

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

UNIVERSITE BADJI MOKHTAR - ANNABA
BADJI MOKHTAR – ANNABA UNIVERSITY



جامعة باجي مختار – عنابة

Faculté : Sciences de l'ingénierat
Département : Génie des procédés
Domaine : Science et technologie
Filière : Génie des procédés
Spécialité : Génie chimique

Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master

Thème:

**Dessalement de l'eau de mer par osmose inverse au niveau
de la station Eddraouche**

Présenté par : *Maloum Nourhane*

Refdi Fatima

Encadrant : *Larba Rima*

MAB

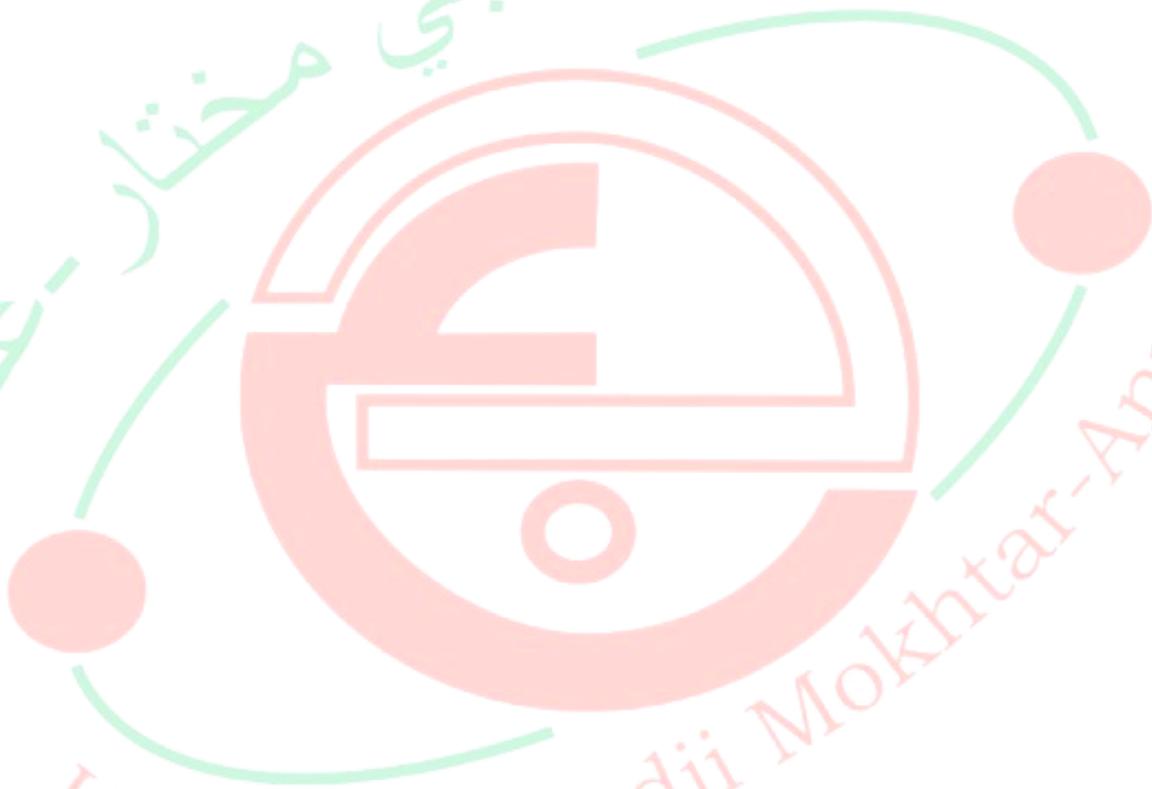
UBMA

Jury de Soutenance :

GUILANE Sarah	MCB	U.B.M. Annaba	Président
LARBA Rima	MAB	U.B.M. Annaba	Encadrant
KADRI Hadjer	MAB	U.B.M. Annaba	Examineur

Année Universitaire : 2023/2024

جامعة باجي مختار - عنابة



Université Badji Mokhtar-Annaba

Remerciement

On remercie en premier lieu, DIEU tout puissant pour nous avoir donné la Santé, la patience, le courage et la volonté de terminer ce modeste travail et nous avoir guidés vers la connaissance.

Nous tenons à remercier particulièrement et très sincèrement Notre encadreur Pr. Larba Rima pour avoir accepté d'encadrer Ce travail et de nous avoir apporté ses connaissances et son conseil précieux.

Nous tenons à remercier énormément tout le personnel du complexe de Koudiet Eddraouche pour leur soutien inestimable, leur expertise et leur encouragement qui ont grandement enrichi notre expérience professionnelle.

- + Mr. Boukent, le chef de la division exploitation,*
- + Melle. Lahlour,*
- + M. Bediaf,*
- + M. Brinis,*

Tous nos remerciements et appréciations pour Mme Messaoudi notre maitre de stage au sein de la centrale de Koudiet Eddraouche unité de la société SKE Spa,

Nous tenons à remercier tous les membres du jury qui vont juger ce travail et nous faire profiter de leurs connaissances et remarques constructives.

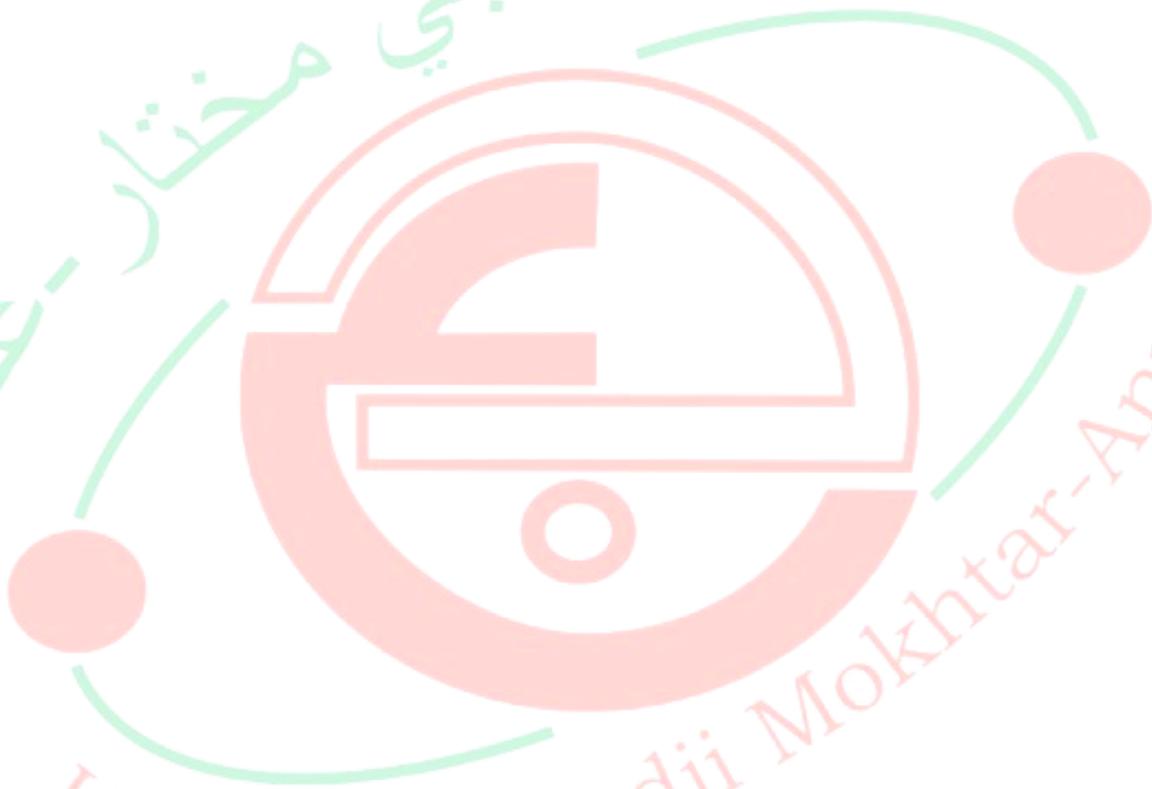
On tient à remercier Mme Bechiri Ouahiba pour son aide pratique et son soutien moral et ses encouragements.

Nous adressons également nos remerciements, à tous nos enseignants, qui nous ont donné les bases de la science durant toute notre vie scolaire et universitaire.

On adresse nos remerciements à toute personne qui a participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Merci à tous et à toutes.

جامعة باجي مختار - عنابة



Université Badji Mokhtar-Annaba

Dédicace

*Avec l'expression de ma reconnaissance, je dédie ce modeste travail à
ceux qui, quels
que soient les termes embrassés, je n'arriverais jamais à leur
exprimer mon amour
sincère.*

*A l'homme, mon précieux offre du dieu, qui doit ma vie, ma réussite
et tout mon
respect: **mon cher père REFDI HOCINE.***

*A la femme qui a souffert sans me laisser souffrir, qui n'a jamais dit
non à mes
exigences et qui n'a épargné aucun effort pour me rendre heureuse:
mon adorable
mère RACHIDA MENADI.*

*A mes chers frères: **KHALED, ABD ISLEM.***

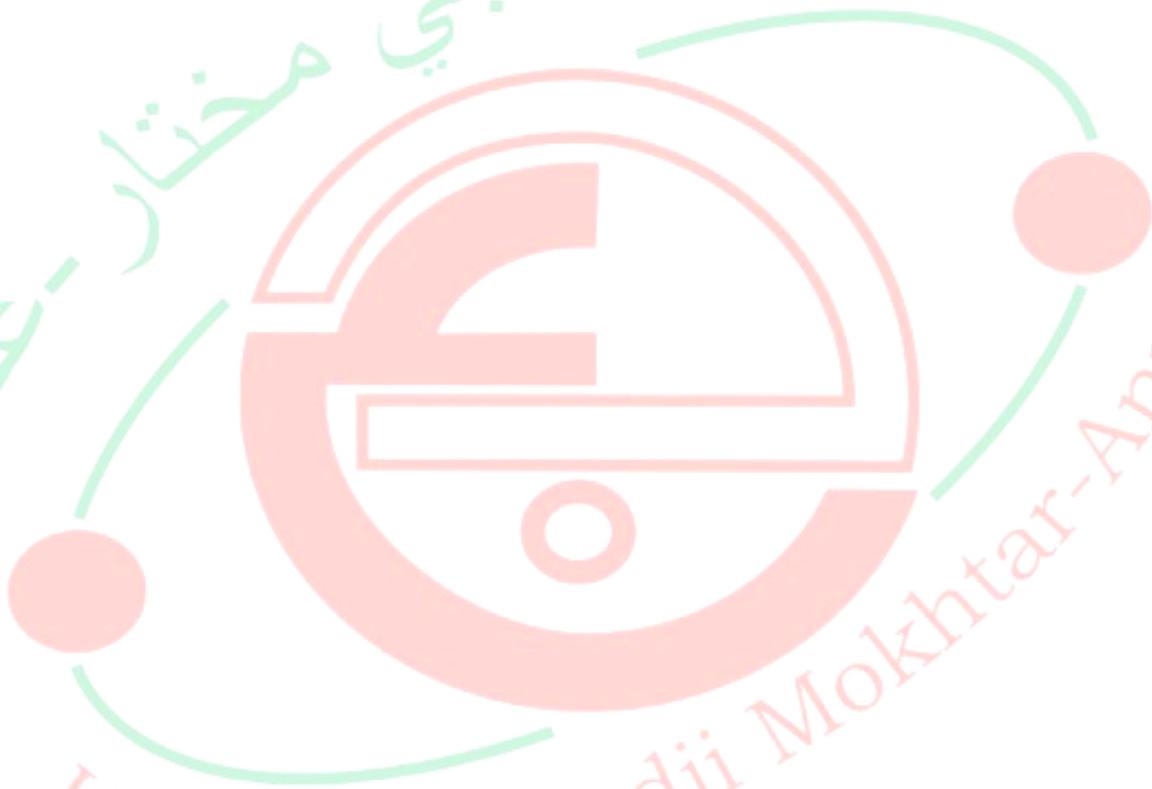
*A mes chers sœurs: **AMEL, HANEDI, MAREIM, RANIA.***

Merci pour leurs amours ET leurs encouragements.

*Sans oublier ma belle binôme **MALOUM NOURHENE** pour sa
soutien moral, sa
patience et sa compréhension tout au long de ce projet.*

Refdi Fatima

جامعة باجي مختار - عنابة



Université Badji Mokhtar-Annaba

Dédicace

Louange à Dieu pour où je suis aujourd'hui, louange à Dieu pour ce qu'il m'a donné et pour m'avoir aidé partout où je suis.

Avec un énorme plaisir, un cœur ouvert et une immense joie, je dédie ce modeste travail à :

A l'homme de ma vie **Papa EL Hani Maloum**

Le symbole de ma droiture, de sa générosité, et sa tendresse. .Aucune dédicace ne saurait

Exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours eu pour vous.

Rien au monde ne vaut les efforts fournis jour et nuit pour mon éducation et mon bien être.

Ce travail est le fruit de tes sacrifices que tu as consenti pour mon éducation.

A **Ma Mère Samiaa Boukhari**

Aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour éternel et ma considération

Pour les sacrifices que vous avez consenti pour mon instruction et mon bien être.

Je vous remercie pour tout le soutien et l'amour que vous me portez depuis mon enfance et

J'espère que votre bénédiction m'accompagne toujours.

A mon cher petit frère Zizou, merci d'avoir été ma source d'inspiration, de soutien et demotivation tout au long de cette aventure académique, que dieu vous accorde la réussite de votre baccalauréat.

A ma belle-sœur Ines, je te remercie du fond du cœur pour tout le soutien et les encouragements que tu m'as apportés tout au long de ma vie.

A mon cher oncle Abdelhak Boukhari qui m'a accompagné tout au long de ma vie par ses prières, son douceur, puisse Dieu lui prêter longue vie et beaucoup de santé et de bonheur et ses adorables enfants jawed, kouki, et ma petite princesse watiin

A tous mes oncles et mes tantes

A tous mes ADORABLES cousins et cousines sans exception

Merci Pour vos conseils et vos encouragements durant toute ma vie universitaire.

A mes fidèles Amis et compagnons depuis des années (M, f, I, S)

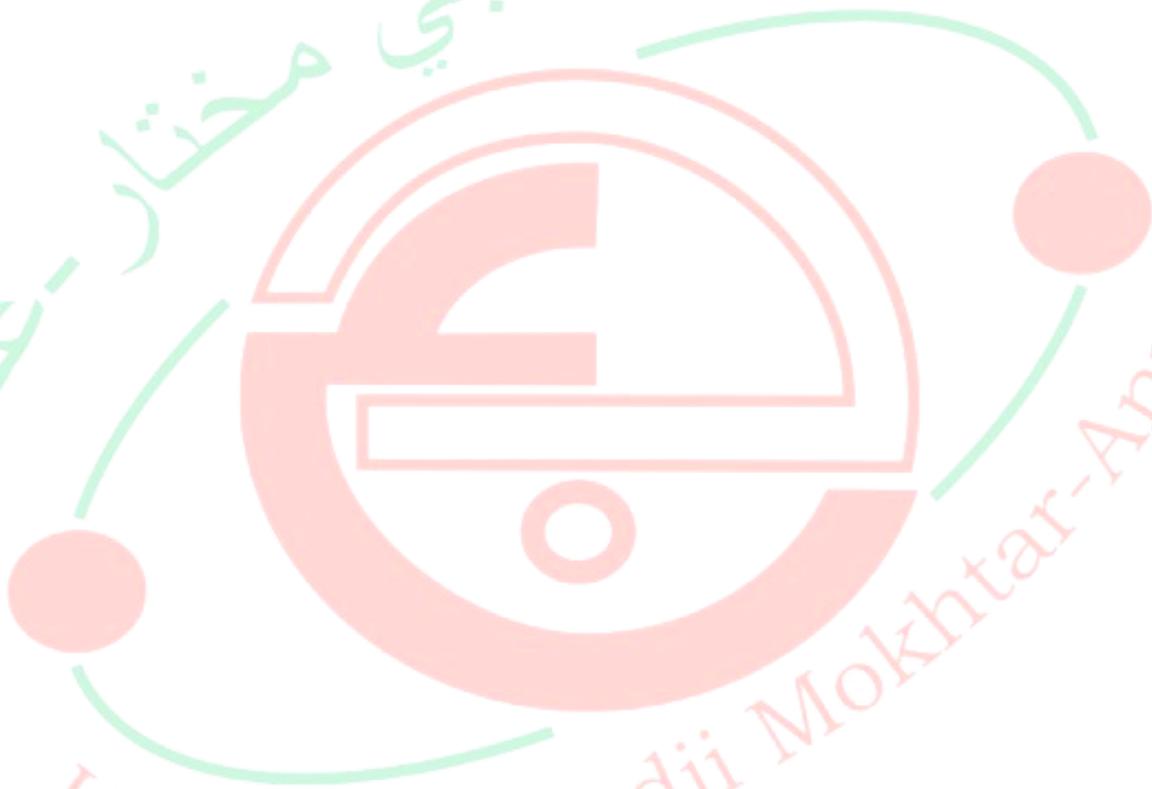
A Ma chère BINÖME **Refdi Fatima** et à toute sa famille.

A tous ce qui porte le nom Maloum et Boukhari

A tous les gens qui ont contribué ma réussite de près ou de loin.

MAloum Nourhane

جامعة باجي مختار - عنابة



Université Badji Mokhtar-Annaba

Résumé:

Le problème de la pénurie d'eau douce en Algérie a conduit de découverte de moyens d'exploiter l'énergie marine (eau de mer et océan) pour obtenir de l'eau douce.

La plus importante des méthodes pour combler le déficit en eau et répondre aux besoins en eau potable est le dessalement de l'eau de mer, considéré comme l'un des plus modernes comme une bonne solution de la crise eau. Le dessalement de l'eau s'effectue selon plusieurs techniques, dont la plus importante et la plus récente est l'osmose inverse grâce au travail des membranes.

Le présent travail consiste à effectué un stage pratique dans la station de dessalement d'eau de mer de Koudiet Eddrouche de la commune de Berrihane (wilaya d'El Taref).

L'objectif de notre travail consiste à faire une suivie de la qualité d'eau obtenu dans cette station de dessalement des eaux de mer par l'osmose inverse.

Les systèmes d'osmose inverse de dessalement sont actuellement les plus fiables économiques.

Mots clés : dessalement de l'eau de mer, osmose inverse, membranes.

Abstract:

The problem of the shortage of fresh water in Algeria led to the discovery of ways to exploit marine energy (sea water and ocean) to obtain fresh water.

The most important of the methods to fill the water deficit and meet the needs of drinking water is the desalination of sea water, considered as one of the most modern as a good solution to the water crisis. Water desalination is carried out according to several techniques, the most important and the most recent of which is reverse osmosis thanks to the work of membranes.

The present work consists of carrying out a practical internship in the Koudiet Eddrouche sea water desalination station in the municipality of Berrihane (El Taref district).

The objective of our work is to monitor the quality of the water obtained in this sea water desalination station by reverse osmosis.

Reverse osmosis desalination systems are currently the most reliable and economical.

