitant énergiquement jusqu'au virage du rose au violet et noter le volume V de la burette.



Figure IV.9 : Résultat de Calcium dans laboratoire.

Expression de résultat :

$$\text{Ca}^{2+} = V * 10 \text{ en mg/l} \quad (\text{Ca}^{2+} \leq 200 \text{ mg/l})$$

✚ **Les ions chlorures :**

✚ **Le principe :**

C'est un dosage volumétrique direct. Les chlorures sont dosés en milieu par solution titrée de nitrate d'argent en présence de présence de chromate de potassium. La fin de la réaction est indiquée par l'apparition de teinte caractéristique du chromate d'argent.

✚ **Mode opératoire :**

On prélève 50 ml d'échantillon d'eau dans une fiole conique et on y ajoute quelques gouttes de chromate de potassium (indicateur) puis on titre avec une solution de nitrate d'argent (AgNO_3) à 0,01 N ; Arrêtez l'étalonnage lorsque la couleur est rouge brique.



Figure IV.10: Résultat de chlorures dans laboratoire.

✚ **Expression de résultat :**

$$[CI] = V (\text{AgNO}_3) \times 71 \text{ (mg / L)}$$

V (AgNO₃) : volume de la solution d'AgNO₃

IV.3.3 Paramètre bactériologique :

L'analyse bactériologique de l'eau permet d'identifier le taux de contamination par les bactéries qui la rend impropre à la consommation. L'identification des coliformes fécaux, des entérocoques, et des colonies atypiques.... suit une méthode scientifique en laboratoire, à partir d'un échantillon de cette eau.

Les germes recherchés sont les bactéries indicatrices de contamination fécale, à savoir les coliformes totaux et fécaux, les streptocoques fécaux et E. coli.

✚ **Les coliformes fécaux (thermotolérants) :**

Renferme toutes les espèces bactériennes faisant partie de la famille des Enterobacteriaceae qui sont aérobies ou anaérobies facultatives, à Gram négatif, en forme de bâtonnet et produisant des colonies bleues en moins de 24 heures à 44,5°C sur une gélose m-FC contenant du lactose. L'espèce caractéristique et principale des coliformes thermotolérants est Escherichia coli, mais d'autres souches de coliformes, telles Citrobacter spp, Enterobacter spp et Klebsiella spp, peuvent aussi se reproduire dans un milieu lactosé à 44,5°C.

Les coliformes thermo-tolérants (fécaux) sont des micro-organismes indicateurs d'une pollution d'origine fécale humaine ou animale. Ils sont généralement en nombre inférieur aux coliformes totaux et indiquent qu'il y a contamination récente ou constante.

 **Les coliformes totaux :**

Bacilles Gram négatif, non sporulé, oxydase négatif, aérobie et anaérobie facultatifs, capables de se multiplier en présence de sels biliaires et de fermenter le lactose avec production de d'acide et de gaz en 48h à une température de °C. Ils se répartissent en fait en deux catégories : Les germes d'origine fécale stricte : *Escherichia coli*, *Citrobacter*, *Klebsiella*, *serratia*. Les germes provenant d'autre sources environnementales (aquatique et tellurique) : *Enterobacter intermedium* et *Amnigenus*, *klebsiella terrigena*.

Elles sont des entérobactéries qui incluent des espèces bactériennes qui vivent dans l'intestin des animaux homéothermes, mais aussi dans l'environnement en général (sols, végétation et eau). Ce groupe bactérien est utilisé comme indicateur de la qualité microbienne de l'eau parce qu'il contient notamment des bactéries d'origine fécale, comme *Escherichia coli* (*E. coli*) (CEAEQ, 2015a).

 **Streptocoque :**

Bactéries Gram positif, sphériques ou ovoïdes, formant des chainettes, non sporulées, catalase négative, possédant l'antigène D, cultivant en anaérobiose à 44°C, et à pH 9.6, et capables d'hydrolyser l'esculine en présence de bile. Ils se répartissent en deux genres : *streptococcus* et *enterococcus*.

 **E. coli :**

Le genre *Escherichia* fait partie du groupe des coliformes thermotolérants, lequel appartient à la famille des entérobactéries. *Escherichia* comprend plusieurs espèces dont une seule est utilisée à titre d'indicateur de la qualité des eaux : *Escherichia coli* (*E. coli*). Il importe toutefois de préciser que nonobstant le fait que cette espèce comprend plusieurs souches pathogènes, les souches considérées comme indicatrices sont non pathogènes. *E. coli* est d'origine fécale humaine ou animale, car il n'existe pas dans l'environnement naturel ; il peut cependant survivre quelques mois dans l'eau, le sol ou sur les plantes, bien qu'il se multiplie rarement dans ces milieux (Edberg *et al.* 2000 ; Santé Canada, 2012 ; WHO, 2011)

➤ **Mode opératoire :**

Après s'être assuré que tout est stérile et prêt pour l'examen bactérien, nous ajoutons à l'humidificateur 3 à 5 ml d'eau distillée dans le milieu nutritif. Il faut prendre soin de bien stériliser le compte-gouttes avant d'emporter de l'eau distillée avec. Ensuite, nous stérilisons le récipient en verre dans lequel l'échantillon est placé en l'exposant au soufflage Stérilisation

de la base sur laquelle le filtre en papier est placé en l'exposant à la flamme. (La base du filtre est connectée à la pompe à vide, pour aspirée l'échantillon à travers le filtre) ; Ensuite, nous exposons la pince à épiler à une flamme, puis emportez avec elle la membrane filtrante en papier, Nous posons le filtre en papier sur la base en verre, puis posons le récipient à échantillon dessus. (Sortir le filtre en nitrate de cellulose, sa porosité est de 0,45 mm, les emballages doivent être scellés). On sélectionne l'échantillon dans le récipient, jusqu'à environ 100 ml On filtre l'échantillon en actionnant le moteur d'aspiration. Ensuite, nous prenons le filtre en papier à l'aide d'une pince à épiler stérile exposée à la flamme et le plaçons dans une boîte de Pétri au-dessus du nutriment et On le met dans le presse papier (Nous plaçons la boîte de Pétri dans l'incubateur incubateur et la réglons à une température de 38 °C, car ce type de bactéries se développe à cette température de 36 °C).

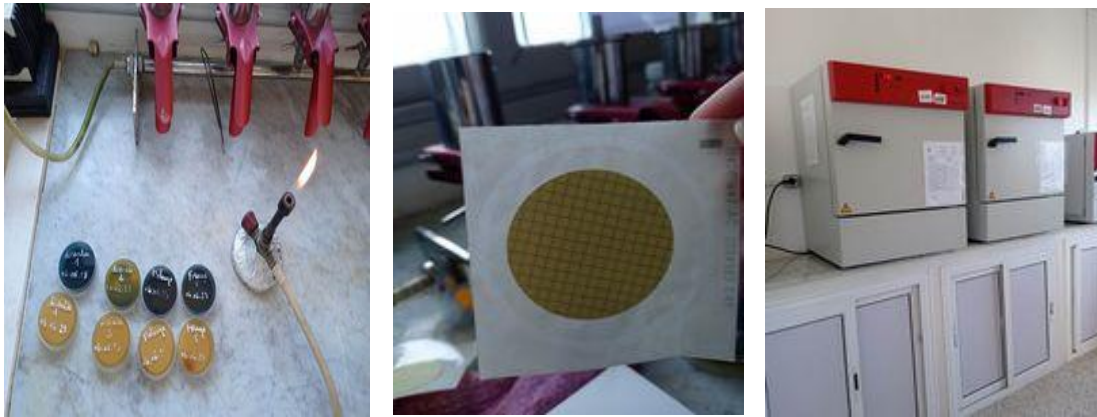


Figure IV.11 : Matériels expérimentaux et réactifs.

➤ **Expression de résultat :**

- Les bactéries E. coli apparaissent sur la plaque sous forme de points rouges avec un éclat métallique rougeâtre ;
- Les bactéries coliformes se présentent sous la forme de points rouge clair ;

IV.4 Conclusion

En vient de présenter les paramètres d'analyses effectués au cours de notre stage et on va discuter les résultats trouvés dans le chapitre suivant.

Chapitre 05 : Résultats et Discussion

V.1 Introduction

Dans le chapitre précédent, nous avons parlé et expliqué les critères nécessaires pour effectuer les analyses, et dans ce chapitre, nous étudierons et discuterons les résultats obtenus après l'analyse des quatre échantillons suivants :

- Eau dessalé d'El Marsa : (A)
- Eau de forage 04 Rmillat El Marsa : (B)
- Eau de forage 05 Rmillat El Marsa : (C)
- Eau de mélange (dessalé + forage) : (D)

V.2 Les résultats

V.2.1 Résultats des analyses Paramètres organoleptiques

Une eau de consommation doit être limpide, fraîche, exempte de couleur ainsi que d'odeur et de saveur désagréables (Dupont, 1986). a).

- * La couleur : est due aux différents éléments qui s'y trouvent à l'état dissous ou colloïdal. Une eau colorée n'est pas agréable pour l'usage domestique et en particulier pour la boisson, car elle provoque toujours un doute sur la potabilité.
- * Le goût et la saveur : C'est un critère d'appréciation gustative de la qualité de l'eau. Une eau potable de bonne qualité a un bon goût et ne présente pas l'odeur. La saveur dépend essentiellement de la qualité et la nature des corps dissous.

Toute odeur est un signe de pollution ou de la présence de matières organiques en décomposition. A l'état naturel, une concentration de la minéralisation, introduit un goût plus ou moins accentué dans l'eau, si par exemple l'eau renferme une grande quantité de chlore, elle aura une saveur saumâtre, si elle contient de forte quantité de sels de magnésium l'eau aura un goût amer, les mauvais goûts de l'eau ne sont pas graves du point de vue de l'hygiène, mais ils sont désagréables pour l'emploi de cette eau comme boisson.

- * L'odeur : Les odeurs résultent de la présence des substances volatiles dans l'eau qui peuvent être minérales ou organiques en solution telle que (NH₃, H₂S) (Rejsek, 2002). L'odeur de l'eau signifie généralement un indice de fermentation microbienne et un signe de pollution (Rodier et al, 2005).

De cette plate-forme, la qualité de l'eau était bonne en termes de couleur et de goût , la saveur et l'odeur.

V.2.3 Résultats des analyses physico-chimiques et discussion

✚ La température :

Tableau V.1 : Résultats des mesures de la température (°C)

Température	A	B	C	D	La norme
2022					>25
16.03.2023	17,8	15,3			
17.05.2023	17,1	17	17,1	16,9	
24.05.2023	20	19,9		19,8	
06.06.2023	17,8		16,9	16,9	

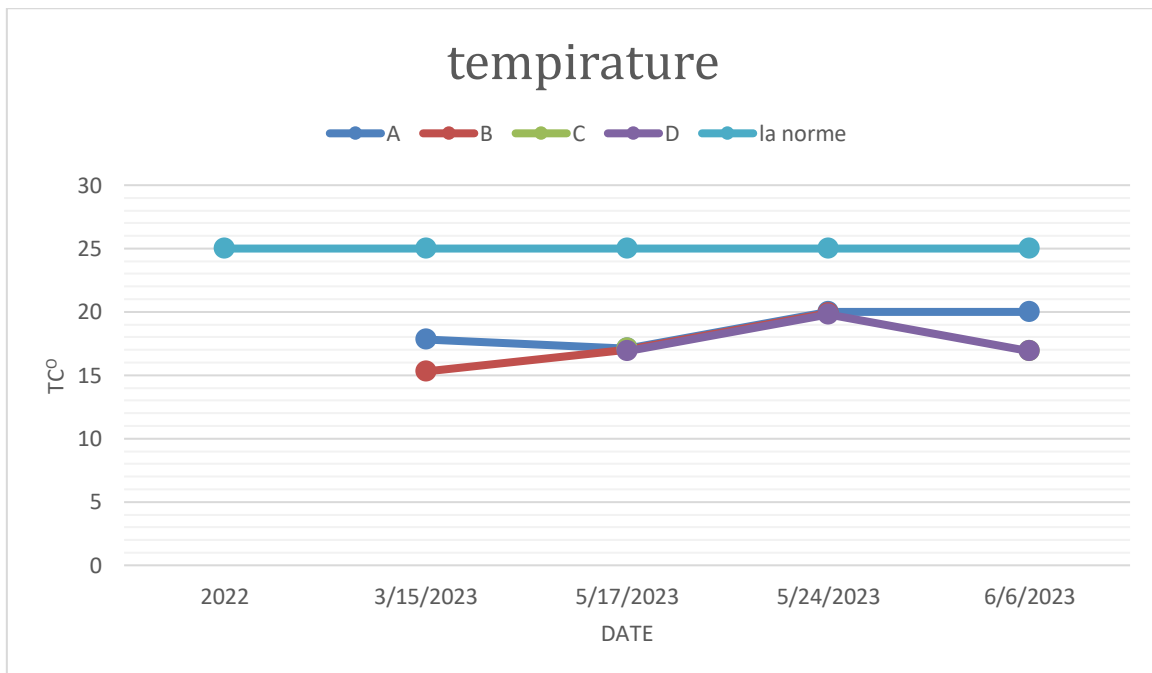


Figure V.1 : Variation de la température en fonction de temps.