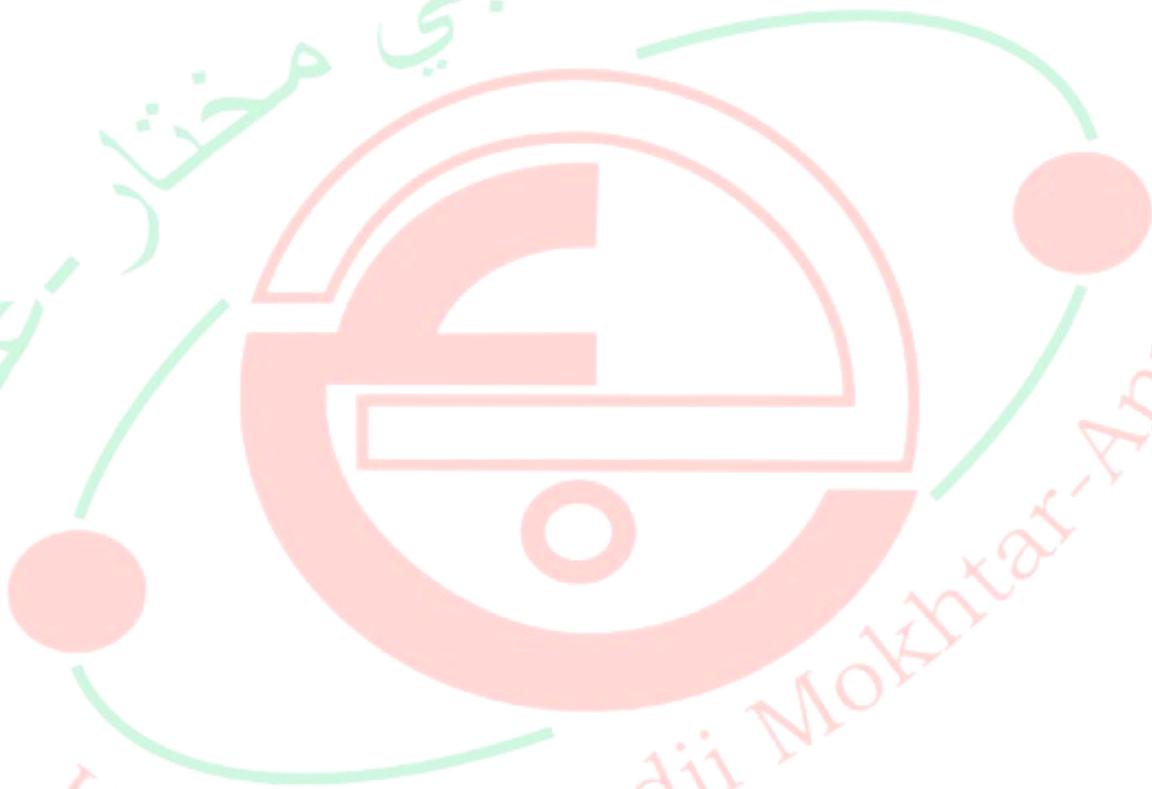
Key words: seawater desalination, reverse osmosis, membranes.

ملخص:

الكلمات المفتاحية: تحلية مياه البحر، التناضح العكسي، الأغشية. أدت مشكلة نقص المياه العذبة في الجزائر إلى اكتشاف طرق استغلال الطاقة البحرية (مياه البحر والمحيطات) للحصول على المياه العذبة. ومن أهم طرق سد العجز المائي وتلبية احتياجات مياه الشرب هي تحلية مياه البحر، والتي تعتبر من أحدث الطرق كحل جيد لأزمة المياه. تتم تحلية المياه وفق عدة تقنيات أهمها وآخرها تقنية التناضح العكسي بفضل عمل الأغشية. يتمثل العمل الحالي في إجراء تدريب عملي في محطة تحلية مياه البحر كودية الدروش ببلدية بريحان (حي الطارف).

الهدف من عملنا هو مراقبة جودة المياه التي يتم الحصول عليها في محطة تحلية مياه البحر هذه عن طريق التناضح العكسي. تعتبر أنظمة تحلية المياه بالتناضح العكسي هي الأكثر موثوقية واقتصادية حالياً.

جامعة باجي مختار - عنابة



Université Badji Mokhtar-Annaba

Sommaire:

Remerciement	
Dédicaces	
Résumé	
Table des matières	
Liste des figures	
Liste des tableaux	

Introduction générale.....	1
Chapitre I: Généralités sur le dessalement l'eau de mer	
I.1.Introduction	4
I.2.Eau de mer	4
I.2.1 Compositon d'eau de mer.....	4
I.3. Les caractéristiques physico-chimiques de l'eau	5
I.3.1 La salinité	5
I.3.2 La température	5
I.3.3 La turbidité.....	6
I.3.4 Matières en suspension (MES)	6
I.3.5 Le potentiel d'hydrogène (ph)	6
I.3.6 La conductivité électrique	6
I.4. Le dessalement	6
I.4.1 Technique du procédé de dessalement	6
I.4.2 Définition de dessalement de l'eau de mer	7
I.4.3 Schéma général d'une unité de dessalement.....	7
a. Captage d'eau de mer.....	7
b. Le prétraitement	7
c. Les différents procédés de dessalement.....	8
c.1. Les procédés chimiques.....	8-9
c.2. Les procédés par distillation	9-10
c.3. Procédés à membranaires	10-11
d. Le post traitement.	11
I.4.4 Les paramètres de choix d'un procédé de dessalement	11-12
I.4 .5 Le coût de dessalement	12
I.4.6 Les impacts de dessalement sur l'environnement	12

a. Impacts positifs.....	12
b. Impacts négatifs.....	12
c. Rejets de saumures	12-13
I.4.7 Problèmes techniques rencontrés en dessalement	13
a. La corrosion	13
b. L'entartrage.....	13-14
c. Le colmatage	14-15
I.4.8 Les avantages et les inconvénients de dessalement	15-16
I.4.9 Conclusion	16

Chapitre II: L'osmose inverse

II.1. Introduction.....	20
II.2. Principe d'osmose inverse :	20
II.2.1 Osmose.	20
II.2.2 Osmose inverse.	20-21
II.3. Pression osmotique.....	21.
II.4. Les étapes principales de dessalement de l'eau de mer par osmose inverse	21-22
II.4.1 Aspiration et pompage eau de mer	22.
II.4.2 Chloration.....	22
II.4.3 Prétraitement.....	22
a. Prétraitement physique.....	23
a.1. Filtre sur sable.....	23
a.2. Filtre sur cartouche.....	23
b. Prétraitement chimique.....	23
b.1. Antitartre.....	23
b.2. Injection de Méta Bisulfite de sodium ($\text{Na}_2\text{O}_5\text{S}_2$) (Dé chloration)	23
c. Prétraitement par les procédés membranaires.	23
II.4.4 Le pompage à haute pression.	24
II.4.5 Récupération d'énergie:	24
a. Turbopompes intégrées.....	24
II.4.6 Poste de traitement:	24
a. Correction de l'agressivité de l'eau.	24
b. Désinfection finale.....	24

II.5. Paramètres de fonctionnement d'une osmose inverse :	24
II.5.1 La pression motrice ΔP	24
II.5.2 La conversion Y	24
II.5.3 Le passage de sels PS.....	24
II.5.4 Le rejet de sels.....	25
II.5.5 La sélectivité R.....	25
II.6. Mécanisme de transfert	25
II.7. La polarisation de concentration.....	25
II.8. Membrane d'osmose inverse:	25
II.8.1 Présentation d'osmose inverse	25
II.8.2 Type de membrane d'osmose inverse :	25
II.9. Durée de vie des membranes.....	26
II.10. Les modules d'osmose inverse:	26
II.10.1 Définition des modules	26
II.10.2 Les types de modules.....	26
II.11. La consommation énergétique et le coût de l'osmose inverse.....	26
II.12. Limitations de l'osmose inverse:	26
II.12.1 Définition du colmatage.....	26
II.12.2 Type de colmatage :	26-27
II.13. Estimation du potentiel de colmatage :	27
II.13.1 <i>SDI (Silt Density Index)</i>	27
II.14. Le nettoyage des membranes.....	27
II.14.1 Nettoyage chimique.....	27
II.14.2 Nettoyage physique	27
II.15. Performance des membranes commerciales	27
II.16. Les avantages et les inconvénients de l'osmose inverse:	27-28
a. Les avantages.....	28
b. Les inconvénients.....	28
II.17. Conclusion.....	28
Chapitre III : Présentation du complexe étudié UNITE DE DESSALEMENT D'EI Taref	
III.1. Introduction :.....	31
III.2. Situation géographique et présentation de l'entreprise	31-32

III.3. Présentation de la centrale	32-33
III.4. Aperçu la station de dessalement de KoudietEddraouche	33
III.4.1 Les traitements de l'eau dans un cycle combiné.....	33
a. L'aspiration et pompage d'eau de mer.....	33
b. Le traitement biologique (Station d'électro-chloration)	34-35
III.4.2 Dessalement d'eau de mer par les dessaleurs de type TVC 3-360.....	35
III.4.3 Le processus de dessalement par l'osmose inverse appliquée dans la centrale (SKE)	35-36
a. Type d'osmoseur utilisé dans la centrale (SKE).	36
b. Description de l'installation de l'usine (les équipements qui constitue une installation de dessalement d'osmose inverse).....	36-38
c. Les caractéristiques des membranes utilisées dans la station de dessalement par osmose inverse.....	38
c.1. Informations importantes sur le fonctionnement de membrane de cette marque.....	38-39
c.2. Les avantages d'osmoseur de la membrane de la marque SW30HR LE-400i.....	39
c.3. Limites de fonctionnement.....	39-41
d. Description et fonctionnement normal des installations des procès Système de prétraitement Avant osmose inverse.....	41
d.1. Conditionnement chimique.....	41-42
d.2. Sous système de filtration	42
d.3. La microfiltration.....	42
e. Les conditions pour un bon prétraitement d'eau de mer avant l'osmose inverse.	43
f. Description de procédé d'osmose inverse et le système de récupération d'énergie:	43
f.1. Alimentation première étape.....	43-44
f.2. Système de récupération d'énergie.....	44-45
f.3. Alimentation de la deuxième étape.....	45
j. Post de traitement.....	45-46
h. Post de nettoyage chimique.....	46
III.5. Conclusion.....	46

Chapitre IV: Partie expérimentale; suivie la qualité d'eau fournie par les deux étapes d'osmose inverse.

IV.1. Introduction	49
IV.2. Objectif	49
IV.3. Les caractéristiques de l'eau de mer à l'entrée de l'osmoseur	49
IV.4. Echantillonnage des eaux.....	50

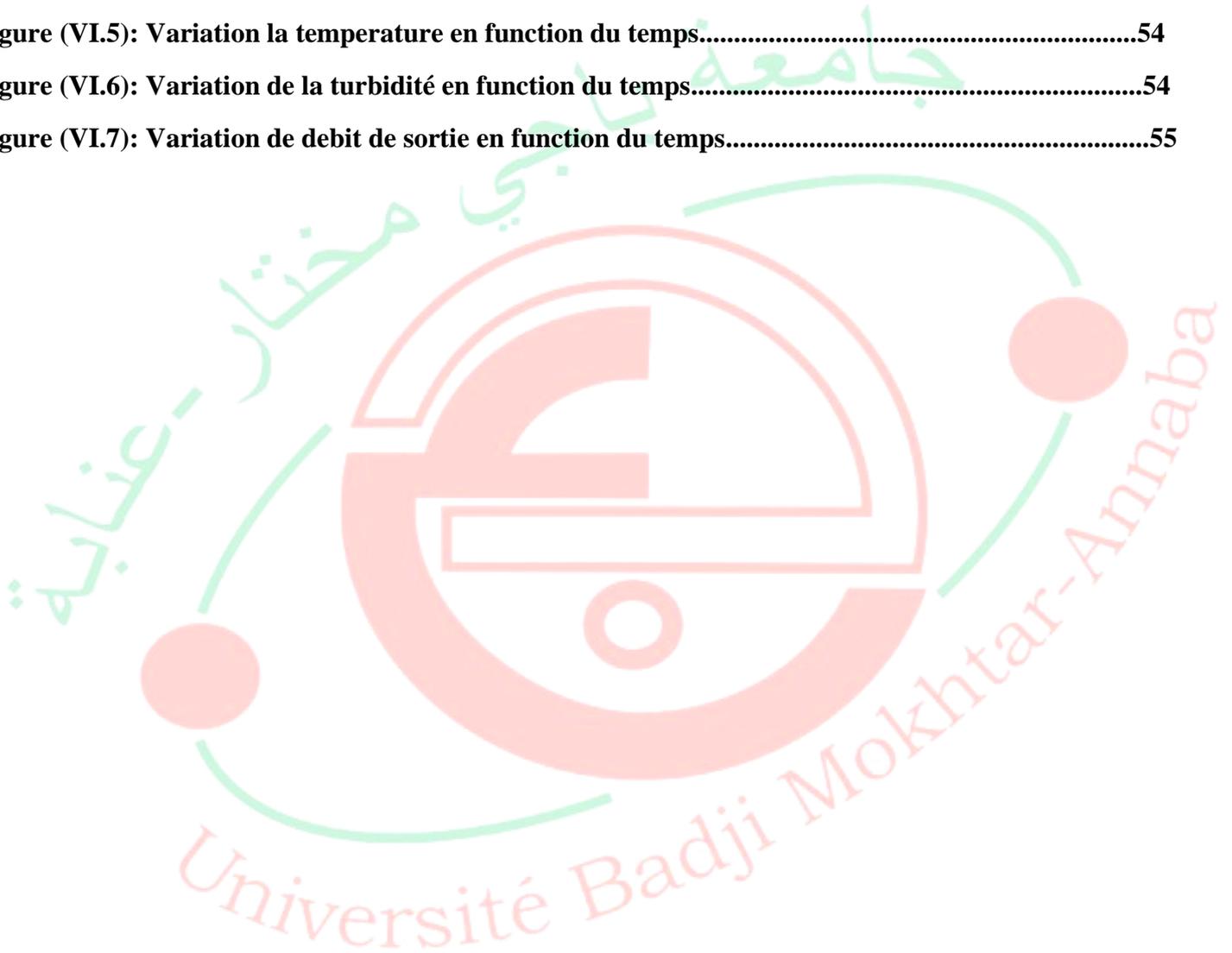
IV.5. Matériau et transport des échantillons.....	50
VI.5.1 Mode de prélèvement.....	51
VI.6. Techniques d'analyse d'eau.....	51
VI.6.1 Mesure du PH.....	51
VI.6.2 La température (T)	51.
VI.6.3 Détermination de la conductivité électrique.....	51
VI.7. Les résultats de Mesure de la conductivité à la sortie de l'unité OI de Koudiet Eddraouche.....	52
VI.8. Resultats et interpretation.....	52
VI.8.1 Conductivité électrique	52-53
VI.8.2 Le pH.....	53
VI.8.3 La temperature de sortie.....	53-54
VI.8.4 La turbidité de sortie.....	54
VI.8.5 Le debit de sortie.....	54-55
VI.9.Conclusion.....	55
Conclusion générale.....	57



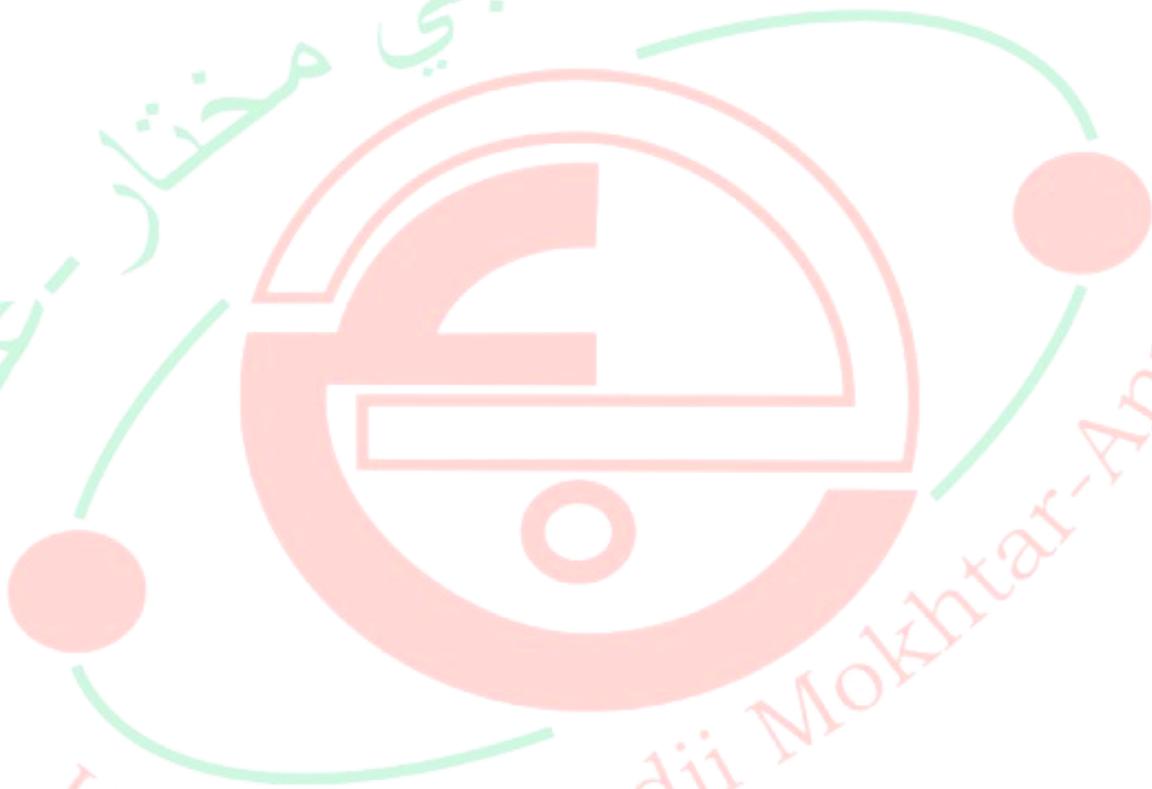
Liste des figures

Figure (I.1): Schéma général d'une installation de dessalement (MAUREL, 2006)	07
Figure (I.2): Les différents procédés de dessalement.	08
Figure (I.3): Distillation à simple effet (MAUREL, 2006).	09
Figure (I.4): Distillation à effet multiple (RENAUDIN, 2003).	09
Figure (I.5): Distillation avec compresseur de vapeur (DANIS, 2003).	10
Figure (I.6): Distillation Multi-Flash (DANIS, 2003).	10
Figure (I.7) : Principe de fonctionnement de l'électrodialyse.	11
Figure (I.8): Principe d'osmose inverse.....	11
Figure (I.9): Le phénomène de la corrosion.....	13
Figure (I.10): Le phénomène de l'entartrage.....	14
Figure (II.01): Phénomène de l'osmose.....	20
Figure (II.02): Procédé d'osmose inverse.....	21
Figure (II.03): Séparation en phase liquide par perméation à travers une membrane.....	21
Figure (II.04): Pression osmotique.	21
Figure(II.05): Éléments constitutifs d'une unité d'osmose inverse.....	22
Figure (II.06): Prétraitement conventionnel.....	23
Figure (III.1): Localisation géographique de la centrale KoudietEddraouche.....	31
Figure (III.2): Vue globale de la centrale.....	32
Figure (III.3): Configuration STAG.....	33
Figure (III.4): Station de pompage d'eau de mer.....	33
Figure (III. 5): Station d'électro-chloration.	35
Figure (III.6): Station de dessalement de type TCV 3-360.....	35
Figure (III.7): Station de dessalement de type osmose inverse.	36
Figure (III.8): Osmose inverse (unité de koudietEddraouche).	36
Figure (III.9): La membrane de la marque FILMTEC SW30HR LE-400i.	38
Figure (III.10): La membrane composite à module spirale.	40
Figure (III.11): Les filtres à cartouches.	43
Figure (III.12): Les dimensionnements des filtres.	43
Figure (III.13): La pompe à haute pression.	44
Figure (III.14): La Pompe de récupération d'énergie.	45