Pour les valeurs de températures, on observe une légère variation (augmentation), en passant de l'eau de mer jusqu'à l'eau traitée et cela peut être expliqué par l'agitation des particules d'eau de processus du dessalement, mais cette augmentation reste toujours conforme à la norme Algérienne (25 °C).

D'après la figure 01 , la température de l'échantillon (A) présente une variation allant de 17,8 °C à 20 °C, l'échantillon (B) à une température varie entre 15,3 °C et 19,9°C pour la température de (C) présente une variation allant de 16,9°C et 17,1 °C et (D) à une température qui varie entre 16,9 °C et 19,8 °C.

Les échantillons (A), (B), (C) et (D) ont des valeurs de température variable selon la saison, ces variations sont une conséquence directe du changement climatique. Il est important de souligner que la température de l'eau à une influence sur les propriétés

physiques, chimiques et microbiologiques, aussi toutes variation de la température de l'eau entraine une modification de comportement des traitements physico-chimiques.

✚ **Le potentiel d'hydrogène pH :**

Tableau V.2 : Résultat des mesures de pH

pH	A	B	C	D	La norme
2022		7,4			7 à 8,5
16.03.2023	8,21	6,57			
17.05.2023	8,7	6,99	7,05	7,34	
24.05.2023	8,45	7,31		7,51	
06.06.2023	8,01		7,50	7,50	

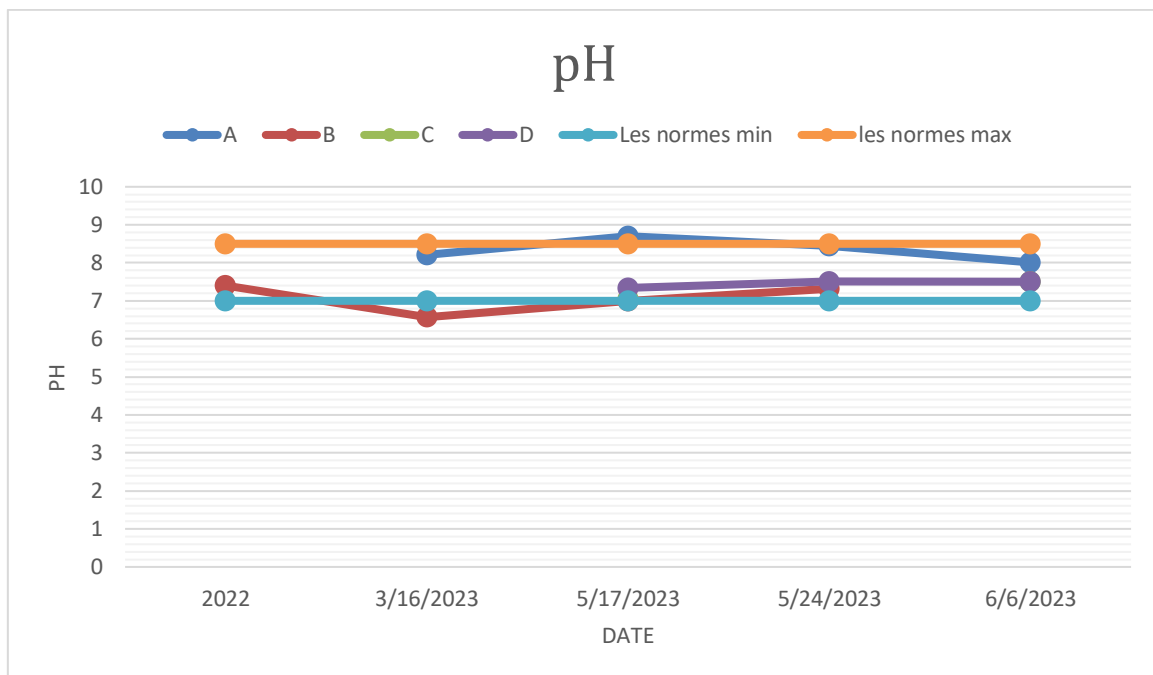


Figure V.2 : Variation de pH en fonction de temps.

Le pH est un paramètre très important donnant une idée sur l'équilibre de l'eau ainsi que sur la qualité de l'eau produite, il doit être étroitement surveillé aux cours de toute opération de traitement.

Nous remarquons que la variation des valeurs du pH se situe entre 8,01 et 8,45 pour le (A) et entre 6,57 et 7,3 pour le (B) le pH donc il est aussi neutre. Pour les échantillons (C) et (D) nous remarquons que les valeurs de pH augmentent 7,05 et 7,51 légèrement.

Le pH des eaux (A), (B), (C) et (D) reste dans les mêmes intervalles, cela peut être expliqué par l'absence d'injection des produits chimiques de nature qui peuvent influencer le pH.

Toutes les valeurs mesurées pour les eaux (A), (B), (C) et (D) répondent aux normes Algériennes relatif à la qualité de l'eau potable.

Conductivité :

Tableau V.3 : Résultat des mesures de la conductivité ($\mu\text{s/cm}$)

Conductivité	A	B	C	D	La norme
2022					2800 $\mu\text{s/cm}$
16.03.2023	343	1755			
17.05.2023	399	1755	1465	929	
24.05.2023	396	1474		733	
06.06.2023	423		1439	629	