Figure (III.15): Moteur électrique.	45
Figure (III.16): Pompe de nettoyage.	45
Figure (VI.1): Mesure de la conductivité d'une solution d'eau osmosé de la sortie de la première étape.	52
Figure (VI.2): Mesure de la conductivité d'une solution d'eau osmosé de la sortie de la deuxième étape.	52
Figure (VI.3): Variation de la conductivité en fonction du temps.	52
Figure (VI.4): Variation de pH en fonction du temps	53
Figure (VI.5): Variation la temperature en fonction du temps	54
Figure (VI.6): Variation de la turbidité en fonction du temps	54
Figure (VI.7): Variation de debit de sortie en fonction du temps	55



جامعة باجي مختار - عنابة



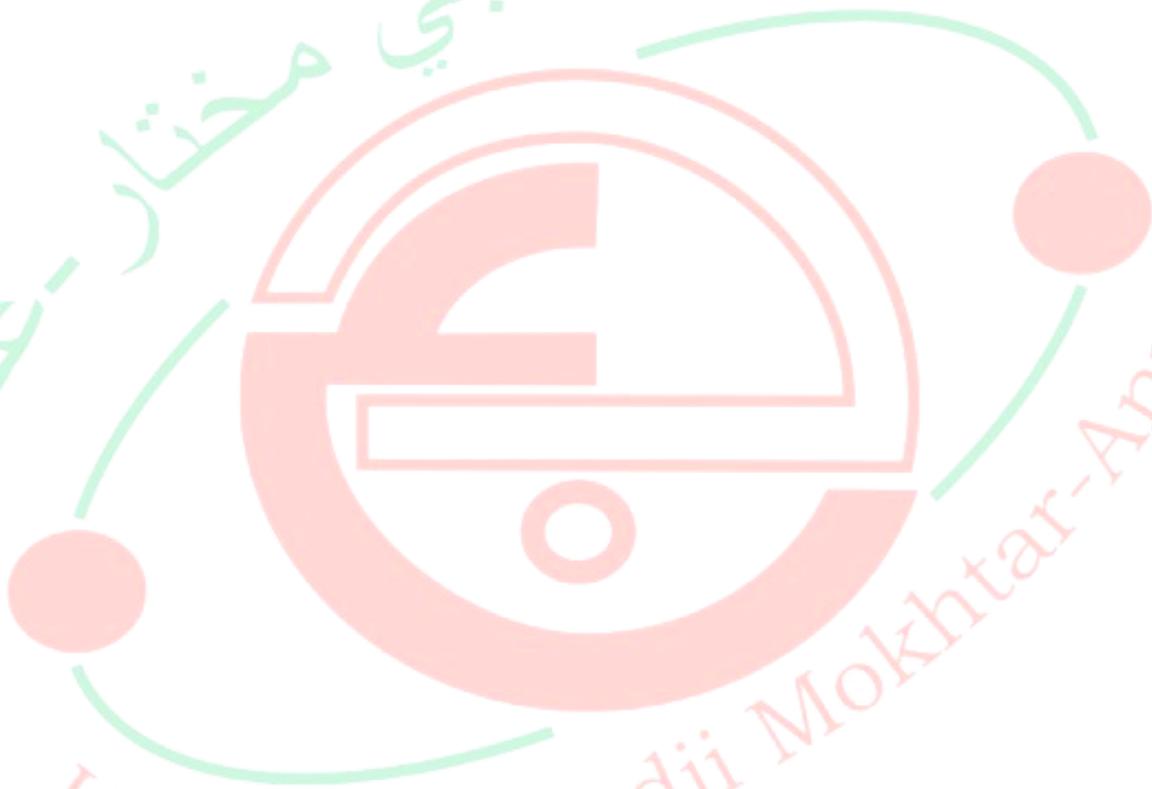
Université Badji Mokhtar-Annaba

Liste des tableaux

Tableau I.1: Salinité des principales eaux de mer.	4
Tableau I.2: Concentration des principaux éléments en eau de mer Méditerranée.	5
Tableau I.3: Classification des eaux selon leurs salinités.	5
Tableau III.1: Les caractéristiques des membranes d'unité.....	39
Tableau III.2: Limites de fonctionnement.....	40
Tableau VI.1: Composition de l'eau de mer à l'entrée d'osmose inverse.....	50
Tableau VI.2: Mesure de la conductivité en fonction de la température à la sortie de l'unité OI.	52



جامعة باجي مختار - عنابة



Université Badji Mokhtar-Annaba

Introduction générale

Les dangers que nous vivons et qui menacent notre existence à la surface de la terre ne sont pas seulement des dangers de guerres ou de conflits liés à l'argent et à l'énergie. Nous créons plutôt des dangers bien plus grands que ceux qui peuvent détruire les organismes vivants sur terre, le plus important d'entre eux, qui est la pénurie d'eau (pénurie d'eau douce). Ce problème menace tous les continents du monde. Cela a nécessité des recherches et des innovations sur les moyens de fournir de l'eau douce au moindre coût, les plus importants étant le dessalement et la distillation de l'eau de mer. C'est la bénédiction de Dieu que nous ayons des mers et des océans et que nous puissions les exploiter pour obtenir de l'eau douce grâce à des usines de dessalement d'eau. .

Des années de sécheresse et de pénurie d'eau ont poussé l'Algérie à adopter une nouvelle stratégie d'obtention d'eau, notamment d'eau douce, pour l'exploiter à des fins humaines et industrielles, notamment la construction d'usines de dessalement d'eau de mer le long. Cela était facile et pourrait l'être. Mis en œuvre avec facilité en raison de la situation stratégique de l'Algérie et de l'extension de sa bande côtière d'environ 1622.48 Km. Pour répondre à la demande croissante en eau, que ce soit pour la boisson, l'irrigation, ou dans le domaine industriel. Selon le ministère de l'Irrigation, les besoins en eau du pays atteindront environ 12,9 millions de mètres cubes d'ici 2030. Alors que les besoins sont actuellement estimés à 11,3 milliards de mètres cubes par an.

Il existe de nombreuses technologies que les stations d'Algérie adoptent pour dessaler l'eau (procédés thermiques et procédés membranaires), L'utilisation des techniques membranaires connaît une croissance rapide, en raison de la multiplication des domaines d'application. Ce développement devra s'amplifier encore, du fait de l'émergence des problématiques liées à la préservation de la ressource (production durable), de la protection de l'environnement (dépollution des effluents industriels) et grâce aux performances énergétiques et technico-économiques de ces nouveaux procédés de séparation. Parmi ces procédés on s'intéresse dans notre étude, aux procédés bar membranaires qui utilisent une différence de pression comme force motrice. Ceux-ci sont regroupés en quatre procédés: la microfiltration, l'ultrafiltration et la nano filtration (qui mettent en jeu des membranes possédant une structures poreuse), et l'osmose inverse qui utilise des matériaux denses (qui est pratiquement la technologie la plus utilisée actuellement pour le dessalement).

Les stations de production d'électricité dépendent également de la technologie de dessalement de l'eau de mer pour obtenir l'eau douce nécessaire pour effectuer leur travail parfaitement, au moindre coût et avec le moins de capacités. Dans la technologie de l'osmose inverse est utilisée comme la technologie la plus précise par rapport aux autres technologies existantes.

Dans ce travail, on présente la distribution la station de dessalement de l'eau de mer par osmose inverse, de la centrale électrique de KoudietEddraouche, et son impact environnemental. , nous approfondirons ce sujet et connaissons ses caractéristiques les plus importantes en deux parties:

- La partie théorique: cette partie a donné un aperçu général (bibliographique) sur les propriétés des différents procédés de dessalement en général nous découvrons les technologies les plus importantes utilisées dans le dessalement de l'eau et les caractéristiques les plus importantes de chaque technologie et avec un peu de détail on a parlé de dessalement des eaux par osmose inverse. A travers deux sections :

Le premier chapitre: Nous découvrons les technologies les plus importantes utilisées dans le dessalement de l'eau.

Le deuxième chapitre: Une étude théorique de la technologie de l'osmose inverse et de ses caractéristiques les plus importantes (les membranes utilisés ...).

- Partie pratique : Nous menons une étude appliquée de la technologie de l'osmose inverse pour connaître les composants les plus importants de l'unité de dessalement d'eau de mer de la centrale de production d'électricité de KoudietEddraouche à travers deux sections :

Le troisième chapitre : Nous découvrons la position stratégique de cette entreprise, voyons les caractéristiques de son travail en général et en détail, et découvrons l'unité de dessalement d'eau de mer utilisant la technologie d'osmose inverse et ses caractéristiques les plus importantes dans ses deux étapes et les performances de la membrane d'osmose inverse de type : FILMTEC SW30HR LE-400i Seawater Reverse Osmosis (comme type parmi les plus utilisés dans le domaine de dessalement des eaux saumâtres).

Le dernier chapitre: Une étude de sensibilisation à l'eau douce issue du procédé d'osmose inverse.

Chapitre I:
Généralités sur les différentes
techniques de dessalement d'eau
de mer

I.1. Introduction:

Les ressources en eau sont limitées et les demandes sont de plus en plus élevées. C'est pourquoi le dessalement de l'eau de mer ou des eaux saumâtres est une technique prometteuse pour produire de l'eau potable (douce) qui doit être utilisé d'une part pour produire l'électricité et d'autre part pour répondre aux besoins croissants de la population.

Cette technique permet de transformer l'eau salée en eau douce utilisable. En utilisant des procédés de dessalement efficaces, on peut contribuer à résoudre le problème de pénurie d'eau dans certaines régions.

I.2. L'eau de mer:

Selon le nouveau Larousse encyclopédique, l'eau est un «liquide incolore transparent, inodore, insipide, composé de deux atomes d'hydrogène et d'un atome d'oxygène (H₂O)» [1], appelée aussi oxyde de dihydrogène ou encore hydroxyde d'hydrogène [2].

L'eau de mer est une source d'eau inépuisable qu'on peut utiliser pour s'approvisionner en eau douce après dessalement. Les eaux de mer sont caractérisées par leurs concentrations en sel dissous (salinité). [3].

Les données du tableau I.1 révèlent que la salinité de l'eau n'est pas la même dans toutes les mers. Les salinités indiquées ici constituent des valeurs moyennes pour l'ensemble de chaque mer ou océan. En effet, les eaux situées près de l'embouchure des grands fleuves ont habituellement une salinité plus faible.

Tableau I.1: Salinité des principales eaux de mer [4].

Mer ou océan	Concentration (g/l)
Golfe arabo persique	40 à 70
Mer méditerranée	36 à 39
Océan atlantique	35
Océan pacifique	35
Mer caspienne	13
Mer baltique	7
Mer morte	270

I.2.1 La composition de l'eau de mer:

L'eau de mer est principalement constituée de sodium, magnésium, potassium, chlorure et Sulfates. Les proportions moyennes mesurées en mer Méditerranée sont données dans le Tableau II.2. Elles correspondent à des mesures en surfaces. Cependant, la profondeur influe Très peu sur leur concentration. Ces valeurs peuvent donc être considérées comme de bonnes estimations.

Tableau I.2: Concentration des principaux éléments en eau de mer Méditerranée [5]

Constituant	Symbole	Concentration (g/L)
Chlorure	Cl ⁻	21,40
Sodium	Na ⁺	11,60
Sulfate	SO ₄ ²⁻	3,06
Magnésium	Mg ²⁺	1,295
Calcium	Ca ²⁺	0,416
Potassium	K ⁺	0,390
Bicarbonates	HCO ₃ ⁻	0,145
Brome	Br ⁻	0,066
Strontium	Sr ²⁺	0,027
Bore	B ³⁺	0,013
Fluor	F ⁻	0,001
Total		38,772

I.3. Les caractéristiques physico-chimiques de l'eau de mer:

Les principales caractéristiques physico-chimiques de l'eau de mer sont présentées Comme suit:

I.3.1 Salinité: C'est le caractère essentiel de l'eau de mer.

La salinité est la quantité totale des résidus solides (en grammes) contenu dans 1 kg d'eau de mer, quand tous les carbonates ont été transformés en oxydes, le brome et l'iode remplacé par le chlore et que toute la matière organique a été oxydée.

La salinité des mers ouvertes sur les masses océaniques (Atlantique, Manche, Mer du Nord, Pacifique) est de l'ordre de 35 g/l et c'est cette valeur qui est considérée comme salinité standard de l'eau de mer. Des variations plus ou moins importantes autour de cette valeur moyenne existent en fonction du bilan précipitations-évaporations. La salinité peut être très différente dans le cas des mers fermées ou peu ouvertes sur les masses océaniques.

La salinité mesure la concentration en sels dissous; elle s'exprime en g/L. Du fait que les quantités de sels dissous sont souvent très inférieures au gramme, l'unité communément utilisée est le mg/L ou encore le p.p.m chez les Anglo-Saxons. On notera que cette dernière unité n'est pas strictement équivalente puisqu'elle exprime des mg/kg.

Tableau I.3: Classification des eaux selon leurs salinités [6].

Type d'eau	Salinité (mg/l)
Eau douce	<500
L'eau légèrement	1 000 - 5 000
Eau modérément saumâtre	5 000 – 15 000
Eau très saumâtre	15 000 – 35 000
Eau de Mer	35 000 – 42000

I.3.2 la température:

La mesure de la température permet de mieux connaître le caractère d'une eau et son comportement dans un circuit.

La température influe également sur certains paramètres physico-chimiques mesurés (Notamment pH, conductivité, redox, etc.). La plupart des appareils de mesure de ces paramètres possède une sonde de

température intégrée qui corrige (compense) la valeur à une température de référence (généralement 25°C). [7].

L'eau de mer est, en général, plus ou moins froide suivant la latitude. Chaude l'Equateur (26°C en surface dans l'océan, plus de 30°C dans les mers intérieures l'été), froide Aux pôles (1 à 3°C) en surface.

I.3.3 La Turbidité:

En relation avec la mesure des matières en suspension, elle donne une première indication sur la teneur en matières colloïdales, d'origine minérale ou organique, qui troublent l'eau (c'est donc une notion opposée à celle de limpidité). [8].

I.3.4 Matières en suspension (MES):

Ce paramètre englobe tous les éléments en suspension dans l'eau dont la taille permet leur rétention sur un filtre de porosité donnée ou leur rassemblement, sous forme de culot, par centrifugation. Il n'existe pas de relation générale entre turbidité et MES, mais une telle corrélation peut être établie empiriquement pour chaque type d'eau. [8].

I.3.5 Potentiel d'hydrogène (pH):

Le pH est le paramètre essentiel pour qualifier l'acidité ou la basicité d'une solution aqueuse. Il est en fonction de la quantité d'acide ou de base présente dans la solution, et du degré de dissociation de l'acide ou de la base [9].

On définit le pH d'une solution par la relation:

$$PH = - \log [H_3O^+]$$

Le pH est une grandeur sans dimension. La concentration des ions oxonium s'exprime en mol.L⁻¹. On peut aussi écrire la relation:

$$[H^+] = 10^{-pH} \quad [10].$$

L'eau de mer faiblement alcaline et son PH moyen est de 8,2 avec des variations entre 7 et 8,4.

Le PH des eaux de mer décroît avec une augmentation de température. Pour une saumoralité de 19,5‰ et de pH=8, une élévation de température de 1°C, entre 10°C et 20°C, diminue le pH de 0,0109.

De même, une augmentation de pression de 100 bars produit une diminution du pH de l'ordre de 0,02. [11].

I.3.6 Conductivité électrique:

La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques (Platine) de 1cm² de surface et séparée l'une de l'autre de 1cm.

L'unité de la conductivité est le Siemens par mètre (S/m). La conductivité donne une idée de la minéralisation d'une eau et est à ce titre un bon marqueur de l'origine d'une eau. [12].

I.4. Le dessalement:

I.4.1 Technique du procédé de dessalement :

Dans de nombreuses régions du monde, les sources d'eau douces sont inexistantes ou deviennent insuffisantes au regard de la croissance démographique ou de la production industrielle. Le dessalement de l'eau est un processus qui permet d'obtenir de l'eau potable ou de l'eau douce à partir d'une eau saumâtre ou

d'eau de mer [4]. Il peut remédier à la pénurie d'eau et pourrait donc contribuer à remédier à son manque, qui fait obstacle à l'amélioration des niveaux de vie et au développement des secteurs qui en dépendent [13].

I.4.2 Définition du dessalement de l'eau de mer:

Le dessalement s'appelle aussi désalinisation de l'eau de mer ou plus rarement dessalage.

C'est un processus qui consiste à extraire de l'eau douce des eaux salées de la mer. Cela se fait en éliminant le sel et les impuretés de l'eau pour la rendre potable et utilisable à des fins agricoles et industrielles.

La désalinisation peut être effectuée selon plusieurs principes physiques : la distillation qui repose sur un changement de phase eau-vapeur, une séparation sel-eau faisant appel à des membranes semi-perméables où le moteur est soit la pression (osmose inverse), soit un champ électrique (électrodialyse) [14].

I.4.3 Schéma général d'une installation de dessalement :

Le processus de dessalement d'eau de mer se fait en quatre étapes:

- Le captage de l'eau de mer
- Le prétraitement
- Installation de dessalement (Les différents procédés de dessalement)
- Le post traitement ou minéralisation

On appelle taux de conversion le rapport de la quantité d'eau douce produite par rapport à la quantité d'eau saline pompée (MAUREL, 2006).

Une installation de dessalement peut être schématiquement subdivisée en 4 postes:

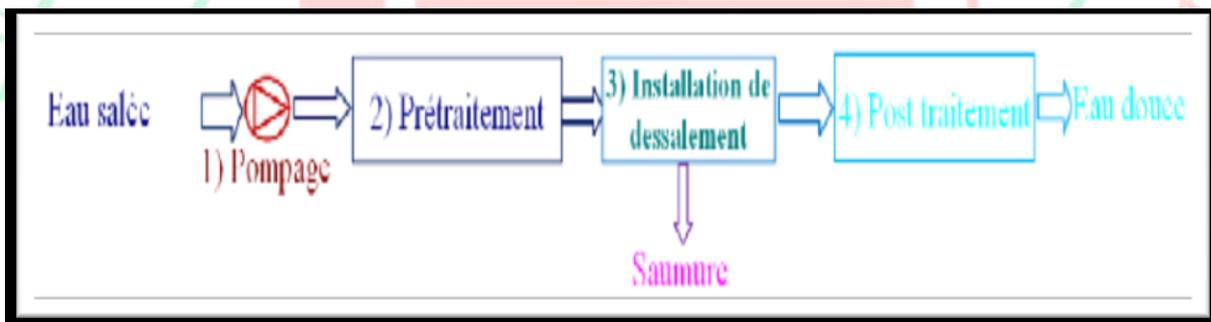


Figure (I.1): Schéma général d'une installation de dessalement (MAUREL, 2006)

a. Captation d'eau de mer (eau d'alimentation):

L'eau de mer est aspirée par des tours de captation de la mer méditerranée, Cette étape Consiste à pomper l'eau de mer vers la station de dessalement, l'eau entrée doit être bonne du point de vue matières en suspension.

b. Le prétraitement:

Les systèmes de prétraitement de l'eau de mer avant dessalement ont pour but d'éliminer les grosses particules et les débris qui sont susceptibles de colmater les installations de dessalement.

Les procédés de prétraitement peuvent être divisés en deux catégories: les prétraitements physico-chimiques et les prétraitements chimiques.

c. Les différents procédés de dessalement (installation de dessalement):

Il existe plusieurs techniques pour le dessalement des eaux de mer qui peuvent être classés en trois grandes familles:

1) Les procédés chimiques:

- échange d'ions ;
- extraction par solvant.

2) Les procédés par distillation qui faisant intervenir un changement de phase :

- évaporation ;
- congélation.

3) Les procédés de perméation sélective à travers une membrane :

- transfert d'ions sous l'action d'un champ électrique (électrodialyse).
- transfert d'eau sous l'action d'un gradient de pression (osmose inverse).

En fait, la totalité des installations actuellement en service fait appel à deux grandes familles de procédés:

Les procédés par évaporation (thermiques) et les procédés de séparation par membranes qui sont schématisés ci-dessous :

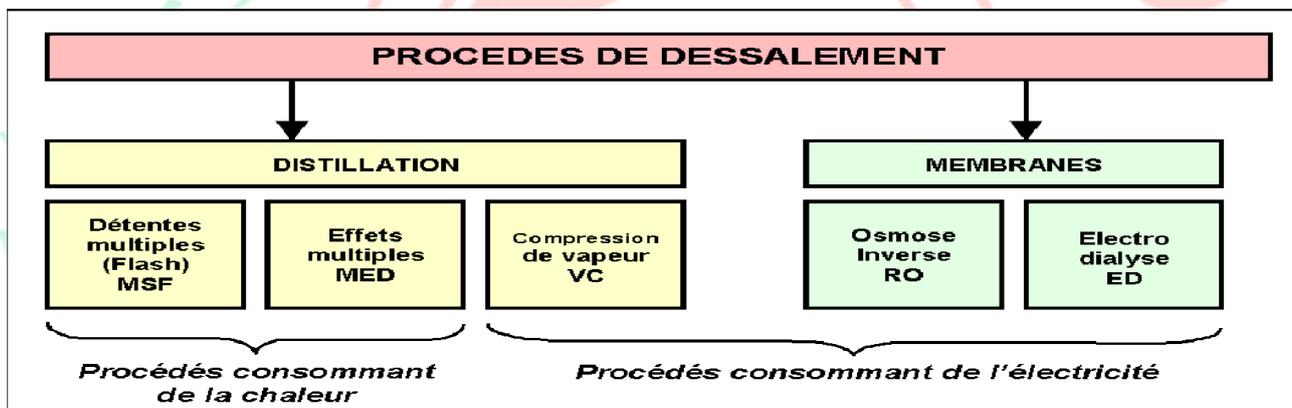


Figure (I.2): Les différents procédés de dessalement [15].

Parmi les procédés précités, la distillation et l'osmose inverse sont des technologies qui ont fait leurs preuves pour le dessalement d'eau de mer et sur lesquelles nous allons nous concentrer. En effet, ces deux procédés sont les plus commercialisés dans le marché mondial du dessalement. Par contre les autres techniques n'ont pas connu un essor important dans le domaine à cause de problèmes liés généralement à la consommation d'énergie.

c.1. Les procédés chimiques:

Ce type de procédés est représenté par le procédé de séparation par échange d'ions appelé aussi déminéralisation.

L'échange d'ions est un procédé par lequel, dans certaines conditions, une substance soluble (résine) attirant un ion positif ou négatif d'une solution et rejette un ion du même signe. La résine (utilisée dite cationique fortement acide). [16]

La résine (initialement associée avec le sodium Na) fixe le calcium et le magnésium, en échange libre, avec le Na. [16]

Après une certaine quantité d'ions retenus, la résine est saturée il est donc nécessaire de la régénérer, on utilise une solution de sel concentré appelé saumure qui va traverser la résine le calcium et le magnésium sont libérés et échangés par du sodium, la résine est à nouveau prête pour fixer Ca^{++} et Mg^{++} . [16]

c.2. Procédés par distillation:

Dans les procédés de distillation, on chauffe l'eau de mer pour en vaporiser une partie.

En condensant cette vapeur, on obtient de l'eau douce liquide. C'est comme si on accélérât le cycle naturel de l'eau, où l'eau s'évapore des océans, se transforme en nuages et retombe sur terre sous forme d'eau douce.

Ce principe de dessalement est utilisé depuis très longtemps. On a trois types:

- **Distillation à simple effet :**

Permet de reproduire le cycle naturel de l'eau. Dans une enceinte fermée, un serpentin de réchauffage porte à ébullition l'eau de mer. La vapeur produite se condense au contact d'un deuxième serpentin alimenté par de l'eau de mer froide. Un groupe électropompe soutire l'eau condensée, un deuxième, l'eau de mer concentrée.

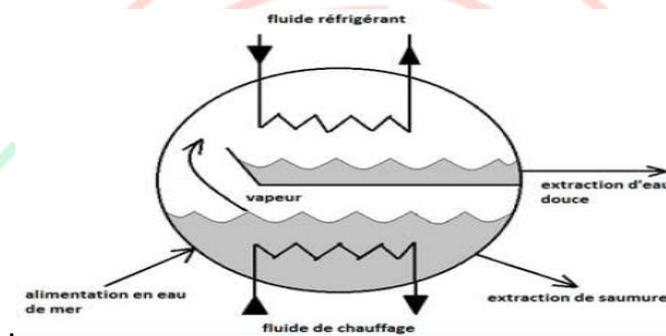


Figure (I.3): Distillation à simple effet (MAUREL, 2006)

- **Distillation à multiples effets :**

Son objectif est d'améliorer la consommation spécifique de l'évaporateur, simple effet.

On sait que la température d'ébullition de l'eau varie avec la pression. On peut donc utiliser la chaleur de condensation de la vapeur produite dans une première chambre d'évaporation pour faire fonctionner le faisceau de chauffe d'une seconde chambre à pression et température plus faible et ainsi de suite (MAUREL, 2006).

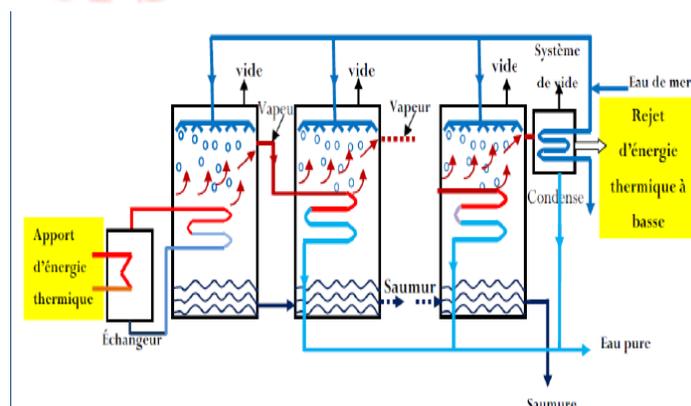


Figure (I.4): Distillation à effet multiple (RENAUDIN, 2003)

- **Distillation avec compresseur de vapeur :**

Consiste à une revalorisation de la vapeur d'eau du dernier effet par compression grâce à un compresseur mécanique ou via un éjecteur, on parle alors de thermo compression. La compression par éjecteur nécessite par ailleurs une vapeur motrice.

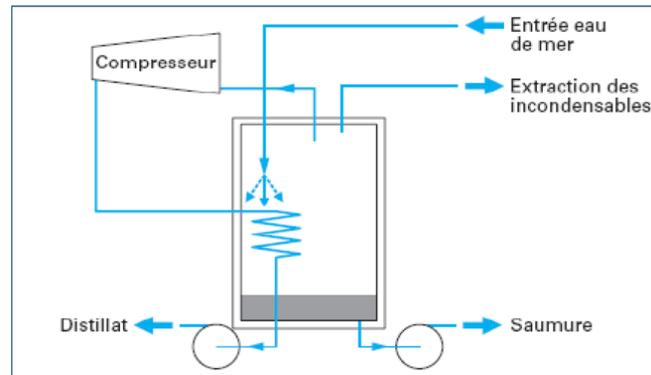


Figure (I.5): Distillation avec compresseur de vapeur (DANIS, 2003)

- **La distillation Multi-Flash (MSF) :**

Ce procédé dit « Flash » consiste à maintenir l'eau sous pression pendant toute la durée du chauffage. Lorsqu'elle atteint une température de l'ordre de 120°C, elle est introduite dans une enceinte (ou étage) où règne une pression réduite. Il en résulte une vaporisation partielle instantanée par détente appelée Flash.

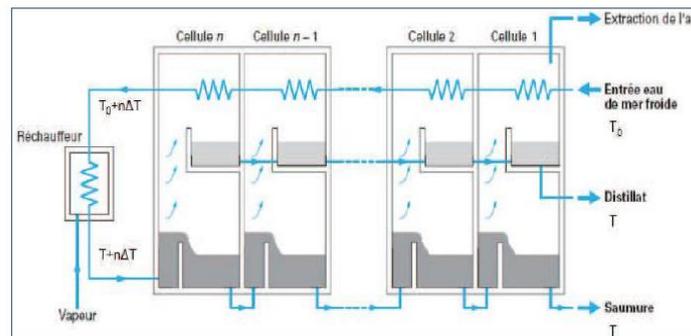


Figure (I.6) : Distillation Multi-Flash (DANIS, 2003)

c.3. Procédés à membranes (membranaires):

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.

- **Procédés d'électrodialyse (ED) :**

Le principe de l'électrodialyse est bien connu. Les ions d'un sel dissous dans l'eau, comme le chlorure de sodium par exemple, déplacent sous l'action d'un champ électrique créé par deux électrodes trempant dans le liquide.

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

L'électrodialyse est bien adaptée aux eaux saumâtres dont la salinité est assez faible, inférieure à celle de l'eau de mer. Les membranes utilisées en électrodialyse laissent passer les ions mais sont imperméables à l'eau. C'est exactement l'inverse pour les membranes utilisées en osmose inverse [17].

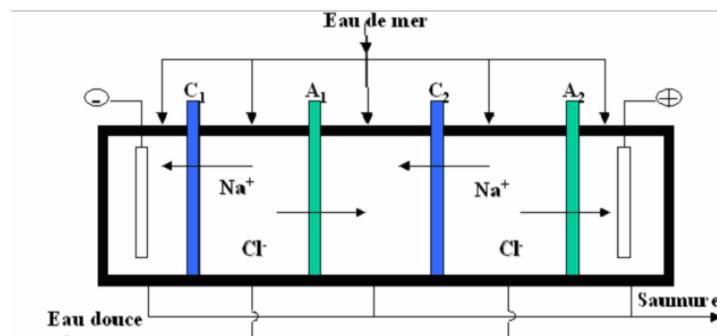


Figure (I.7): Principe de fonctionnement de l'électrodialyse [18].

• **Procédés de l'Osmose inverse (OI):**

Il existe différentes techniques de filtration de l'eau (filtration conventionnelle, microfiltration, ultrafiltration, nano filtration, osmose inverse) selon le domaine d'utilisation.

Ces techniques se différencient principalement par la taille des particules qu'elles arrêtent. Le cas extrême est l'osmose inverse qui arrête tous les solutés contenus dans l'eau mais laisse passer le solvant.

L'osmose est un procédé de séparation de l'eau et des sels dissous au moyen de membranes semi-perméables sous l'action de la pression. Si l'on considère 2 solutions de concentrations salines différentes séparées par une membrane. L'eau migre spontanément de la solution diluée à la solution la plus concentrée c'est l'osmose. Si l'on applique une pression supérieure à la pression osmotique (pression d'équilibre) le solvant va migrer de la solution concentrée à la solution diluée c'est l'osmose inverse.

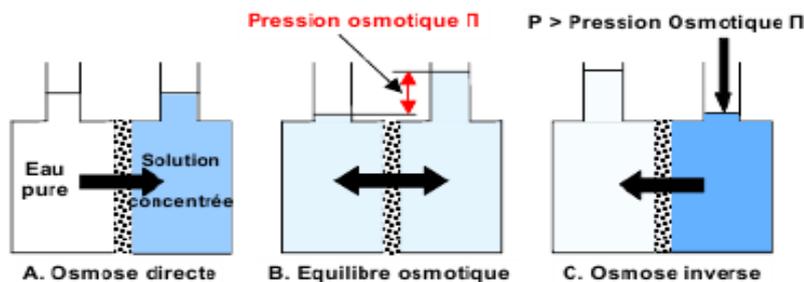


Figure (I.8) : Principe d'osmose inverse [19]

L'osmose inverse est la technique la plus couramment utilisée dans le processus de dessalement de l'eau de mer. Il sera détaillé dans le chapitre II, notamment son fonctionnement et les membranes utilisées. Ce sera une excellente occasion d'en savoir plus sur ce sujet important.

d. **Le post-traitement :**

En général, l'étape de poste traitement comporte deux phases principales pour rendre l'eau potable (en sortie de l'unité de dessalement, l'eau est déminéralisée), c'est à dire garantir la qualité de l'eau potable produite.

I.4.4 les paramètres de choix d'un procédé de dessalement:

Lors du choix d'un procédé de dessalement de l'eau de mer, il y a plusieurs paramètres à prendre en compte, ils peuvent être classés en deux facteurs:

• **Facteur technique:**

- La qualité et les Compositions chimiques et caractéristiques physiques de l'eau à traiter (eau de mer), pour déterminer le type de prétraitement à utiliser, surtout les procédés membranes ;
- Salinité de l'eau produit, selon l'usage qui en sera fait, elle peut varier de 300 à 500 ppm pour l'approvisionnement en eau potable et de 15- 30 ppm pour l'alimentation en eau industrielle ; [20]
- La taille de l'installation.
- La disponibilité des ressources nécessaires.

• **Facteur économique:**

- Coût de l'énergie : l'efficacité énergétique du procédé
- Coût des produits chimiques ;
- Les coûts d'exploitation et de maintenance, l'efficacité énergétique du procédé

Il est également important de considérer la durabilité du procédé et son impact sur l'environnement.

En évaluant ces différents paramètres, on peut choisir le procédé de dessalement de l'eau de mer le plus adapté à une situation donnée.

I.4.5 Le Coût de dessalement:

Le coût de dessalement varie en fonction de la technologie utilisée, de la taille de l'installation et de la salinité de l'eau traitée. Les technologies membranaires peuvent produire de l'eau de bonne qualité à partir d'eau saumâtre à un coût d'environ 0,50 USD/m³. Cependant, les coûts sont plus élevés pour le traitement de l'eau de mer, avec un coût estimé entre 0,5 et 1,1 USD/m³ pour l'osmose inverse et entre 0,65 et 1,8 USD/m³ pour la distillation. Les technologies thermiques sont généralement plus coûteuses que les technologies membranaires.

I.4.6 Les impacts de dessalement sur l'environnement:

Il est important de prendre en compte tous ces facteurs pour minimiser les impacts sur notre environnement précieux.

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

a. 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.

b. Impacts négatifs :

- ✓ *Rejets atmosphériques*
- ✓ *Rejets chimiques*

c. Rejets de saumures :

Les installations de dessalement rejettent en fait la même charge de sels de l'eau traitée qu'elles ont reçue, mais dans un volume d'eau moindre, donc plus concentré allant jusqu'à deux fois la concentration initiale

dans le cas de l'osmose inverse. Outre cet excès de concentration qui peut atteindre 70 g/L, ces saumures sont rejetées des températures plus élevées de 10 à 15°C quand il s'agit d'un procédé de distillation. Ces saumures sont rejetées en mer ou injectées dans le sol.

Pour limiter l'effet de cet impact, la solution adoptée aujourd'hui est la mise en place de systèmes de diffuseurs permettant de maîtriser la dilution de la saumure avec l'eau de mer et limiter dans l'espace la zone impactée. [20]

I.4.7 Problèmes techniques rencontrés en dessalement:

Les 3 principaux problèmes que l'on rencontre dans le dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres sont:

a. La corrosion:

La corrosion est un processus naturel qui se produit lorsque des matériaux métalliques réagissent avec leur environnement en présence d'eau ou d'humidité.

Cela peut entraîner la détérioration et la dégradation des métaux, ce qui peut causer des problèmes dans les équipements de dessalement. La corrosion peut être causée par des facteurs tels que l'oxydation, l'électrolyte, les réactions chimiques et les conditions environnementales.

Les principales conséquences de la corrosion sont:

- Rupture des conduites ;
- Augmentation de la rugosité ;
- Fuites d'eau ;
- Pollution de l'eau produite par des agents extérieurs.



Figure (I.9): Le phénomène de la corrosion.

b. L'entartrage (Scaling):

L'entartrage est un problème de sels minéraux qui a tendance à se former sur les surfaces d'échanges. Les dépôts sont constitués principalement par du carbonate de calcium (CaCO_3), de l'hydroxyde de magnésium (Mg(OH)_2) et du sulfate de calcium.

Pour qu'il y ait des dépôts de tartre sur une surface d'échange, deux conditions principales doivent être réunies:

- ▶ Une condition thermodynamique: il faut que la limite de solubilité soit dépassée, c'est-à-dire qu'il y ait sursaturation.
- ▶ Une condition cinétique: il faut que la vitesse de dépôt soit suffisamment rapide [21].

L'entartrage est lié à la formation de solides amorphes ou cristallisés qui est fonction de la température (diminution de la solubilité quand la température augmente) et de la composition de l'eau [22].

Les dépôts de tartre ont des conséquences considérables sur le fonctionnement des installations de dessalement:

- Réduction de la section de passage ;

- Dégradation des états de surface ;
- Par leur très forte adhérence, les tartres mènent à une constance de débit ;
- Augmentation des pertes de charge pour un débit constant ;
- Obturation des conduites du fait de la diminution de son diamètre par les dépôts de tartre.

L'entartrage peut se manifester à l'intérieur des chaudières, lors de l'utilisation particulière de l'eau, sur les réseaux de distribution dans les circuits de chauffage, de refroidissement et plus précisément dans les échangeurs de température, la Figure (II.4.9). Met en évidence la détérioration des conduites d'eau par entartrage [23].



La Figure (I.10) : Le phénomène de l'entartrage.

b.1 Différents moyens de lutte contre l'entartrage :

La formation de tartre doit être évitée pour maintenir un fonctionnement correct des installations. Une première solution consiste à jouer sur le procédé même: apport d'énergie calorifique supplémentaire dans le cas des procédés de distillation, application d'une pression supérieure dans celui des procédés membranaires. Une deuxième solution consiste à prétraiter l'eau par:

1. L'ajout d'acide qui induit une décarbonatation du milieu par dégazage du gaz Carbonique formé à partir des hydrogénocarbonates;
2. L'ajout de chaux et de germes de cristallisation qui favorisent la précipitation décarbonate de calcium.
3. L'emploi d'inhibiteurs d'entartrage: poly phosphate, organophosphoré, polymères poly carboxyliques quelle que soit la solution adoptée, elle augmente le coût du dessalement [22].

c. Le colmatage (Fouling) :

Les eaux naturelles, comme l'eau de mer ou l'eau saumâtre, contiennent souvent des matières organiques en suspension qui peuvent se déposer sur les surfaces d'échange et les obstruer. Cela peut entraîner une augmentation de la résistance de transfert et une diminution de la capacité de production de l'installation de dessalement. C'est pourquoi des techniques de prétraitement chimique sont utilisées pour éliminer ces matières organiques et maintenir les surfaces d'échange propres et efficaces.

Ainsi, l'installation peut fonctionner de manière optimale.

Le développement de microorganismes, dans les parties des installations ou les conditions physico-chimiques le permettent, peut accentuer le phénomène par suite de la formation de films biologiques sur les surfaces de transfert (biofouling)(ATALLAH, 2014).