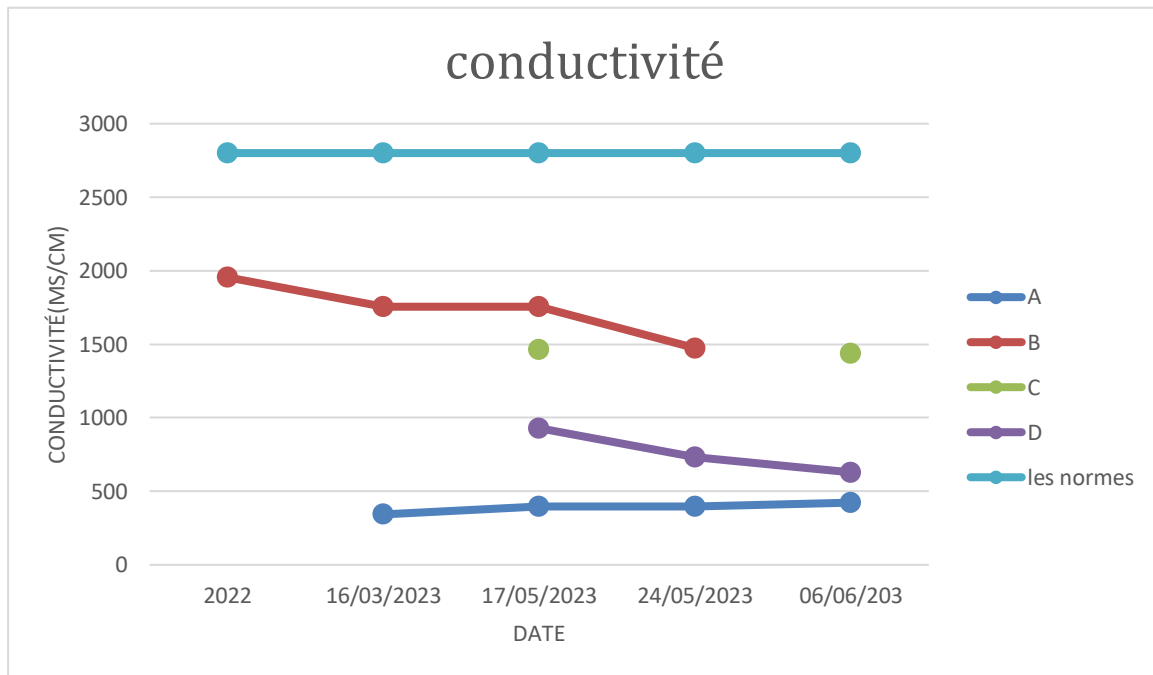


Figure V.3 : Variation de conductivité en fonction de temps.

Nous remarquons que les valeurs de la conductivité de (A) sont trop faible par rapport aux normes algériennes car l'échantillon (A) ne contient pas beaucoup de minéraux en raison du processus de dessalement et d'osmose inverse qui élimine les sels de l'eau, et donc les minéraux sont réduits.

En ce qui concerne le (B) et le (C), la conductivité augmenté par rapport à (A), ils sont des eaux de forage qui contient une teneur importante des minerais. Quant à l'eau (D), elle est modérée car mélangée, donc le pourcentage de minéraux est équilibré

La turbidité :

Tableau V.4 : Résultat des analyses de la turbidité (NTU)

turbidité	A	B	C	D	La norme
2022					=0
16.03.2023					
17.05.2023	0,19	0,42	2,4	0,6	
24.05.2023	0,14	0,24		0,7	
06.06.2023	0,1		0,18	0,27	

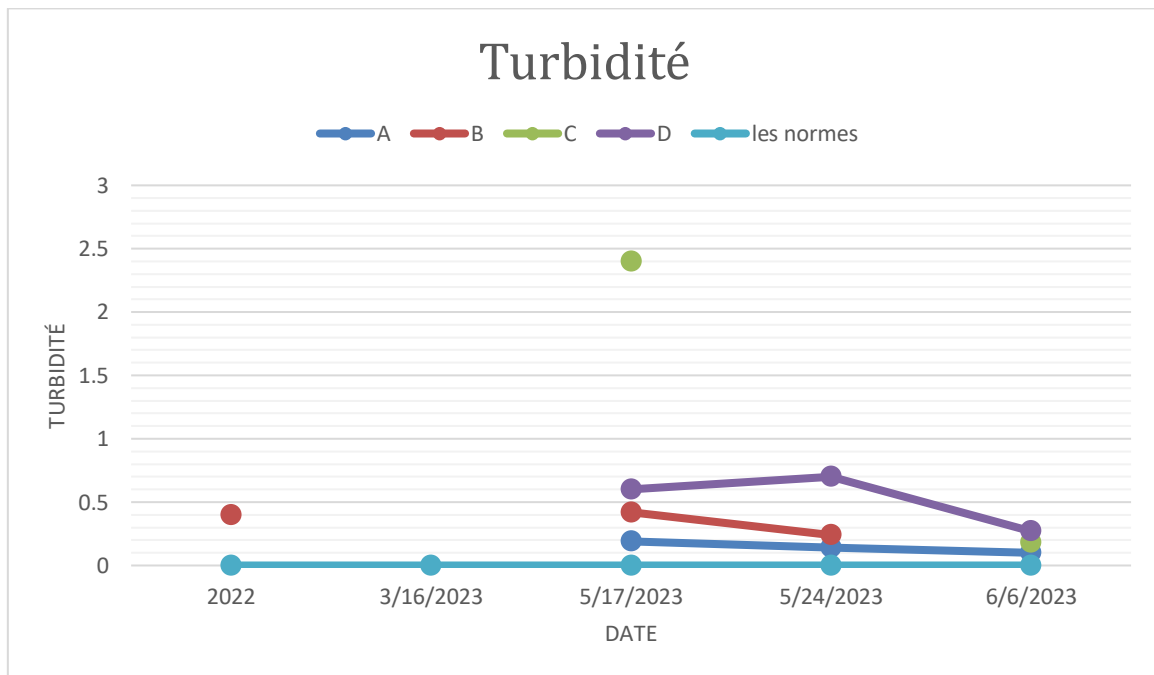


Figure V.4 : Variation de la turbidité en fonction de temps

Selon Rodier(2005), la turbidité est liée au contenu en matières solides non dissout dans l'eau. Elle donne une idée sur la quantité des particules colloïdales et la matière en suspension.

D'après les résultats des analyses nous remarquons que les valeurs de la turbidité de l'eau (A) varient entre 0,10 NTU et 0,19 NTU. L'analyse de l'eau (B), (C) et (D) enregistre une variété entre 0,4 NTU et 2,4 NTU ; la turbidité de ces échantillons est très importante qu'on peut l'interpréter par la présence de MES dans les eaux de forages.

Pour assurer la protection des membranes contre le colmatage, une valeur de turbidité inférieure à 1NTU, est obligatoire et doit être respecté.

En somme, toutes les valeurs indiquent que le mélange est une eau de bonne qualité, puisqu'elle répond aux normes Algérienne.

✚ **La dureté totale THT :**

Tableau V.5 : Résultat des analyses de THT (mg /L CaCo3)

THT	A	B	C	D	La norme
2022					100
16.03.2023	80	600			
17.05.2023	80	470	400	180	
24.05.2023	130	420		230	
06.06.2023	68		600	108	