Le colmatage a comme conséquences:

- Une augmentation de la perte de charge ;

- Une augmentation du passage de sels, le colmatage empêche la retro diffusion des sels rejetés par la membrane ;
- Une perte de flux.

c.1. Biofouling :

Le biofouling peut être défini comme un colmatage dû à des micro-organismes (Bactéries principalement), mais aussi des micro-algues, champignons:

- Soit directement par le développement d'une biomasse ;
- Soit indirectement par les métabolites produits par les micro-organismes (polysaccharides) [21].

c.2. Différents moyens de lutte contre le colmatage :

Il existe plusieurs moyens de lutte contre le colmatage des membranes utilisées dans le dessalement de l'eau. Voici quelques-unes des techniques couramment utilisées:

1. Prétraitement physique:

Cela implique l'utilisation de filtres pour éliminer les particules en suspension dans l'eau avant qu'elle n'atteigne les membranes. Cela aide à réduire le colmatage et à prolonger la durée de vie des membranes.

2. Prétraitement chimique:

L'ajout de produits chimiques spécifiques peut aider à prévenir le colmatage des membranes. Par exemple, l'utilisation de produits anti scalants peut empêcher la formation de dépôts minéraux sur les membranes.

3. Nettoyage des membranes:

Des procédures de nettoyage régulières peuvent être effectuées pour éliminer les dépôts et les particules accumulés sur les membranes. Cela permet de maintenir leur efficacité et de réduire le colmatage.

4. Surveillance et maintenance régulières:

Il est important de surveiller en permanence les performances des membranes et de mettre en place un programme de maintenance préventive pour détecter et résoudre les problèmes de colmatage dès qu'ils se produisent.

I.4.8 Les avantages et les inconvénients de dessalement:

Le dessalement de l'eau présente à la fois des avantages et des inconvénients.

► Les avantages:

Parmi les avantages, on peut citer:

- ✓ Fournir une source d'eau douce dans les régions où l'eau potable est rare.
- ✓ Réduire la dépendance aux ressources en eau douce limitées.
- ✓ Contribuer à la sécurité alimentaire en permettant l'irrigation des terres agricoles.
- ✓ Créer des opportunités économiques grâce à l'industrie du dessalement.

► Les inconvénients:

Cependant, il y a aussi des inconvénients à prendre en compte:

- ✓ Le dessalement nécessite une grande quantité d'énergie, ce qui peut avoir un impact sur l'environnement et contribuer aux émissions de gaz à effet de serre.
- ✓ Les installations de dessalement peuvent avoir des effets néfastes sur les écosystèmes marins en rejetant de l'eau salée concentrée et des sous-produits chimiques.
- ✓ Le coût élevé du dessalement peut rendre cette technologie inaccessible pour certaines régions ou communautés.

Il est important de trouver un équilibre entre les avantages et les inconvénients du dessalement afin de minimiser les impacts négatifs sur l'environnement tout en répondant aux besoins en eau douce.

I.5. Conclusion :

Le dessalement de l'eau de mer est une technologie essentielle pour répondre aux besoins croissants en eau douce qui être utilisé pour de nombreux usages notamment pour produire l'électricité alors c'est l'un des solutions efficaces et maîtrisées techniquement, pour la mobilisation des ressources en eaux supplémentaires.

Les progrès dans les techniques de dessalement de l'eau de mer ont permis de rendre ces procédés plus performants et rentables. Cependant, il est important de rester conscient des potentiels impacts sur l'environnement. Il est essentiel d'utiliser le dessalement avec précaution et de manière responsable, en le mettant en œuvre là où il répond réellement à un besoin en eau tout en minimisant les risques environnementaux. Trouver un équilibre entre les avantages du dessalement et la préservation de l'environnement est primordial.

L'osmose inverse est l'un des techniques la plus courante pour le dessalement d'eau de mer, il a connu un développement technologique remarquable.

Dans le chapitre suivant cette technique est détaillée profondément.





جامعة بادج

Chapitre II: Osmose inverse

haba

Université Badji Mokri

II.1. Introduction:

Le procédé d'osmose inverse est l'un des types de technologie de dessalement qui permet d'obtenir l'eau douce.

L'osmose inverse est un phénomène naturel de diffusion de matière qui se produit lorsque deux solutions de concentration différente sont séparées par une membrane semi-perméable, de sorte que les concentrations des deux solutions s'équilibrent spontanément en absence d'énergie pour inverser ce procédé osmose inverse en appliquant une pression osmotique (énergie électrique) forcée un volume d'eau de mer à forte teneur en sel passe à travers une membrane semi-perméable pour obtenir d'un côté une eau à très faible concentration en sel et l'autre une eau très concentrée (saumure).

Ce procédé a été industrialisé au point que des millions de litres d'eau douce sont toujours disponibles à partir d'eau de mer dans le monde entier.

- On applique ce procédé dans :
- Déminéralisation des eaux saumâtres.
- Dessalement de l'eau de mer.
- Traitement des eaux résiduaires industrielles.
- Valoriser la qualité d'eau de mer.

II.2. Principe :

II.2.1 Osmose :

L'osmose est un procédé qui se produit naturellement dans la nature basé sur le principe fondamental de l'équilibre dans lequel la mise en œuvre d'une membrane semi-perméable entre deux solutions de concentration différentes sans mise en contact (ceux-ci se mélangent jusqu'à information des concentrations) permet d'obtenir une migration à travers de la membrane d'une partie de l'eau pure pour équilibrer les concentrations de soluté de la solution moins concentrée vers la solution plus concentrée, ce processus est essentiel pour maintenir l'équilibre des concentrations dans les systèmes biologiques et chimiques. [23]



Figure (II.01): Phénomène de l'osmose. [20]

II.2.2 Osmose inverse:

Une technique de purification de l'eau consiste à faire passer cette dernière (l'eau) au travers des membranes semi-perméables pour éliminer les impuretés et les contaminants de l'eau (les sels) sous l'effet de la pression différentielle (gradient de pression) de solution concentrée vers la solution diluée, cette pression est appliquée pour inverser le phénomène d'osmose pour permettre à l'eau déplacée à travers la membrane, laissant les impuretés de l'autre côté.

C'est une méthode plus efficace pour obtenir de l'eau pure ou peut être utilisée dans les traitements de l'eau potable et dans d'autres applications industrielles. [24]

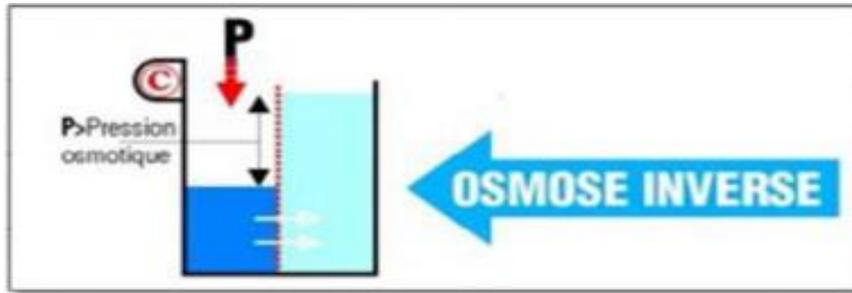
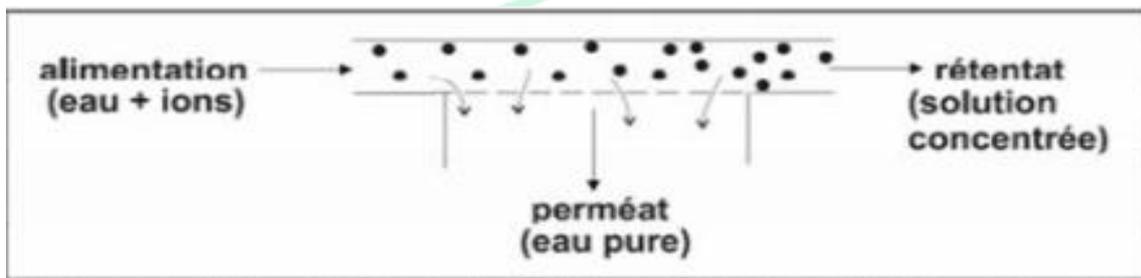


Figure (II.02): procédé d'osmose inverse [20]

L'écoulement s'effectue en continu tangentielle à la membrane. Une partie de la solution à traiter (débit Q_0) se divise au niveau de la membrane en deux parties de concentrations différentes:

- Une partie qui passe à travers la membrane ou perméat (débit Q_p).
- Une partie qui ne passe pas à travers la membrane, appelée concentrât ou retentât (débit Q_c), et qui contient les molécules ou particules retenues par la membrane. [25]



Figure(II.03): Séparation en phase liquide par perméation à travers une membrane [26]

II.3. Pression osmotique:

C'est une pression appliquée par un flux d'eau à travers une membrane semi-perméable pour faire l'équilibre osmotique c'est le phénomène d'osmose inverse, les molécules d'eau se déplacent du côté où la concentration est plus faible vers le côté où elle est plus élevée. [27]

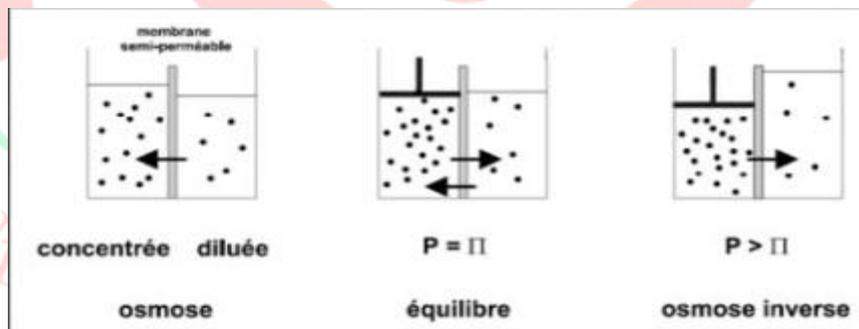


Figure (II.04): Pression osmotique [25]

II.4. Les étapes principales de dessalement de l'eau de mer par osmose inverse:

Avant de passer l'eau de mer à l'osmose inverse, il doit passer par plusieurs étapes pour le purifier des grandes impuretés afin de protéger la membrane.

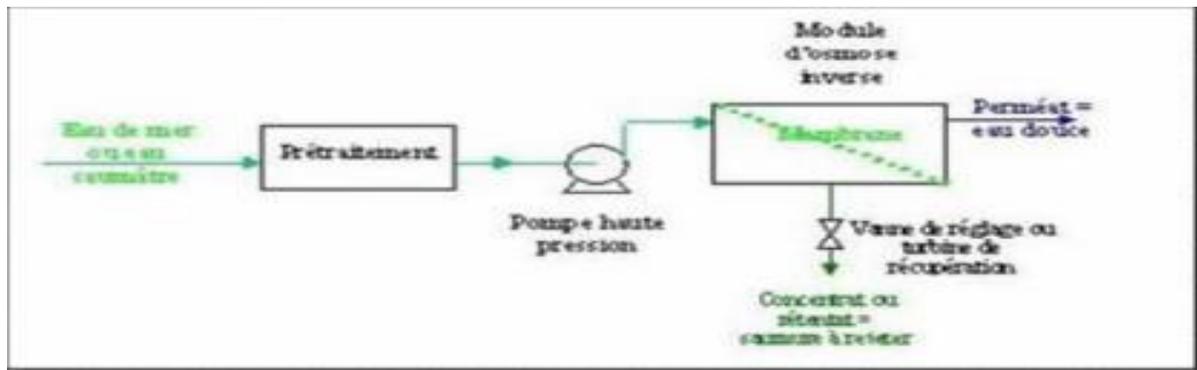


Figure (II.05): Éléments constitutifs d'une unité d'osmose inverse [4].

II.4.3 Aspiration et pompage eau de mer:

Généralement la localisation géographique de l'usine est près des côtes où l'eau de mer est facilement accessible, l'eau de mer est aspirée par les tours de captation de mer méditerrané à partir de profondeurs plus importantes pour permettre d'obtenir une eau de meilleure qualité, et filtrés par des filtres mécaniques (grilles et filtres rotatifs) pour éliminer les débris (algues, les coquillages) ici l'eau est digrilles à différents niveaux, ensuite pompés l'eau brute vers les condenseurs des tranches et la station de dessalement (osmoseur) par 6 pompes d'eau de mer verticales.

II.4.2 Chloration:

C'est un traitement biologique la plus efficace pour bloquer la tendance à la prolifération des organismes vivants dans l'eau.

Cette procédé se fait par la solution d'électro chloration qui a pour rôle de produire une solution d'hypochloration de sodium à partir de l'eau de mer par la technique d'électrochimie d'électrolyse partielle du chlorure de sodium contenus dans l'eau de mer, réalisé avec des électrodes alimentées par un courant continu.

Cette technologie consiste à injecté ce produit final (NaCl) c'est un agent de désinfection est utilisé pour le traitement biologique.

- Dans les fosses d'aspiration des pompes de circulation.
- Dosage continue.
- Dosage de choc.
- Dans les prises d'eau, dosage en choc par jour.

II.4.3 Prétraitement:

Avant de passer l'eau de mer à l'osmose inverse il faut éliminer les contaminants, les particules qui sont disponibles dans l'eau de mer avec une étapes qui s'appelle prétraitement, et cette dernière comporte un certain nombre d'opération, uniquement physique et chimique, il est nécessaire afin d'éviter le dépôts des matières en suspensions sur les membranes qui conduirait très rapides à une diminution des débits, déchets et retenus toutes les particules de dimension supérieures à 10 à 50 μm selon le type de module de l'osmose inverse.

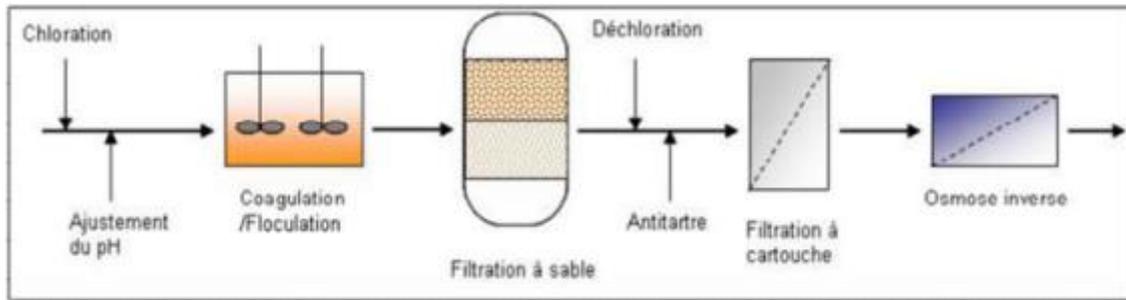


Figure (II.06): Prétraitement conventionnel [28]

a. Prétraitement physique:

a.1. Filtre sur sable :

Cette méthode est basée sur l'élimination des agglomérats produits lors de la coagulation qui sont piégés dans le sable et les matières organiques et les contaminants chimiques dissous dans l'eau de mer (biocarburants résiduel dans l'eau), il peut aussi préparer l'eau avec basse turbidité pour l'étape d'osmose inverse. [29]

a.2. Filtre sur cartouche :

C'est la dernière étape du prétraitement qui consiste à dégrader les particules plus fines, les sédiments, les matières organiques et même certains microorganismes présents dans l'eau de mer par des cartouches filtrantes.

Dans ce procédé, on permet de préparer et améliorer la qualité de cette dernière pour protéger les membranes. [29]

b. Prétraitement chimique:

b.1. Antitartre:

Dans la composition de l'eau de mer, il existe toujours les ions de bicarbonates et les ions de calcium qui sont les responsables du problème de tartre.

La méthode d'antitartre est la plus efficace pour résoudre ce problème. Elle consiste généralement à injecter l'antitartre (produits chimiques spéciaux comme CaCO_3 , $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) qui empêchent la formation de tartre dans les modules de membranes d'osmose inverse.

C'est une méthode importante pour assurer une performance durable de la membrane.

b.2. Injection de Méta Bisulfite de sodium (Na_2SO_3) (Déchloration):

Afin d'assurer un bon fonctionnement du système d'osmose inverse, il faut passer par cette étape.

Le métabisulfite de sodium est un agent de décoloration qui aide à prévenir la formation de dépôts, il peut neutraliser le chlore résiduel contenu dans l'eau de mer avant son arrivée à la membrane, et de cette manière l'effet de chlore soit indisponible dans l'eau pour protéger la membrane d'osmose inverse et éviter leur détérioration par oxydation parce qu'il peut endommager les membranes.

c. 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 tels que la microfiltration (MF), l'ultrafiltration (UF) et la nanofiltration (NF). [30]

II.4.4 Le pompage à haute pression:

Avant l'entrée dans les membranes d'osmose inverse, l'eau prétraité arrive au système de pompage de haute pression généralement entre 55 et 85 bars, en fonction de la température et de la salinité. [31].

II.4.5 Récupération d'énergie :

Lorsque l'opération de dessalement de l'eau de mer par osmose inverse demande une énergie plus élevée, le circuit de C est détendu à travers une vanne, ce qui représente une perte de charge d'énergie.

Dans ce cas la récupération de l'énergie est nécessaire pour des raisons énergétiques économiques.

Cette récupération réalisée au moyen des différents systèmes de récupération d'énergie:

a. Turbopompes intégrées :

Le principe de ces machines est de récupérer l'énergie de la saumure dans une turbine hydraulique montée sur le même arbre que la pompe haute pression. [4]

II.4.6 Post de traitement:

Ce traitement est complémentaire pour éliminer le bore et une chloration peuvent également avoir lieu. Peut cette procédé comporte trois étages [32]:

a. Correction de l'agressivité de l'eau:

Le PH de l'eau produite par osmose inverse est inférieure au PH de saturation ou que son indice de Langelier est négatif. La correction de pH se fait à l'aide d'une solution alcaline, automatiquement en fonction du pH (NaOH). Cette neutralisation a pour but d'éviter les problèmes liés au CO₂ dissous dans l'eau pour obtenir une eau ni agressive, ni incrustante. [33].

b. Désinfection finale:

Bien que les membranes d'osmose inverse retiennent tous les micro-organismes (bactéries, virus); il est nécessaire d'assurer un résiduel de désinfection pour éviter toute contamination et développement biologique. [34].

II.5. Paramètres de fonctionnement d'une osmose inverse:

II.5.1 La pression motrice ΔP:

Est égale à la pression de refoulement de la pompe diminuée de la pression statique à la sortie du module d'osmose (côté production) et de la perte de charge due à l'écoulement de l'eau.

II.5.2 La conversion Y:

Rapport entre le débit produit et le débit d'alimentation se définit par

$$Y = 100 \times QP / QA$$

Ce paramètre s'exprime aussi sous la forme du:

II.5.3 Le passage de sels PS:

Se caractérise par le rapport entre la concentration côté production et la concentration côté alimentation:

$$PS = 100 \times C_P / C_A$$

On le note aussi par son complément:

II.5.4 Le rejet de sels RS:

Qui est le rapport entre la concentration côté rejet et la concentration côté alimentation. [35]

$$RS = 100 \times CR/CA = 100 - PS$$

II. 5.5 La sélectivité R:

D'une membrane est définie par le taux de rejet R (ou taux de rétention) de l'espèce que la membrane est censée retenir:

$$R = C_0 - C_P/C_0 = 1 - C_P/C_0$$

Où:

C₀: La concentration de l'espèce à retenir dans la solution.

C_p: La concentration de la même espèce dans le perméat. [4]

II.6. Mécanisme de transfert:

Il existe plusieurs théories pour décrire le mécanisme de transfert et de sélectivités des membranes semi-perméable, il existe le model le plus connus de type (solubilisation-diffusion) qui s'applique relativement bien aux membranes d'osmose inverse.