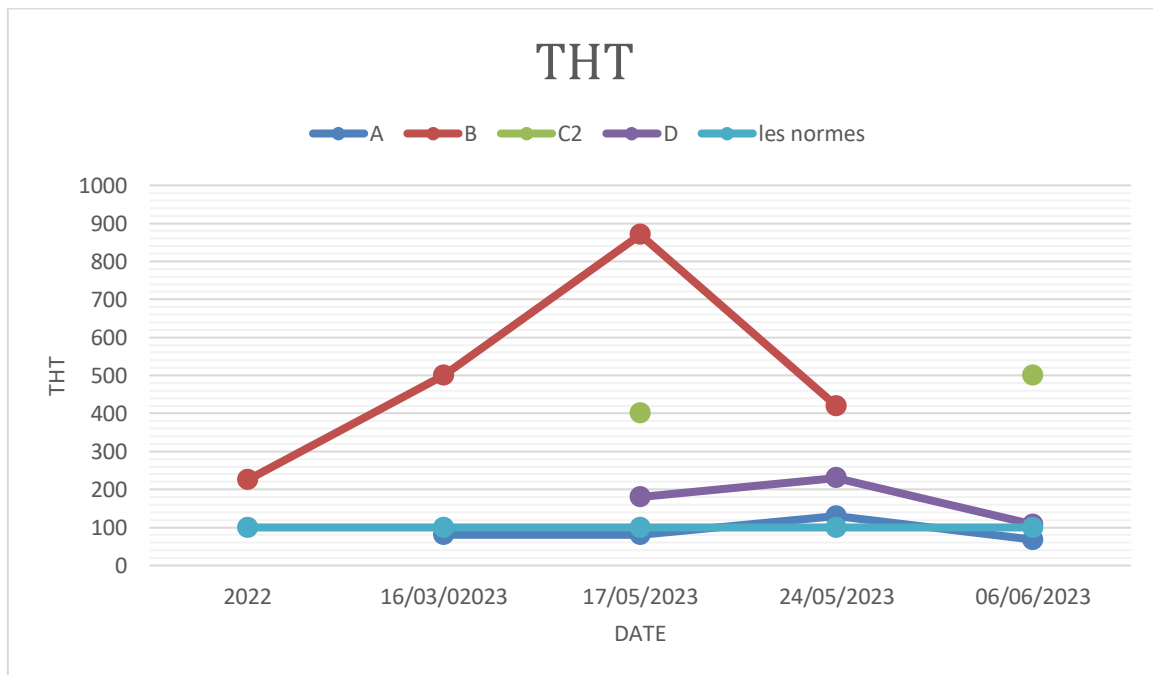


Figure V.5 : Variation de THT en fonction de temps

La valeur de THT dans l'eau s'explique par la présence de sels de calcium et de magnésium.

Les résultats des analyses montrent que la dureté de l'eau (A) à des valeurs raisonnables aux normes algériennes ; en ce qui concerne les échantillons (B), (C) et (D), le Titre Hydrométrique est élevé en raison du pourcentage élevé de sels de calcium et de magnésium

✚ **Titre Alcalimétrique Complet :**

Tableau V. 6 : Résultat des analyses de TAC (mg /L CaCo3)

TAC	A	B	C	D	La norme
2022					>60
16.03.2023	22	150			
17.05.2023	25	320	110	140	
24.05.2023	25	340		120	
06.06.2023	42		150	74	

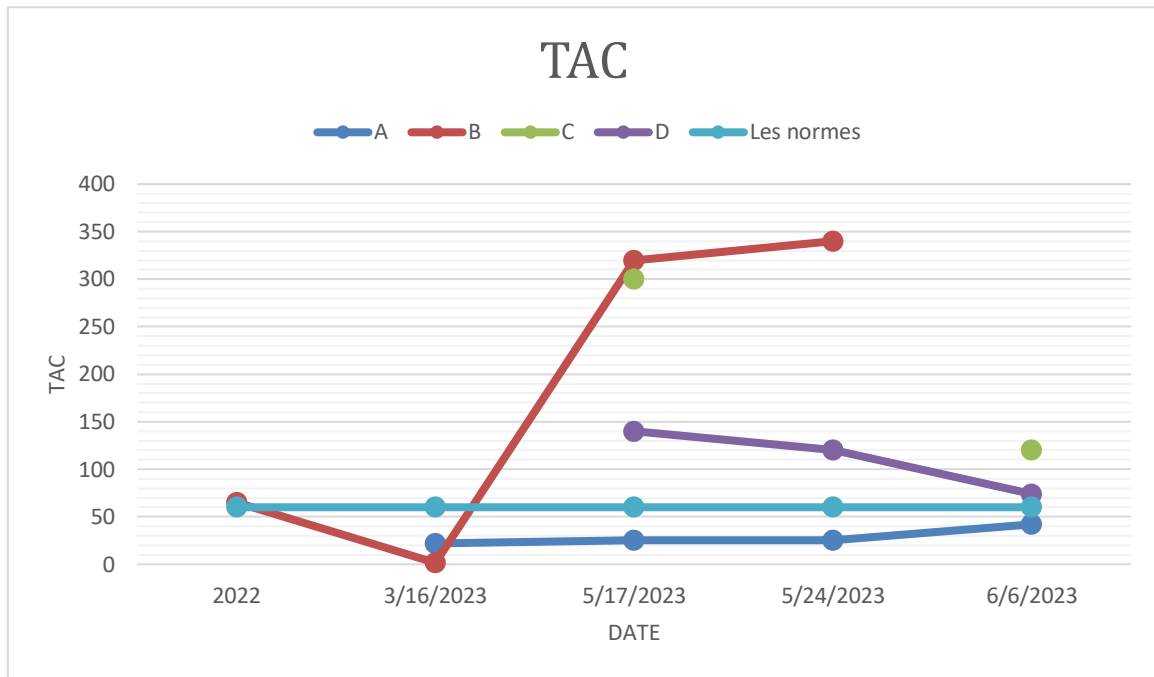


Figure V. 6 : Variation de TAC en fonction de temps

Selon les résultats d'analyse du TAC de l'eau (A), nous remarquons une variation allant de 22 à 42 mg/L. Par contre, les eaux (B), (C) et (D) montrent une variation allant de 74 à 340 mg/L, nous observons une forte alcalinité.

La concentration des ions calcium Ca^{2+} :

Tableau V. 7 : Résultat des analyses de Ca^{2+} (mg /L $CaCo_3$)

Ca^{2+}	A	B	C	D	La norme
2022					75
16.03.2023	24	180			
17.05.2023	135	140	155	55	
24.05.2023	300	105		50	
06.06.2023	300		150	40	