Ce modèle consiste que toutes les espèces moléculaire (soluté et solvant) se dissolvant dans la membrane et diffusent à l'intérieur de celle-ci comme dans un solide ou un liquide sous l'action d'un gradient de concentration et de pression, ce transfert dépend de solubilité des particules dans le milieu membranaire, les séparations sont donc d'origine chimique et sont liées au pouvoirs solvant de la membranaire. [36]

II.7. La polarisation de concentration:

La polarisation de concentration est un phénomène inhérent au sein de membranes sélectives. Il correspond à l'accumulation progressive de matières ou concentration en surface de matières retenues. Elle engendre généralement une augmentation de la pression osmotique et donc une diminution du flux de perméation lorsque la pression appliquée moyenne est constante et une diminution de la rétention observée. [37]

II.8. Membrane d'osmose inverse:

II.8.1 Présentation d'osmose inverse:

Une membrane peut être définie comme étant une couche mince à propriété osmotique est hyper fine inférieure 1µm de matière, permettant l'arrêt ou le passage sélectif du substances dissout ou non sous l'action d'une force motrice de Transfer (il force les molécules d'eau à traverser les pores de la membrane) et capter les contaminants qui sont disponible dans l'eau. [38].

II.8.2 Type de membranes d'osmose inverse:

Parmi les membranes d'osmose inverse utilisées, on peut citer:

- a. Membranes organiques:[39]
- b. Membranes minérales ou inorganiques:[40]
- c. Membranes composites:[38]
- d. Membranes à charge électrique:[23].

II.9. Durée de vie des membranes:

La durée de vie de membranes toujours reliée avec la nature de cette dernière est aussi avec ses condition d'utilisation les quel:

- La pression de fonctionnement.
- La température de l'eau.
- Le PH de l'eau.
- La qualité du prétraitement.

C'est pour sa c'est dure pour déterminé leur duré de vie, pacque les performances membranes d'osmose inverse évoluent lentement au cours du temps, généralement les membranes d'osmose inverse sont chargé quand la qualité du perméat dépasser un certain seul. [41].

II.10. Les modules d'osmose inverse:

II.10.1 Définition des modules :

Pour être mises en œuvre, les membranes doivent être montées dans supports appelés modules, les modules peuvent varier en taille et configuration en fonction des besoins spécifiques de chaque application. [42]

II.10.2 Les types de modules :

- Les modules tubulaires.
- Les modules à fibres creuses.
- Modules à plaques.
- Les modules spiraux. [43]

II.11. La consommation énergétique et le coût de l'osmose inverse:

⚡ Dans toute la technologie, il faut minimiser le cout énergétique et économique du procédé et dans ce technique le principale cout est le pompage d'eau qui doit appliquer la pression de travail et représente une consommation électrique.

Le cout énergétique et économique augmente également avec la concentration en sel. [38]

II.12. Limitations de l'osmose inverse:

II.12.1.Définition du colmatage:

Le colmatage de la membrane d'osmose inverse fait référence à l'accumulation de plusieurs particule dans la membrane se fait à cause de l'ensemble des phénomènes qui interviennent dans la modification des propriétés filtrantes d'une membrane excepté la compaction et la modification chimique, se produisant à l'interface membrane solution ou dans le volume poreux. [44]

II.12.2 Type de colmatage:

- a. Colmatage par entartrage.
- b. Colmatage par dépôt.
- c. Le blocage des pores.
- d. Colmatage par dépôt de matières par convection.
- e. Colmatage par adsorption.

f. Le bio-colmatage. [29]

II.13. Estimation du potentiel de colmatage :

Il existe multi méthodes d'évaluation pour caractériser le potentiel de colmatage d'une eau ont été développées. [38] les quels :

II.13.1 SDI (Silt Density Index):

Le SDI est considéré comme un paramètre représentatif du potentiel de colmatage d'une eau saline d'alimentation dans un procédé d'OI. Il dépend de la quantité de particules mais également des autres composants colloïdaux. [28]

Le SDI doit être inférieur à 5 pour l'OI. L'utilisation du SDI est largement répandue dans le dessalement. Cependant, cet indice présente plusieurs limitations: il n'utilise pas une membrane d'osmose mais une membrane de microfiltration, la pression utilisée pour ce test est très inférieure aux pressions appliquées en OI et les essais sont effectués en mode frontal et non tangentiel comme en OI [45].

II.14. Le nettoyage des membranes:

Pour prévenir les problèmes de colmatages causés par les dépôts de tartre peut utiliser:

II.14.1 Nettoyage physique:

Ce nettoyage consiste à inversé le sens d'écoulement au travers de la membrane avec une pression dirigé du circuit de perméat vers le circuit de concentration.

L'efficacité de ce nettoyage dépend beaucoup d'une part de type de dépôt, et d'autre part de la fréquence et de l'amplitude des impulsions de la pression appliquée à contre-courant. [46]

II.14.2 Nettoyage chimique:

Ce nettoyage est important périodiquement pour la membrane et presque toujours pour débarrasser tous les dépôts précipités dans la membrane qui tendent à diminuer les performances qualitatives et quantitatives du système membranaire et afin de prolonger leur durée de vie et cette élimination obtenir à l'aide d'une circulation d'agent chimique de nature acide dans la membrane et de nature basique. [47]

II.15. Performance des membranes commerciales:

Le but d'utilisation de l'osmose inverse est pour dessaler l'eau de mer, c'est pourquoi, leurs performances sont données le plus souvent en prenant comme référence des solutions de Na Cl à des C égales soit à 3.5% (eau de mer).

Le taux de rejet ont fait des progrès considérables en passant de 98.6n% à 99.6% en 20 ans ce qui permet désormais de dessaler des eaux de mer même très salines comme celles du golfe en seul étage.

Les perméabilités aussi ont augmenté.

Des ordres de grandeur des perméabilités et des débits spécifiques calculés pour une pression efficace de 40 bars pour des membranes planes ou spirales. [38]

II.16. Les avantages et les inconvénients d'osmose inverse:

a. Les avantages:

- Haute sélectivité des membranes.

- Compacité et faible occupation de l'espace
- Faible consommation d'énergie (systèmes de récupération d'énergie)
- Entretien simple : pas de problème de corrosion et d'entartrage
- Faible cout des membranes (recherche et développement)

b. Les inconvénients:

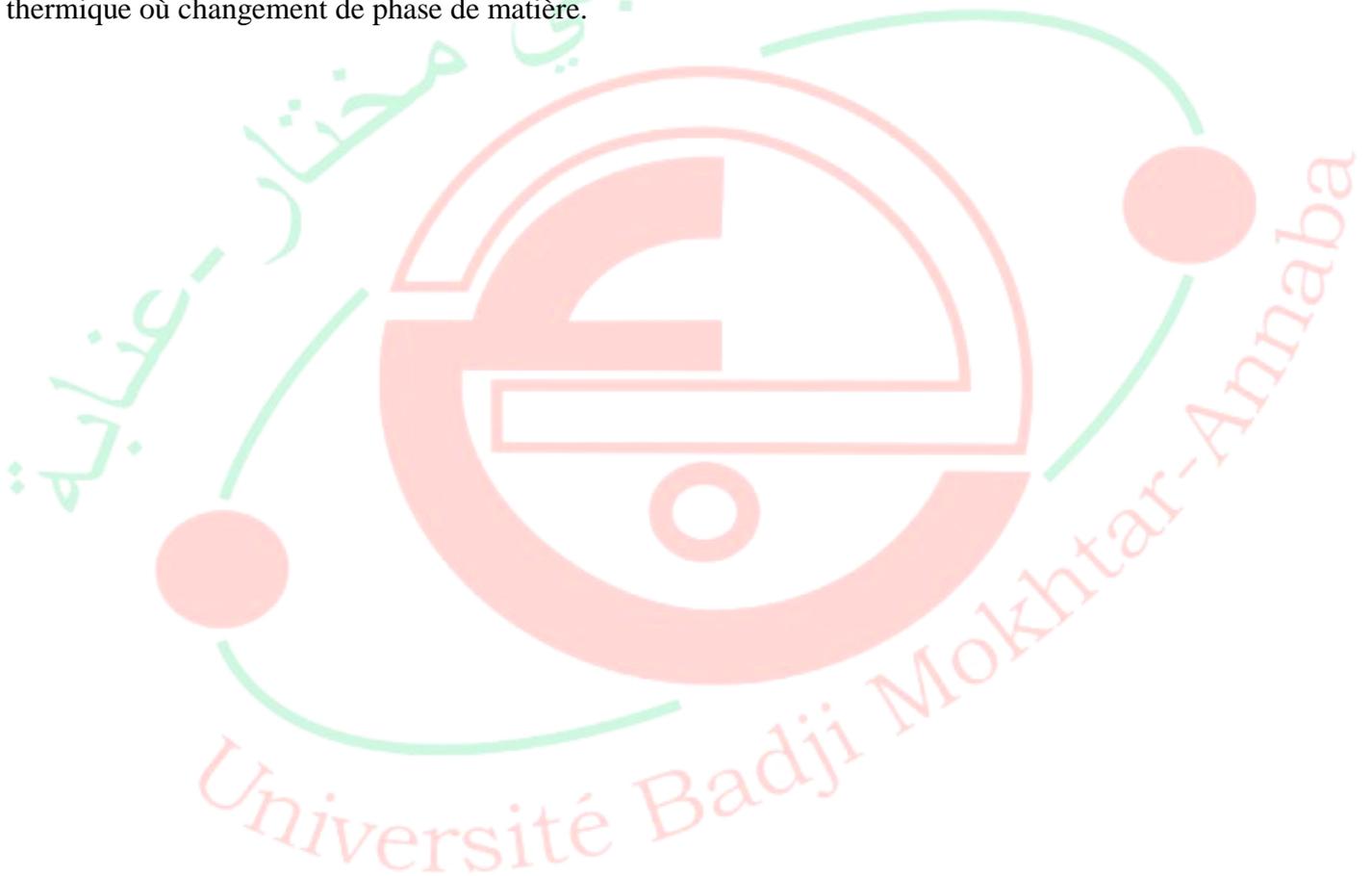
- Nécessite un prétraitement de l'eau assez poussé
- Problème de colmatage et de la durée de vie des membranes

II.17. Conclusion:

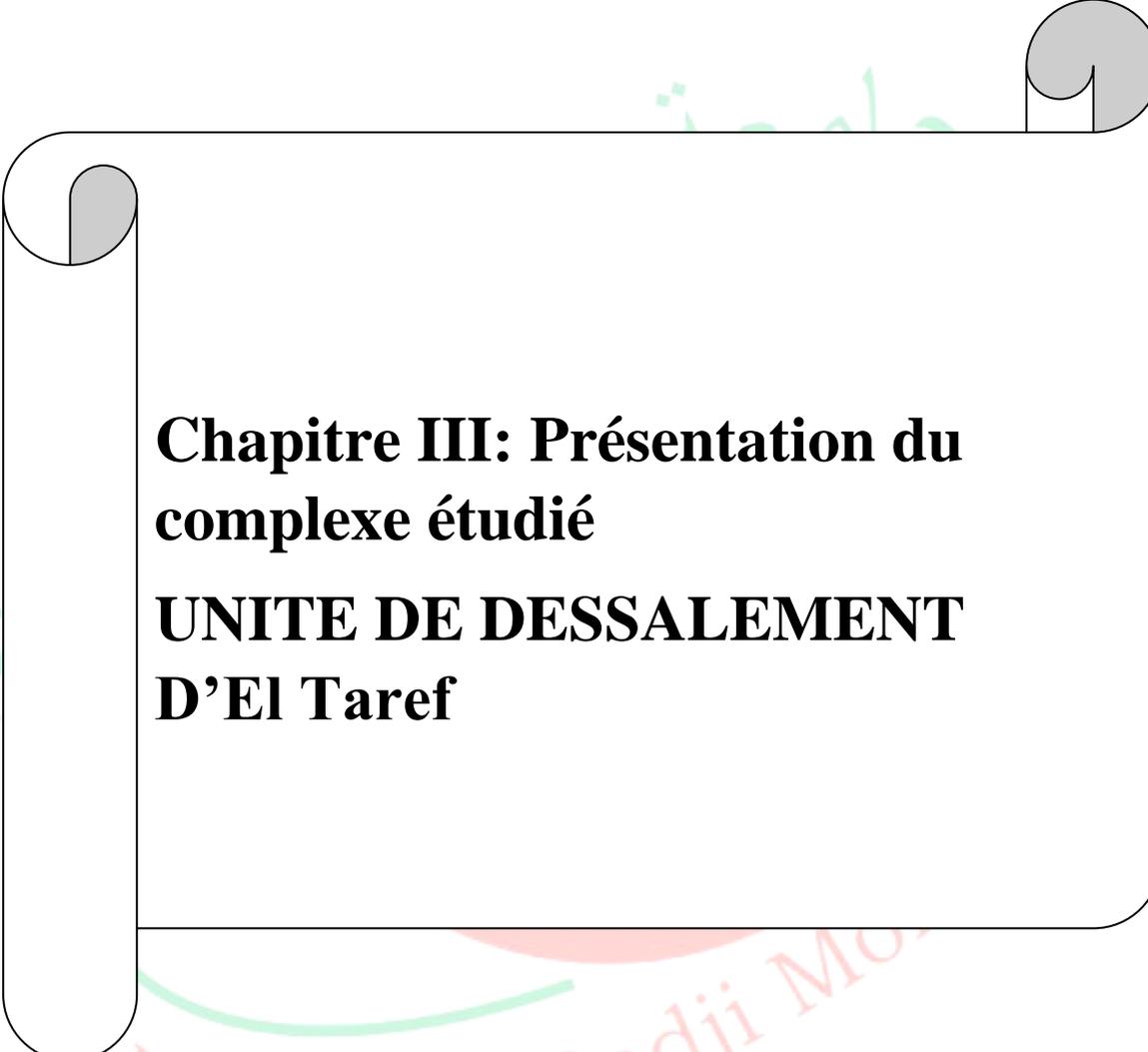
Le dessalement de l'eau de mer par osmose inversées la technologie la plus rependue et la plus durable à l'heure actuelle dans la plusieurs part des régions du monde.

L'application de ce procédé pour capter les sels qui est disponible dans l'eau brute et autre contaminât...

L'importance de cette membrane est son faible cout énergétique parce qu'il ne besoin pas une énergie thermique où changement de phase de matière.







**Chapitre III: Présentation du
complexe étudié**

**UNITE DE DESSALEMENT
D'El Taref**

III.1. Introduction:

Malgré que 71 % de la surface de la terre est recouverte d'eau, il y a seulement 3 % d'eau douce dans différents réservoir, et le reste (97 %) représente l'eau salée, qui conduit tôt ou tard à la pénurie d'eau, surtout avec le développement que connaît l'environnement économique, industriel et social. Cette situation oblige tous les pays du monde à chercher des sources d'eau fiable, et qui n'est pas soumise aux changements climatiques.

Alors, Cette logique oblige d'inscrire les stations de dessalement des eaux puisqu'elles permettent de produire de l'eau douce à partir de l'eau de mer ou d'eaux saumâtres grâce à des techniques particulières (L'osmose inverse), l'eau douce ensuite est utilisée pour des différentes utilisations le plus important c'est la production de l'électricité.

Le littoral de l'Algérie compte 21 stations de dessalement d'eau de mer réparties sur les 14 wilayas côtières et 2 autres en construction³, qui relèvent du Ministère des Ressources en Eau (MRE). Elles fournissent 17% de l'eau consommée dans le pays et alimente 6 millions de personnes avec un volume de 2.6 millions m³/jour.

L'Algérie est L'un des pays qui a imposé une croissance substantielle de la demande énergétique, c'est la cause pour laquelle les installations de production de l'énergie électrique sont en développement permanente tel que les énergies renouvelables, les centrales thermiques à cycle simple à turbine à gaz TG, ou à turbine à vapeur TV et les centrales thermiques à cycle combiné qui sont caractérisées par la combinaison de deux cycles simples ; un cycle à TG et un cycle à TV via une installation appelée chaudière de récupération de chaleur.

Une de ces centrales est installée à KoudietEddraouche (W) El Taref où on a eu la chance de faire notre stage de fin d'étude.

III.2. Situation géographique et présentation de l'entreprise:

La centrale électrique KoudietEddraouche, détenue à 100% à la Sonelgaz est située au bord de la mer méditerranée (36.885, 8.0778) au village Sebâa commune Berrihane, à la wilaya d'El Taref. Elle est limitée au Nord par la mer et au Sud par un projet de route. Le site a une superficie totale de 42 ha⁵⁰aet 45 ca, elle est limitée au Nord par la mer Méditerranée, au sud par un détachement militaire, à l'Est par le centre de vacance FOSC Sonelgaz, et l'ouest par des terrains vagues.



Figure (III.1): Localisation géographique de la centrale KoudietEddraouche.

La centrale de KoudietEddraouche a une capacité de production 1200MW, composée sur trois unités à cycle combiné single –shaft dont chacune a une puissance active 400MW.

La centrale a été construite par le Consortium General Electric et Iberdrola Construction, sous un contrat de réalisation « EPC » clé en main dans un délai de 48.5 mois, pour être mise en service industriel le 07 septembre 2013.

Depuis cette date, la centrale électrique de KoudietEddraouche joue un rôle important dans le secteur économique en général et le secteur énergétique en particulier, sa production en 2023 a atteint 4600 GWh.



Figure (III.2): Vue globale de la centrale.

III.3 Présentation de la centrale:

La centrale thermique à cycle combiné comprend trois (03) tranches single-shaft (mono arbre avec configuration TG- Alternateur -TV) de production d'électricité d'une puissance totale est d'environ 1200 MW.

Elles sont constituées notamment chacune d'une turbine à gaz de fabrication General Electric de type PG9371FB, d'une turbine à vapeur, d'un alternateur, d'un transformateur, d'une chaudière de récupération de chaleur, de leurs auxiliaires et annexes.

Les puissances totales nettes maximales de la centrale (Bornes Usine) aux conditions de site sont: 1147 MW au combustible principal « gaz naturel » et de 1077 MW au combustible de secours gasoil.

La centrale de Koudiet consiste:

- Un système d'alimentation en gaz naturel assuré par le gazoduc GK3 Ain Djasser (W.Batna)-KoudietEddraouche (W.ElTarf) à une pression moyenne de 56 Bars
- Poste de détente et comptage gaz « ERM »
- Station de traitement du gasoil
- Deux réservoirs de stockage du gasoil traité d'une capacité de 13791 m³ chacun et un réservoir du gasoil non traité d'une capacité de 600 m³.
- Une station de protection contre incendie dotée d'un réservoir d'eau d'une capacité de 2000 m³.
- Station de pompage et circulation eau de mer
- Station d'électro chloration pour le traitement biologique de l'eau de mer.
- Station de dessalement composée de deux dessaleurs de type MFS d'une capacité de production 12m³/h et deux osmoseurs de type inverse d'une capacité de production 20 m³/h.
- Deux réservoirs de stockage d'eau dessalée d'une capacité de 2700 m³ chacun.
- D'une station de déminéralisation de type lit-mixte d'une capacité de production 28 m³/h.
- Deux réservoirs de stockage d'eau déminée d'une capacité de 13 022 m³ chacun.
- D'une chaudière auxiliaire qui assure la vapeur d'étanchéité lors des démarrages.
- Station de production d'hydrogène nécessaire pour le refroidissement des machines.
- Station de production d'air comprimé nécessaire pour l'instrumentation et service.
- Station de traitement des effluents
- Un poste blindé d'évacuation de l'électricité à 400 KV ;
- Salle de contrôle commande par le système MARK VIe
- Ateliers de maintenance.