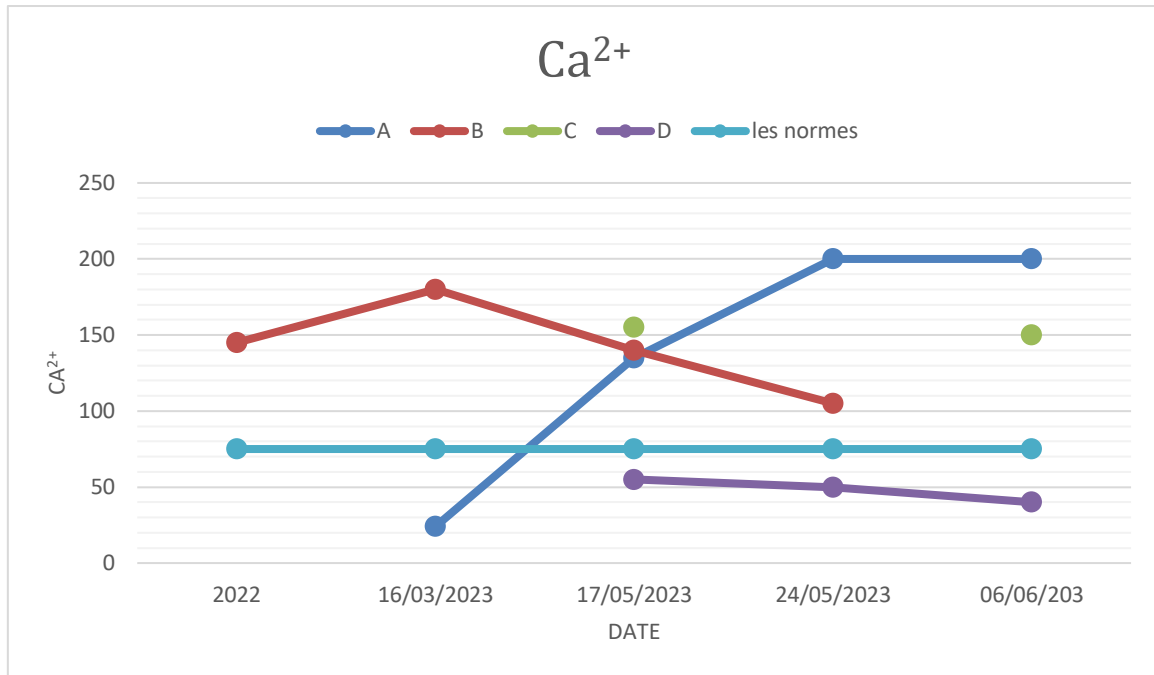


Figure V. 7 : Variation de Ca²⁺ en fonction de temps

On a obtenue des valeurs qui évoluent dans un intervalle de 24 à 300 mg/L CaCo₃. dans l'eau (A), ceux des eaux (B) et (C) varient entre 105 à 180 et l'eau (D) présente une variation allant de 40 et 55 mg/L CaCo₃.

Selon Zerluth et Gienger (2006), dite que une eau de bonne qualité en terme de minéralisation globale, les concentrations en calcium allant de 100 à 200 mg/L CaCo₃.

Les ions chlorures Cl⁻ :

Tableau V. 8 : Résultat des analyses de Cl⁻ (mg /L)

Cl ⁻	A	B	C	D	La norme
2022					200-600
16.03.2023	71	248,5			
17.05.2023	106,5	213	700	71	
24.05.2023	106,5	177,5		142	
06.06.2023	99,4		241,4	120,7	

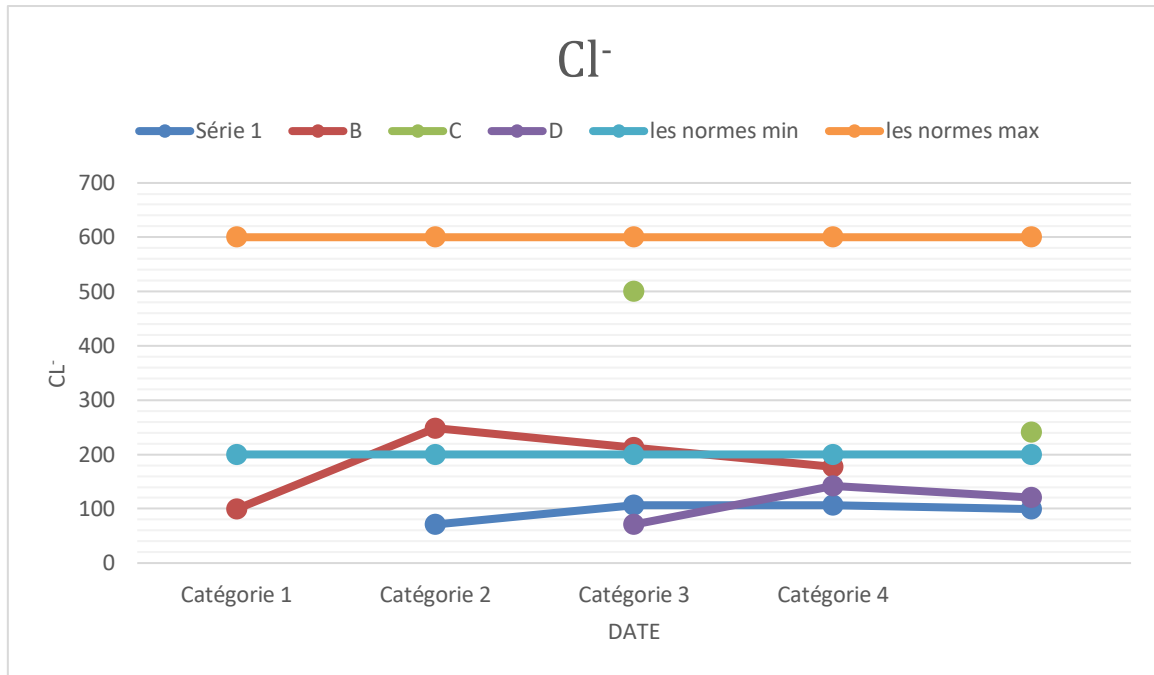


Figure V. 8 : Variation de Cl⁻ en fonction de temps

Les chlorures font parties des sels les plus important rentrant dans la composition chimique de l'eau de mer, ces ion sont responsable du gout salé dans eau.

D'après les résultats d'analyses nous remarquons que le chlorure d'eau (A) et (D) varie de 70 à 120 mg/L

Sauf pour l'eau (B) et (C) qui dépassent 200 mg/L en chlorure, peuvent procurer à l'eau une saveur désagréable et entrainer un problème de corrosion dans le réseau de distribution.

V.2.4 Résultat bactériologique et discussion

Tableau V. 9 : Résultat des analyses bactériologique

	coliformes totaux	coliformes fécaux	E. coli	Streptocoque	La norme
16.03.2023	absence	absence	absence	absence	0/100
17.05.2023	absence	absence	absence	absence	ml
24.05.2023	absence	absence	absence	absence	D'eau

Le : 06.06.2023

	coliformes totaux	coliformes fécaux	E. coli	Streptocoque
(A)	absence	Absence	absence	absence
(C)	absence	Absence	absence	absence
(D)				

L'analyse bactériologique de l'eau permet la recherche d'une contamination bactérienne, qui peut rendre l'eau impropre à la consommation. Dans notre étude nous avons procédé à la recherche des germes banaux dans nos quatre échantillons afin de vérifier leurs qualités bactériologiques. Toutes les analyses se sont effectuées au laboratoire ADE Skikda (Zaramna).

Nous avons remarqué que tous les résultats des analyses bactériologiques semblaient négatives (bons résultats) Il n'y a pas de bactéries pathogènes dans les eaux des échantillons (A), (B), (C). A l'exception, de la dernière analyse de l'échantillon (D) prélevé le 6 juin 2023, où un résultat positif a été détecté. En réaction à cela, une recherche spécifique de la bactérie *Escherichia coli* a été effectuée, mais le résultat s'est avéré négatif. La présence d'une contamination fécale explique la positivité du résultat dans l'échantillon (D).

V.3 Conclusion

D'après notre étude et les résultats des analyses physiques, chimiques et bactériologiques, nous concluons que l'eau douce produite au niveau de la nouvelle station de dessalement de l'eau de mer par Osmose Inverse El-Marsa est conforme aux normes algériennes de l'eau potable, après son mélange avec les eaux de forages de Remila.

Conclusion Générale



L'osmose inverse est une technique extrêmement efficace et essentielle pour le dessalement de l'eau de mer, offrant une filtration de haute qualité et jouant un rôle important dans la production d'une eau douce pure prête à être consommée après reminéralisation.

Au cours de notre stage pratique au niveau de la nouvelle station de dessalement de l'eau de mer El-Marsa et au sein du laboratoire d'analyse de l'ADE Skikda, nous avons pu percevoir les conclusions suivantes concernant la station :

- Le bon fonctionnement de la station, qui est encore en période des essais, bien qu'elle rencontre parfois des problèmes liés aux coupures d'électricité.
- Il existe aussi quelques gênes techniques au niveau de la prise d'eau de mer. C'est pourquoi une nouvelle bache est en cours de construction pour améliorer la qualité de l'eau prélevée.
- Lorsque l'eau de mer est de bonne qualité, le processus de dessalement se déroule correctement, les membranes ne se détériorent pas et ne se colmatent pas rapidement.
- Le processus de reminéralisation est encore en arrêt, en attendant sa mise en marche dans les prochains mois.

Dans cette région, appelé Remila, il existe trois forages, nommés Remila 02, Remila 04 et Remila 05, les eaux de l'un de ses forages sont mélangés avec l'eau douce produite par la station de dessalement avant d'être distribuée aux citoyens utilisés. Nous avons remarqué que les eaux des forages 04 et 05 sont les plus utilisées.

Les résultats des analyses de l'eau dessalée montrent qu'elles sont de bonne qualité, ce qui traduit le bon fonctionnement du procédé de dessalement. En ce qui concerne le mélange (dessalée + forage), nous avons constaté qu'il répond aux normes algériennes de potabilité. Quant à l'eau de forage nous avons observé qu'elle présente une turbidité élevée, presque dans tous les échantillons prélevés, en particulier dans les deux derniers, nous avons remarqué une contamination bactériologique, ce qui menace et dégrade la qualité l'eau du mélange qui est destiné aux consommateurs.

Alors, nous proposons quelques solutions pour résoudre ces problèmes :

- Résoudre le problème des coupures d'électricité définitivement.
- Une reminéralisation de l'eau dessalé est recommandés avant de la mélanger avec les eaux de forages, en démarrant le processus de reminéralisation le plus tôt possible
- Veiller à ce que la reminéralisation renferme de la calcite et du CO₂ selon les moyens existant dans la station pour obtenir une eau équilibrée avant sa sortie de la station.

- Appliquer un prétraitement convenable ou une décantation pour les eaux des forages avant qu'elles ne soient mélangées avec l'eau dessalée, suivi d'une désinfection supplémentaire pour prévenir les problèmes et les contaminations imprévus.

Enfin, il faut noter qu'avant de qualifier l'eau comme étant potable, il est indispensable que tous les paramètres nécessaires soient présents, qu'ils respectent des valeurs négatives ou inférieures à des seuils spécifiques et qu'ils demeurent stables dans le temps.

Les références



[1] : [Voir le n°377 de CNRS Info \(sept. 1999\) : Dessaler l'eau de mer sans saler la facture](#)

[2] : Mémoire de magister département hydraulique, MOUJEB MILOUD, Etude de la station de dessalement de MOSTGHANEM, année universitaire 2015-2016

[3] : Cours Production d'eau potable et dessalement d'eau de mer professeur. Mme BATTAZ SARA, UNIVERSITÉ 20 AOÛT 1955 SKIKDA, Master 2 IGE, année universitaire 2022-2023

[4]:<https://tpedessalementmaroc.weebly.com/l'historique-dudessalement.html#:~:text=D%C3%A9couverte%20en%201850%2C%20ce%20proc%C3%9d%C3%A9,r%C3%A9gime%20franquiste%20aux%20%C3%AEles%20Canaries.30/5/2023>
H 16 :00

[5-6]: Miller, B. (2016, February 3). 12 Biggest Pros and Cons of Desalination. Green Garage. <https://greengarageblog.org/12-biggest-pros-and-cons-of-desalination>

[7] : www.ADE.dz

[8] : MEMOIRE DE FIN D'ETUDES, Pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'Etat en Hydraulique, PRESENTE PAR : Mr CHEKROUD Mohamed Reda, ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'HYDRAULIQUE -ARBAOUI Abdellah- DEPARTEMENT D'HYDRAULIQUE URBAINE, ETUDE DESPERFORMANCES DE LA STATION DE DESSALEMENT DE LA Wilaya de SKIKDA, Septembre– 2014

[9] : Raymond Desjardins « le traitement des eaux » 2ème édition de l'école polytechnique de Montréal, 1990

[10] : MEMOIRE DE FIN D'ETUDES, Pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'Etat en Hydraulique, PRESENTE PAR : Mr CHEKROUD Mohamed Reda, ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'HYDRAULIQUE -ARBAOUI Abdellah- DEPARTEMENT D'HYDRAULIQUE URBAINE, ETUDE DESPERFORMANCES DE LA STATION DE DESSALEMENT DE LA Wilaya de SKIKDA, Septembre– 2014

[11] : Arnoult et Fournier « Dessalement de l'eau de mer »,

[12] : Alain Maurel, « Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres », éditions Technique & Documentation, 2001.

[13] : Arnoult et Fournier « Dessalement de l'eau de mer »,

[14]: M. Wilf, 2005. Optimization of seawater RO system design, Desalination173, 1-12.