- Magasins pour les pièces lourdes et légères
- Magasins pour les produits chimiques
- Bâtiments administratifs et cantine.
- Trois unités à cycle combiné chacune est composée principalement de :
 - Un bloc de puissance composé d'un TG, TV et alternateur de configuration STAG 109FB
 - Un réchauffeur gaz
 - Un filtre à air
 - Une chaudière de récupération de chaleur HRSG
 - Cheminée
 - Un condenseur
 - Un poste de conditionnement chimique, prise d'échantillons et analyses.
 - Un transformateur principal et un autre de soutirage.

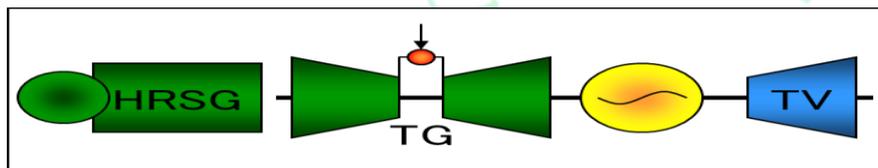


Figure (III.3): Configuration STAG.

III.4. Aperçu la station de dessalement de KoudietEddraouche:

La station de dessalement de la centrale est composée de deux unités de dessalement (unité de dessalement par les dessaleurs, dessalement par les osmoseurs de type inverse), qui ont comme but de produire de l'eau de service qui alimente les réservoirs d'eau dessalé et le réservoir d'eau anti incendie. Avant de procéder au dessalement de l'eau de mer, un prétraitement est nécessaire pour un bon fonctionnement, de l'unité de vue physique et chimique.

III.4.1 Les traitements de l'eau dans un cycle combiné:

a. L'aspiration et pompage d'eau de mer:

Dans La première opération, L'eau de mer est aspirée par des tours de captation de la mer méditerranée, et filtrés par des filtres mécaniques (Gilles et filtres rotatifs), ensuite pompée vers les condenseurs des tranches et la station de dessalement par six (06) pompes d'eau de mer verticales dont deux (02) pompes pour chaque tranche (2 x 50% pour chaque tranche).



Figure (III.4): Station de pompage d'eau de mer

➤ Les caractérisations des équipements principales :

- *Les batardeaux de la station de pompage (00PAB60-AB001 /1/2/3/4):*

Il y en a 4 pour permettre l'isolement d'une pompe, d'une ligne de filtration, ou de la station de pompage complète (22 positions possibles).

Chacun se compose de deux sections, la supérieure et l'inférieure.

Les batardeaux doivent être en mesure de supporter la différence de niveau maximale possible. avec une vanne d'équilibre de la pression des d'eaux cotés.

L'eau de mer est aspirée par des tours de captation de la mer méditerranée, après il doit filtrés (filtration mécanique) par des grilles fixes et des filtres rotatifs.

- **Les Grilles fixes (11 /21/PAB11/12-AT001) :**

Il y en a six. C'est la deuxième filtration après la grille de la prise. Ce sont des filtres qui permettent de retenir les particules solides présentes dans l'eau de mer, telles que les algues, les sédiments et les débris. Ils sont souvent utilisés en amont des autres processus de traitement pour prévenir l'encrassement des équipements.

La perte de charge à travers des grilles doit être limitée à 2 cm (propre), le vide du maillage est limité (50mm) et les grilles doivent être capables de supporter 1 m de différence de niveau). avec un dégrilleur automatique.

- **Les filtres rotatifs (11 /21/31PAB11/12-AT002) :**

Il y en a six. C'est la dernière filtration avant les pompes. Les filtres rotatifs sont conçus pour éliminer les particules fines et les matières en suspension de l'eau de mer. Ils utilisent un filtre rotatif avec des mailles filtrantes pour piéger les impuretés tandis que l'eau propre passe à travers.

La perte de charge à travers les grilles doit être limitée à 5 cm (propre), le vide de maillage est limité (10mm).

- **Les pompes de circulation :**

Il y en a six pompes, deux pour chaque tranche.

L'eau pompée est nécessaire pour la demande de travail des autres systèmes (système de refroidissement des composants, poste de dessalement, poste d'électro chloration, système de nettoyage ...).

L'utilisation des pompes est nécessaire pour acheminer l'eau de mer jusqu'à l'usine, ils sont installés à la surface. La pression de l'eau doit être augmentée à chaque étape pour atteindre une pression suffisante permettant de pousser l'eau de mer jusqu'à l'usine de dessalement.

➤ **Le traitement biologique (Station d'électro-chloration) :**

L'eau filtrée passe par le skid d'électro-chloration formé par quatre cellules et un séparateur de gaz.

Le traitement biologique se fait par la station d'électro-chloration qui a pour objectif de produire une solution d'hypochlorite de sodium (eau de javel) à partir de l'eau de mer par un procédé électrochimique d'électrolyse partielle du chlorure de sodium contenu dans l'eau de mer, réalisé avec des électrodes alimentées par un courant continu. Ce courant est fourni par le transfo-redresseur pour 5000 A.

Le produit final « NaClO » est utilisé pour le traitement biologique (injection) (Algues, moules, etc....) avec des doses comme suit :

➤ Dans les fosses d'aspiration des pompes de circulation

- Dosage continu de 2mg/l.
- Dosage de choc de 5mg/l pendant 15 minutes, 4 fois par jour.

- Dans les prises d'eau : Dosage en choc 5mg/l pendant 15 minutes, 4 fois par jour.



Figure (III.5) : station d'électro-chloration.

III.4.2 Dessalement d'eau de mer par les dessaleurs de type TVC 3-360:

L'eau de mer fournie en entrée de l'installation (eau d'alimentation) est d'abord traitée avec une solution de dé chloration, du bisulfite de sodium, avant d'être filtrée puis pompée jusqu'aux 2TVC. Un unique flux d'eau de mer pénètre dans chaque TVC puis se divise en deux: Un des flux se divise à nouveau en deux, l'un pour le refroidisseur de distillat et l'autre pour le refroidisseur de condensat. (Voir Annexe 03)

L'autre flux passe par le dernier condenseur qui fait partie intégrante de la cuve d'évaporation.

L'installation utilise le procédé à triple effet avec ré-compression thermique de la vapeur. La vapeur produite dans l'effet 1 chauffe l'effet 2, celle produite dans l'effet 2 chauffe l'effet 3 et enfin la vapeur produite par ce dernier alimente le dernier condenseur. Elle se compose de:

- Un Circuit de vapeur motrice
- Un Circuit du condensat
- Un Circuit d'eau distillée
- Un Circuit de saumure
- Un Circuit d'expulsion de l'air



Figure (III.6): Station de dessalement de type TCV 3-360.

III.4.3 Le processus de dessalement par l'osmose inverse appliquée dans la central (SKE) :

La station à osmose inverse est composée de deux conteneurs de 40', chacun est composée de deux étapes de dessalement SW / IW pouvant livrer 250 m3/jour.

La station utilise une technique de purification de l'eau qui se base sur l'utilisation des membranes semi-perméable (8 membranes pour chaque cuve sous pression pour la première étape et 6 membranes pour chaque cuve de pression de la deuxième étape). Pour éliminer les impuretés et les solutés indésirables de l'eau. Dans ce processus, l'eau est forcée à travers les membranes sous pression, ce qui permet de séparer les molécules d'eau des contaminants. Les membranes ne laissent passer que les molécules d'eau, tandis que les

impuretés sont retenues de l'autre côté. Cela permet d'obtenir de l'eau purifiée de haute qualité, idéale pour être déminéralisée par la suite. (Voir Annexe 04, 05)

Les usines de dessalement sont installées en parallèle et installées en aval du système de prétraitement.

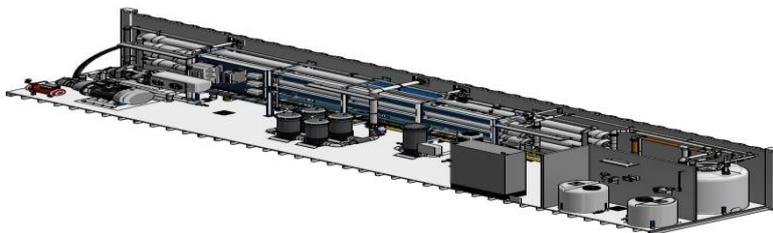


Figure (III.7): Station de dessalement de type osmose inverse.

Le processus de dessalement d'eau de mer par osmose inverse comporte quatre étapes principales:

- La captation de l'eau de mer
- Le prétraitement
- Filtration membranaire par l'osmose inverse et récupération d'énergie
- Le post-traitement
- Rejet

a. Type d'osmoseur utilisé dans la centrale (SKE) :

Les deux osmoseurs utilisés dans la centrale sont de la marque Culligan.

Ils sont rangés en deux étapes (4 cuves sous pressions pour l'étape 1 et 3 autres pour la deuxième étape).

Grâce à ce type d'osmoseur on obtient une qualité très bonne d'eau.

Les osmoseurs de la marque Culligan offrent plusieurs avantages par rapport à d'autres osmoseurs; ils sont réputés pour leur fiabilité, leur efficacité dans l'élimination des contaminants, et leur qualité de fabrication.

Cependant, en tant que produit spécialisé l'osmoseur Culligan est fabriqué en suivant des normes strictes de qualité et en utilisant des composants de haute qualité pour assurer leur efficacité dans le traitement d'eau à l'industrie.



Figure (III.8): Osmose inverse (unité de koudietEddraouche).

b. description de l'installation de l'usine (les équipements qui constitue une installation de dessalement d'osmose inverse):

Le système de dessalement First Step c'est-à-dire la phase de prétraitement, est également équipée des composants suivants:

- Dosage antitartre composé du réservoir CT01, avec signal de niveau minimum LS01-L, pompe doseuse DP01, avec contrôle du débit par le capteur de débit FS01 relié à la machine de dosage
- Dosage de métabisulfite (déchloration) constitué du réservoir CT02 avec indication de niveau minimum LS02-L, avec contrôle de débit à travers le capteur de débit FS02 relié à l'unité de dosage raccordée directement à la pompe doseuse DP02
- Filtration sur cartouche MF1/MF3 5 microns, équipée d'un manomètre, pour la vérification de la perte de charge PI0-P03, P02-P04
- Filtration sur cartouche MF2/MF4 1micron, équipée d'un manomètre pour la vérification de la perte de charge PI07
- Instrument d'analyse pour mesurer la valeur redox avec l'alarme de niveau haut AIT01-H, y compris l'électrovanne de fermeture SV03, installée en aval de l'électrovanne SV01 et avant la pompe P01
- Instrument d'analyse pour mesurer la valeur de conductivité installée sur la ligne perméat AIT01

La première étape de dessalement, alimentée par le système de prétraitement, présente en amont, elle est composée de la pièce standard suivante :

- Système de dosage antitartre, composé de la pompe de dosage DP01 et du réservoir CT01
- Système de dosage réducteur, composé de la pompe de dosage DP02 et du réservoir CT02
- Système de filtration à cartouche composé de quatre filtres (5-1 microns) MF01-02-03-04
- Analyseur RX AIT01
- Analyseur de conductivité AIT02
- Pompe volumétrique à haute pression P01 avec régulation du débit à l'aide de l'onduleur VFD1
- Récupérateur d'énergie PE01, pour supporter la pompe P01, avec régulation du débit au moyen de l'onduleur VFD02
- 3 indicateurs, pour afficher les flux d'entrée de la pompe haute pression FI01, entrée du système de récupération FIT02, sortie du perméat FIT03
- 5 capteurs de pression pour le contrôle de la pression d'alimentation de la pompe haute pression PT01-L, de la pompe haute pression PT02-H , du perméat PT03-H , du rejet PT04 , de la décharge du récupérateur d'énergie PT05-h /L
- Electrovanne SV01 pour l'alimentation du système en eau brute ;
- Electrovanne SV02 pour alimenter le réservoir de rinçage T01
- Electrovanne SV03 pour l'alimentation de la sonde AE01 du RX METRO AIT 01 ;
- Indicateur de température TI01 à l'entrée de la pompe haute pression ;
- 4 cuves sous pression PV01-04, avec 8 modules osmotiques.
- Recirculation de pression du perméat
- Réservoir de rinçage T01
- Pompe de nettoyage P02
- Filtre à cartouche (20 microns) MF05

La deuxième étape de dessalement est alimentée par le perméat de la première étape, elle est composée des parties suivantes:

- Electrovanne SV04 pour l'alimentation de la deuxième étape de dessalement
- Pompe centrifuge à haute pression P03
- 3 transmetteurs de débit, pour la visualisation des débits de recirculation FIT04, sortie du perméat FIT05, rejet du FIT 06

- 2 capteurs de pression, pour contrôler la pression fournie à la pompe P03 au moyen du capteur PT06-L, sur la ligne de perméat au moyen du capteur PT08-H 7, sur le rejet PT09
- 3 cuves sous pression PV06-08, avec 6 modules osmotiques
- Analyseur de conductivité AIT 03

c. les caractéristiques des membranes utilisées dans la station de dessalement par osmose inverse :

La centrale utilise la technique d'osmose inverse à base membranaire; c'est-à-dire le rôle des membranes est très important pour la purification d'eau mer.

Parmi les membranes qui existent dans la centrale on a:

- ✚ La Membrane FILMTEC SW30HR LE-400i Seawater Reverse Osmosis
- ✚ La Membrane DOW FILMTEC ECO PRO-440i Elément
- ✚ La membrane de la marque LG BW 400 ES
- ✚ La Membrane de la marque LG BW 400 R
- ✚ La Membrane de la marque LG SW 400 ES

Le choix du type de membrane d'osmose inverse dépend des caractéristiques de l'eau à dessaler et de la quantité d'eau à traiter, en fonction des besoins et des demandes de l'industrie

Les membranes utilisées dans le processus d'osmose inverse de KoudietEddraouche sont de surface élevée de la marque FILMTEC SW30HR LE-400i. Elles sont fabriquées en polyamide aromatique et sa configuration est spirale .les membranes sont rangées ensemble de sept unité (32 membranes pour la première partie et 18 membranes pour la deuxième partie de dessalement).



Figure (III.9): la membrane de la marque FILMTEC SW30HR LE-400i.

Les membranes FILMTEC SW30HR LE-400i RO produisent l'eau de haute qualité (rejet élevé) et un faible coût total d'eau pour le dessalement de l'eau de mer.

Elles offrent des performances élevées tout au long de sa durée de vie sans utiliser de post-traitements oxydants et fournit un rejet élevé de Na cl et de bore pour aider à répondre aux normes de l'organisation mondiale de la santé (OMS) et d'autre normes potables.

Les membranes de cette marque sont livrées avec des embouts de verrouillage uniques iLEC TM qui réduisent les coûts d'exploitation du système et aussi le risque de fuites de joints toriques qui causent une mauvaise qualité de l'eau.

c.1. informations importantes sur le fonctionnement de membranes de cette marque :

Un bon démarrage des systèmes de traitement de l'eau par osmose inverse est essentiel pour préparer les membranes pour le service opérationnel et pour éviter les dommages de membrane dus à une

suralimentation ou à un choc hydraulique, la suivie de cette séquence permet également d’assurer que les paramètres de fonctionnement du système sont conformes aux spécifications de conception afin que la qualité de l’eau du système et les objectifs de productivité puissent être atteints.

Lors du démarrage il est recommandé d’éviter tout variation de pression ou d’écoulement transversal sur les éléments en spirale (démarrage, arrêt, nettoyage) ou d’autres séquences ; le passage progressivement d’un état d’arrêt à un état de fonctionnement comme suit :

- La pression d’alimentation doit être augmentée progressivement sur une période de 30 à 60 secondes.
- La vitesse d’écoulement transversal au point de fonctionnement défini doit être atteinte progressivement sur 15 à 20 secondes.
- Le perméat obtenu dès la première heure de fonctionnement doit être jeté.

Tableau III.1: Les caractéristiques des membranes d’unité.

Produit	Numéro d'article	Zone active		Pression de service maximale		Débit de perméat		Rejet de bore Stabilisé	Rejet minimum de sel	Rejet de sel stabilisé
		ft 2	(m2)	Psig	bar	GPD	M3/d	%	%	%
SW30HR LE-400i	246512	400	37	1.200	83	7.500	28	92	99.65	99.8

c.2. Les avantages d’osmoseur de la membrane de la marque SW30HR LE-400i :

Parmi les avantages de ce type de membrane d’osmose inverse:

- ✓ Efficacité d’élimination des contaminants et des sels dissous de l’eau avec une production d’eau à haute qualité.
- ✓ Permet aux systèmes d’être conçu et exploité pour optimiser les coûts d’exploitation grâce à faible consommation d’énergie ou d’optimiser le coût en capital grâce à une productivité accrue au flux d’exploitation plus faibles.
- ✓ Rejet de Na Cl et de bore élevé afin de rencontrer (OMS) et d’autres normes de l’eau potable.
- ✓ Utilisation efficace en imprègnent les systèmes de dessalement de l’eau de mer mise en scène sans nuire à la performance de la scène en aval.
- ✓ Hautes performances sur la durée de vie sans l’utilisation de post-traitements oxydatifs. C’est une des raisons DOW FILMTEC éléments sont plus durables et peuvent être nettoyés plus efficacement à une vaste gamme de pH (1-13) que les autres éléments RO.
- ✓ Automatisé, fabrication de précision avec un plus grand nombre de membrane plus courte laisse réduire l’effet d’ensemble encrassement et maximisant l’efficacité élément, aidant à réduire vos coûts de fonctionnement.

c.3 Les limites de fonctionnement:

Pour certain membrane il existe des limites pour son travail; parmi les limites des membranes utilisées Dans le processus de dessalement de la centrale:

- ✚ Dans certaines conditions, la présence de chlore libre et d'autres oxydants entraînera une défaillance prématurée de la membrane, Elle peut entraîner l'arrêt du fonctionnement de la membrane ; il est donc conseillé, avant utilisation, d'installer un prétraitement pour les éliminer.

Cela aide à maintenir les performances des membranes d'osmose inverse et aussi prolonger sa durée de vie.

Tableau III.2: Limites de fonctionnement.

Type de membrane	Polyamide spiralée composite couche mince
Température maximale de fonctionnement	45°C - 113°F
Pression maximale de fonctionnement	69 bars – 1000 psi
Perte de charge maximale	1.0 bar – 15psig
Débit d'alimentation maximal	3.6 m ³ /h – 16gpm
Gamme de pH en fonctionnement continu	2 à 11 (si > pH10 max.temp=35°C)
Gamme de pH en nettoyage de courte durée	1 à 13
Indice de colmatage d'alimentation (valeur maximale)	SDI 5
Tolérance au chlore libre	< 0.1 ppm



Figure (III.10): La membrane composite à module spirale.

Les membranes FILMTEC mettent en évidence une conception enroulée en spirale et sont centrées sur la membrane en polyamide du composite à couche mince FT30 qui est déjà devenu la norme acceptée pour les

performances d'osmose inverse. La membrane FILMTEC standard est composée de 3 couches roulées en spirale):

Une feuille barrière en polyamide ultra-mince (0.2 microns), une couche intermédiaire de poly sulfone microporeux et une bande de support en polyester extra-solide. Ces membranes RO ont été modifiées et optimisées régulièrement pour offrir un rejet plus élevé, un flux de membrane accru et une efficacité d'encrassement minimale. Les membranes Film tec actuelles sont exceptionnelles de termes d'efficacité et de durabilité, sans les défauts enveloppés ou attachés qui peuvent conduire à la défaillance d'autres membranes. Une compréhension et une mise en œuvre satisfaisante des principes fondamentaux de l'osmose inverse atténueront les pièges potentiels problématiques et coûteux.