- [15] : Arnoult et Fournier « Dessalement de l'eau de mer »,
- [16] : Moudjeb Miloud, Mémoire de Magister, Ministère Université des Sciences et de la Technologie Mohamed Boudiaf Oran, Faculté d'Architecture et de Génie Civil, Département Hydraulique, 2015
- [17] : Cour thématique sur le dessalement d'eau avril 2013
- [18]:UNIVERSITE BADJI MOKHTAR – ANNABA BADJI MOKHTAR – ANNABA UNIVERSITY Mémoire
Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master AMOURA Chaima TOUMI Rihab2019
- [19]: F. LEFORT, G. RANDON, J-M. MONGIN, D. LE MAUX, 2002 : La nanofiltration: un procédé bien adapté à la problématique des eaux bretonnes, T.S.M. n°3, mars 2002
- [20] : Pastor Jean, Pauli Anne-Marie (1995). Dialyse. Chromatographie et techniques séparatives. Paris : Techniques de l'Ingénieur - p 1525.
- [21] : J. G JACANGELO J, ET C. A. BUCKLEY (1996) Microfiltration. Chapitre 11 du livre Water Treatment Membrane Processes, American Water Works Association Research Foundation, Lyonnaise des Eaux, Water Research Commission of South Africa, édité par McGraw-Hill, New York, NY.
- [22]: L .Sigg et al, Chimie des milieux aquatique, chimie des eaux naturelles et des interfaces dans l'environnement. Edition : Dunod. 567p, 2000
- [23] : Bessenasse Mohamed. Dessalement d'Eau de Mer : Etude de Trois Stations du Littoral Algérois; Université SAAD Dahleb (Blida), B.P 26 D Hadjout – W.Tipaza – 42200 – Algérie
- [24] : W.J.MASSCHELEIN (1996) : « Processus unitaires du traitement de l'eau potable », 11 rue Lavoisier. Paris, France.
- [25] : université 20aout 1955 Skikda cour dessalement ,battaz Sara
- [26] : Technologies Saint Laurent, potentiel des technologies membranaires
- [28] : Article le dessalement par l'osmose inverse Chapitre 1 : Etat de l'art 02 juin 2023 21 :00
- [29] : Ecole nationale supérieure d'hydraulique –ARBAOUI Abdellah –Département d'hydraulique urbaine –Mémoire pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en hydraulique-etude desperformances de la station de dessalement de La wilaya de Skikda-Chekroud mohamed rida-Septembre 2014
- [30] : L .Sigg et al, Chimie des milieux aquatique, chimie des eaux naturelles et des interfaces dans l'environnement. Edition : Dunod. 567p, 2000
-

- [31] : A. F JOHNSEN., KRISTENSEN S., K. DINESEN D. (1988), Fluid dynamics in membrane filtration Systems, Sci. Environ. Eng., Vol, 11, Chap. 3, 95-112
- [32]: A.Maurel, Technique séparatives à membranes : Considérations théoriques, Technique de l'Ingénieur, traité Génie des procédés, J2 790,p1-23, 1988.
- [33] : J.KRUTHOF, KAMP P. C, FOLMER H (mars 2001) Membrane integrity monitoring at the UF/RO Heemskerk plant, Proceedings of the 2001 Membrane Technology Conference of the American Water Works Association, San-Antonio, Texas, USA.
- [34]: Christian René Bouchard : « Principes généraux de l'osmose inverse » science et techniques de l'eau.Volume 21 n°03 Août 1988.
- [35]: Technologies Saint Laurent, potentiel des technologies membranaires.
- [36]: M. Al-Shammiri, M. Safar, Multi-effect distillation plants: state of the art, Desalination 126 (1) (1999)
- [37]: P.Danis, Dessalement de l'eau de mer. Techniques de l'Ingénieur J 2700, 2003.
- [38]: <http://dessalement.wordpress.com/> consulté le 30/07/2020.
- [39] : C.Blifert et al, Chimie de l'environnement (air, eau, sols et déchets). Edition: Boeck & larciel, 2001
- [40]: Mémento technique de l'eau, (1995), L'eau: ses propriétés, Processus élémentaires du génie physico-chimique en traitement de l'eau, Tome 1, Edition de cinquantième, Dixième édition, Paris.
- [41]: Roth E, Fabre B, Faller B, (1998) Study of fouling of reverse osmosis membranes used to produce water for hemodialysis, Revue des sciences de l'eau 3 (409-427).
- [42]: Bosch A P, Leboeuf P P, Gisbert J, Sánchez Martos F, Vallejos A, Forages littoraux et usines de dessalement, Doctores en Ciencias Geológicas.
- [43]: République Algérienne Démocratique et Populaire Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene Faculté de Génie Mécanique et de Génie des Procédés Mémoire Présenté pour l'obtention du diplôme de MAGISTER HAMOUNI Samia 02/11/2008,
- [42]: Al-Shammiri M, (2000), Evaluation of two different antiscalants in real operation at the Doha research plant, Desalination 128 (01–16)
- [43]: Cardot C, (1999), Les traitements de l'eau du génie de l'environnement "procédés physico chimiques et biologiques", Edition ellipses, Paris.
- [44] : Lugan H, Fethi K, (2008), Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres par osmose inverse: les bonne pratique d'ingénierie (WORK SHOPE), MEDRC (27-3).
-

- [45] : Gaid K, (2007), Le dessalement des eaux par osmose inverse: l'expérience de véolia water, Desalination 203 (1-14).
- [46]:<https://www.lenntech.fr/procedes/dessalement/posttraitement/dessalement/remineralsation.htm#ixzz83gQWoseQ>
- [47]. Suez. [En ligne] [Citation : 03 05 2022.] suez.com.
- [48]. Anna Cescon, Jia-Qian Jiang. Filtration
- [49]. Baoxia Mi, Kevin L. Alexander. Frontiers of engineering : reports on leading-edge engineering from the 2016 symposium, Water desalination and purification. Washington : s.n., 2016.
- [50]. Ecole nationale polytechnique Département d'automatique Mémoire de projet de fin d'études Pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en automatique, Automatisation et supervision D'une station de dessalement Présentée par : Fella MADJ Iet Ihcene BENAICHA, soutenue publiquement le 30/06/2022
- [51]. Guide-piscine. [En ligne] [Citation : 07 05 2022.] https://www.guide-piscine.fr/filtre-a-cartouche/fonctionnement-d-un-filtre-a-cartouche-4225_A.
- [52]. Cahier de charge Republique algerienne democratique et populaire cosider canalisation station de dessalement d'eau de mer de la marsa wilaya de skikda, specification technique.
- [53]. Ecole nationale polytechnique Département d'automatique Mémoire de projet de fin d'études Pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en automatique, Automatisation et supervision D'une station de dessalement Présentée par : Fella MADJ Iet Ihcene BENAICHA, soutenue publiquement le 30/06/2022
- [54]. Cahier de charge Republique algerienne democratique et populaire cosider canalisation station de dessalement d'eau de mer de la marsa wilaya de skikda, specification technique.
- [55]. Engelhardt, Terry L. Coagulation, Flocculation and Clarification of Drinking Water. 2010.
- [56]. Ecole nationale polytechnique Département d'automatique Mémoire de projet de fin d'études Pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en automatique, Automatisation et supervision D'une station de dessalement Présentée par : Fella MADJ Iet Ihcene BENAICHA, soutenue publiquement le 30/06/2022
- [57]. Cahier de charge Republique algerienne democratique et populaire cosider canalisation station de dessalement d'eau de mer de la marsa wilaya de skikda, specification technique.
-