Une membrane FILMTEC est utilisée pour augmenter considérablement le rendement du système de l'unité, améliorer la qualité de l'eau produit avec une prolongation de la durée de vie des éléments productifs dans le système d'osmose inverse de KoudietEddraouche.

Les membranes d'osmose inverse utilisées dans le processus de dessalement de KoudietEddraouche FILMTEC sont présentées en module spirale.

d. Description et fonctionnement normal des installations des procès Système de prétraitement Avant osmose inverse:

L'eau de mer doit être plus ou moins prétraitée selon le type de captage et les caractéristiques physico-chimiques de l'eau.

C'est la deuxième étape du processus de dessalement après sel du captage d'eau de mer dont le but d'éliminer:

- Les matières en suspension
- Les matières organiques
- Les micro-organismes (bactéries)

D'autre manière Le prétraitement est installé pour le but d'éviter l'encrassement, l'entartrage des membranes par les sédiments, élimination des oxydants (chlore).

Le Système de prétraitement comprend 3 sous-systèmes à savoir un sous-système de conditionnement chimique, un sous-système de filtration, un sous-système de microfiltration.

d.1. Conditionnement chimique:

Le conditionnement de l'eau est réussi par l'ajout des suivants réactifs il peut s'effectuer au niveau de la tour de captage d'eau ou après refoulement des pompes à eau de mer ainsi qu'à la sortie des filtres.

Bien que le développement technologique de l'osmose inverse ait permis de réduire l'utilisation de produits chimiques; il est encore courant de doser ces derniers avant de lancer le procédé afin d'éviter tout dépôt de sel sur les membranes lorsqu'elles fonctionnent à des taux de conversion élevés :

- Injection (Dosage) d'hypochlorite de sodium (eau de javel) ; injecter le chlore au niveau de l'eau salé avant et après la station de pompage, avant qu'il entre aux membranes d'osmose inverse pour le but de :
 - ✓ Désinfecter et stériliser l'eau de mer afin de limiter le colmatage biologique.
 - ✓ Stopper la prolifération des organismes vivants dans l'eau de mer.

La réaction se fait comme suit:



- Injection dosage d'un réducteur (métabisulfite de sodium ou le bisulfite de sodium $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$) : l'utilisation du bisulfite de sodium permet d'éliminer les traces de chlore contenu dans l'eau de mer avant son arrivée aux membranes d'osmose inverse, évitant leur détérioration par oxydations, car les membranes sont des matières organiques. L'addition s'effectue avant et après la microfiltration (à cartouche).
- Injection d'antitartre (antitartre) : à la base acide carboxylique pour éviter l'entartrage des équipements. (chaîne démine multiligane (formation de tartre)). Chaîne de mine (non commerciale ; multiligane).

Ils ont constitué avec des pompes qui facilitent le passage de l'eau par gravité pour l'alimentation de la première étape de processus de dessalement.

d.2. Sous système de filtration:

La filtration Permet l'élimination des matières en suspension ainsi que les gros débris et d'atténuer la turbidité.

La fonction du sous système de filtration est d'éliminer les flocons formés par les systèmes de coagulation-floculation et les matières en suspension de l'eau de mer pour protéger et améliorer la performance du système d'osmose inverse.

- **filtration sur sable** : avec des dimensions de gravier et à sable. Les matières >20 microns
- **filtration charbon bicouche** : éliminer les matières en suspension qui sont >20 microns c'est à dire éliminer les impuretés.

Au cas où ces filtres s'encrassent et perdent de leur efficacité au fur et à mesure qu'ils sont utilisés et qu'ils retiennent des matières solides; ils doivent donc être régulièrement lavés à contre-courant.

d.3. la microfiltration : filtration sur cartouche les matières < 20 microns.

L'eau passe à travers des cartouches de microfiltration (multi cartouches) de 5 micromètres, qui retiennent les particules potentiellement nuisibles pour les membranes. Il faudra respecter scrupuleusement la fréquence de changement des cartouches. Celles-ci ne devront pas être nettoyées ni réutilisées.

Les filtres à cartouches constituent un système de sécurité supplémentaire installé avant des pompes et des membranes d'osmose inverse pour assurer leur protection en retenant les microparticules qui ont dépassé les étapes de prétraitement précédentes.

On a deux types pour le cas de notre étude de la centrale de KoudietEddraouche:

- 2 Filtres ochbane à cartouche pour une taille de filtration de 5 microns pour l'élimination des impuretés.
- 2 Filtres ochbane à cartouche pour une taille de filtration de 1 micron pour l'élimination plus fine des impuretés.
- **Les caractéristiques des filtres à cartouche :**

Les filtres à cartouches utilisées dans l'unité d'osmose inverse sont de séries HPCF produit en PVC-U pour chaque filtre on a 9 cartouches de filtration.

Ils sont placés horizontalement dans des boîtiers pour le but d'éliminer les petites particules et aussi éliminer les produits chimiques qui existent dans l'eau, les filtres à cartouche durent habituellement jusqu'à un an selon la quantité d'eau entrée.



Figure (III.11): Les filtres à cartouches.

Les filtres multi-cartouches en PVC-U sont pour cartouches DOE de diamètre intérieur 28 /30 mm et de diamètre extérieur 65 /70 mm ; pour des longueurs de cartouches de 20", 30" et 40".



Figure (III.12): Dimension des filtres.

- ✚ L'utilisation de PVC-U pour le matériau interne et les pièces internes du boîtier de filtre est un excellent choix pour une résistance élevée à la corrosion chimique ; ce type de matériau est connu par sa durabilité et sa résistance à divers produits chimiques, ce qui en fait une option fiable pour garantir la longévité et l'efficacité du système de filtration.

e. Les conditions pour un bon prétraitement d'eau de mer avant l'osmose inverse:

La qualité de l'eau fournie par le prétraitement doit respecter les valeurs limites à l'entrée de l'osmoseur :

- SDI < 3
- CHLORE LIBRE : 0.5-1 ppm
- Turbidité : < 1 NTU
- COULEUR : ABSENT
- TEMPERATTURE : MAX 35 °

f. description de procédé d'osmose inverse et le système de récupération d'énergie:

Le prétraitement de l'eau de mer est nécessaire pour éviter le dépôt de matières en suspension sur les membranes qui conduirait très rapidement à une diminution des débits produits.

f.1. Alimentation première étape:

Une fois que l'eau a été prétraité et avant d'entrer dans l'osmose inverse ; pour que le procédé d'osmose inverse se déroule efficacement l'eau doit être soumise a une pression suffisante ; pour cela il existe une pompe volumétrique à Haute pression , La fonction de système de pompage haute pression est d'impulser l'eau micro filtrée vers les châssis d'osmose inverse avec la pression nécessaire pour vaincre la pression osmotique en assurant la production du débit d'eau déminéralisée désirée. Approximativement 65% du débit d'eau micro-filtrée requis sera impulsé vers les châssis par les pompes haute pression cette pompe doit augmenter la pression d'une pression initiale 50bars à une pression de 70bars, en fonction de la

température et de la salinité de l'eau. Avec un débit d'eau de 26 m³/h ensuite il doit être pompé jusqu'aux tubes de pression de la première Étape où se trouvent les membranes (8 membranes en série).



Figure (III.13): La pompe à haute pression

Le procédé d'osmose inverse commence lorsque une pression est appliquée à l'eau de mer forçant le passage des molécules d'eau à travers les membranes, de manière tangentielle entre 45% à 50% de l'eau traverse la surface de ces membranes avant d'être acheminée vers le collecteur de perméat ou du produit. Les membranes utilisées sont de surface élevée de la marque FILMTEC. Elles sont fabriquées en polyamide aromatique et sa configuration est spirale. Les membranes sont rangées ensemble de huit unités (en série), dans un même tube de pression. De cette façon, l'eau brute pénètre axialement par une des extrémités de la carcasse traversant la membrane située en premier lieu. Après, l'eau passe au collecteur central qui occupe l'axe géométrique de la carcasse où elle est recueillie. L'eau de rejet arrive à la membrane suivante où le même phénomène a eu lieu et ainsi de manière continue jusqu'à la huitième élément. L'eau de rejet de ce huitième élément se ramasse dans l'autre extrême de la carcasse, est envoyé à l'extérieur.

Cette eau présente une faible concentration en sels ceux-ci ayant été rejetés par les membranes, à raison de 40%. (produit)

L'autre partie de l'eau 60% sort des tubes de pression qui soutiennent les membranes avec une grande quantité de sels tout en conservant une pression élevée (60bars) ; supérieure à celle de l'eau de mer. ce courant d'eau appelé saumure.

f.2. système de récupération d'énergie :

L'unité de dessalement présentée ici, fonctionne en deux étapes c'est-à-dire deux étapes de fonctionnement par osmose inverse. Le concentrat issu de la première étape (saumure) alimente la deuxième étape.

L'énergie contenue dans le courant de saumure sous forme de pression doit être récupérée par un système de récupération, cette opération est obligatoire pour des raisons énergétiques-économiques.

L'énergie récupérée est exploitée par des dispositifs de récupération d'énergie qui permettent ainsi de réduire la consommation totale du procédé de dessalement.

Il existe des différents dispositifs parmi les dispositifs utilisés dans la station de dessalement de KoudietEddraouche (turbines) qui est basé sur les chambres isobares où l'énergie potentielle sous forme de pression de la saumure est transmise au même volume d'eau de mer à dessaler avec un rendement supérieur à 95%.

L'eau de mer sortant du récupérateur d'énergie n'a pas la même pression que l'eau de mer sortant directement de la pompe à HP. Donc il est nécessaire de procéder à un pompage supplémentaire au moyen d'une pompe booster afin d'égaliser la pression d'alimentation des deux flux d'entrée dans les tubes de pression.



Figure (III.14): La Pompe de récupération d'énergie.

La saumure (faible énergie) après sort de l'équipement à base pression; à l'aide d'un moteur électrique et rejetée en mer.



Figure (III.15) : Moteur électrique.

f.3. Alimentation de la deuxième étape:

Le produit de la première étape vient dans le back de rinçage (eau dessalé) .la vanne doit alimenter pompa HP qui alimente la deuxième étape, pour augmente ainsi le rendement globale de production à 75 %-90 %. La conductivité va diminuer à une valeur de 700 -600 mg/l de sa valeur initiale de 35 000 – 38 000 mg/l.la production vient dans le stockage.

Le rejet de cette étape est l'alimentation de la première étape après.

Le back de rinçage au but de rincer les membranes (éliminations de sel), il contient une pompe horizontale (pompe de nettoyage).



Figure (III.16): pompe de nettoyage.

j. Post de traitement:

Le procède de dessalement ce termine par une étape de post-traitement.

A la fin du processus d'osmose inverse l'eau osmotique doit être reminéralisée pour diminuer l'agressivité de l'eau (eau corrosive) et atteindre les valeurs d'alcalinité, dureté, pH, indice de lange lié, la teneur en Calcium et MTD garanties pour être stable et homogènes en vue de la distribution ultérieur de l'eau. L'eau osmotique de chaque ligne d'osmose inverse est conduite vers le ré minéralisation à travers de collecteurs indépendant. Ce traitement se fait à l'unité PTE.

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.

Une fois l'eau reminéralisée, il est destiné à la consommation humaine et les différentes utilisations dans l'industrie.

g. 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 (acides citriques) (pour les dépôts de carbonate de calcium, d'hydroxydes métalliques) et basiques (pour les dépôts biologiques et bactériens)

Autour de fonctionnement des membranes d'osmose inverse et après un temps paramétrable des signes sont détectés par les instruments, ces derniers nous informent qu'il est obligé de rincer les membranes. Le rinçage fait automatiquement par le réservoir de nettoyage.

Si nécessaire en raison du colmatage des membranes dû aux substances organiques ou à la précipitation des sels, il sera nécessaire de laver les membranes.

- Rinçage comprenant le réservoir de rinçage et de nettoyage T01 avec les interrupteurs de contrôle de niveau LS (H / L/ LL) ' électrovanne SV 02 avec by-pass manuel, pompe p02 dédiée, cartouche filtrante MF5 1/5 micron équipée d'un manomètre pour la vérification de la perte de charge PI05.

La fiabilité de fonctionnement et la durée de vie des systèmes d'osmose inverse dépendent de la qualité du prétraitement mise en œuvre dans la filière global.

Conclusion :

L'eau douce produit par le processus de dessalement mise en réseau pour la consommation industriel et humain après une soumission des contrôles de qualités analytiques très stricts dans le but d'assurer de respecter les critères techniques et sanitaires, enfin l'eau est distribué à l'industrie au moyen de réseaux hydrauliques et de système de pompage.

Il convient de traiter avec précaution la problématique liée à ces rejets, car le volume de saumure produit par litre d'eau dessalée, ainsi que la teneur en sels, dépend de la technique de dessalement employée et de la composition saline de l'eau utilisée.

Pour évaluer le fonctionnement du procédé adopté par la station de dessalement de koudiet Eddraouche, on a effectué des analyses physico-chimiques de l'eau produite par la station.

Pour cela on a fait un prélèvement d'eau produite durant le mois Février, Mars de l'année 2024.



جامعة بادي Mokheba

Chapitre IV:
Partie expérimentale
**“Suivie la qualité d’eau fournie par les
deux étapes d’osmose inverse”**

جامعة بادي Mokheba

Université Badji Mokheba

IV.1. Introduction:

L'osmose inverse est une technique de séparation par membrane dense dont la force motrice est un gradient de pression. Ce procédé peut être défini comme un procédé de séparation en phase liquide par perméation à travers une membrane semi-perméable.

La centrale de Koudiet Eddraouche utilise ce type de dessalement qui est le dessalement de l'eau de mer par la membrane d'osmose inverse comme on dit avant.

On a fait une étude physico-chimique de la qualité d'eau douce produit par les deux osmoseurs de type inverse de la centrale de Koudiet Eddraouche, les osmoseurs sont de la marque Culligan.

IV.2 Objectif (but d'expérience):

L'objectif de ce chapitre est de faire une suivie de la qualité d'eau obtenue au niveau de l'unité d'osmose inverse de la centrale de Koudiet Eddraouche.

Le but essentiel de la présente étude est le suivi et contrôler la qualité d'eau produit (eau de sortie) afin de vérifier le bon fonctionnement de l'osmose inverse durant notre période de stage.

L'étude consiste à faire des analyses de débit, conductivité, température, pH et turbidité.

Nous avons organisé ce travail expérimental de la façon suivante :

- Une première partie : concerne à étudier les caractéristiques de l'eau de mer à l'entrée d'osmoseur (eau de mer).
- Une deuxième partie : concerne à discuter de l'échantillonnage et son intérêt pour obtenir des mesures fiables et précises.
- Une troisième partie : consiste à détailler les techniques analytiques utilisées dans le présent travail.
- Une dernière partie : considère comme l'essentiel de ce mémoire, consiste à faire une analyse physico-chimique sur les échantillons prélevés, durant notre période de stage, et discuter les résultats.

IV.3 Les Caractéristiques de l'eau de mer à l'entrée d'osmoseur:

Le système de traitement d'eau proposé a été conçu pour traiter l'eau avec les caractéristiques mentionnées sur l'analyse de l'eau reçue ci-dessous. Tout paramètre non mentionnée a été supposé inférieure à sa limite pour l'eau potable comme indiqué par les directives de l'OMS.

Le système produira $2 \times 21.6 \text{ m}^3$ / d'eau osmosé.

Les SDI de l'eau d'alimentation de ces deux unités doit être impérativement à 3 (SDI <3).

Toutes modifications dans les paramètres de l'eau d'alimentation signifiant un changement dans la conception du système.

En conséquence Aquatec Culligan se réserve le droit de modifier l'offre en conséquence.

La lecture de la conductivité de l'eau de mer est d'environ $52\text{-}55 \mu\text{s/cm}$.

Tableau VI.1: Composition de l'eau de mer à l'entrée d'osmose inverse.

Valeur du PH	8.10	
Total des solides en suspension (TSS)	6	ppm
Matières dissoutes totales (MDT)	40 000	ppm
Sulfate	2943.20	ppm de SO_4^{2-}
Chlorure	21 842.58	ppm de Cl^-
Bicarbonate	154.28	ppm de HCO_3^-
Fluorure	1.30	ppm de F^-
Brome	0.00	ppm de Br^-
Iode	0.00	ppm de I^-
Calcium	443.29	ppm de Ca^{2+}
Magnésium	1506.00	ppm de Mg^{2+}
Potassium	415.76	ppm de K^+
Sodium	12 043.14	ppm de Na^+
Silice	2.90	ppm de SiO_2
Baryum	0.0	ppm de Ba^{++}
Masse volumique à 20 °C.	1024.5	kg /m ³

VI.4 Echantillonnage des eaux:

Le bon fonctionnement de diverses installations industrielles est le résultat d'une analyse chimique performante avec un prélèvement et une préparation adéquate des échantillons. Aussi, l'interprétation avec précision des différentes valeurs joue un rôle primordial dans ce bon fonctionnement. L'objectif de l'échantillonnage est de:

- réduire les erreurs afin d'obtenir un résultat de haute précision pour un effort analytique particulier,
- obtenir des prélèvements représentatifs de l'élément que l'on désire analyser.

Par ailleurs, un plan d'échantillonnage est toujours important à effectuer et constitue un compromis entre les informations recherchées et le coût nécessaire pour l'acquérir. Dans le cas de nos prélèvements, nous avons respecté les détails pratiques de l'implantation avant de déterminer la position la plus sûre et la plus commode en vue d'un échantillonnage manuel.

VI.5 Matériau et transport des échantillons:

Nous avons pris deux échantillons d'eau produit un pour la première étape et l'autre pour une deuxième étape.

VI.5.1 Mode de prélèvement:

Les deux échantillons d'eaux ont été prélevés en vue de l'analyse physico-chimique. Le prélèvement d'un échantillon d'eau pour l'analyse physico-chimique est soumis à la procédure suivante:

- Le contenant doit être propre, mais ne doit pas être nécessairement stérilisé, nous avons utilisé des bouteilles en plastique de 500 ml et de 1 litre et parfois des bouteilles en verre qui sont au préalable rincées avec de l'eau distillée au moins trois fois.
- Il faut laisser couler l'eau à un débit maximal pendant 5-10 secondes et ensuite 2-5 minutes à débit moyen avant de prélever un échantillon.
- Ouvrir l'emballage, le remplir et le fermer immédiatement

Les bouteilles d'échantillonnage doivent être rincées plusieurs fois avec l'eau à prélever, afin d'éviter la dissolution ou l'évaporation de gaz. On laisse déborder largement, puis on bouche le contenant plein à ras bord. Les échantillons prélevés doivent être clairement identifiés. Chaque flacon doit porter une étiquette indiquant :

- Le site du prélèvement,
- Le lieu et la nature,
- La date et l'heure du début de prélèvement et sa durée.

Certains échantillons prélevés doivent impérativement être conservés à froid et à l'abri de la lumière, y compris pendant leur transport vers le lieu d'analyse.

VI.6 Techniques d'analyse d'eau:

Pour faire une étude qualitative de l'eau de mer traitée après le processus de dessalement, Une analyse sensorielle des propriétés physico-chimique constitue un des premiers indices de la Potabilité de l'eau traitée.

Les paramètres qu'on a pris en compte durant la présente étude sont: PH, température, débit de sortie, conductivité électrique et la turbidité.

VI.6.1 Mesure du PH

Le pH permet de mesurer l'acidité d'une solution, C'est la mesure de la différence de potentiel existant entre une électrode de verre et une électrode de référence plongeant dans une même solution. Le potentiel de l'électrode est lié à l'activité des ions H⁺. **(Voir Annexe 07)**

VI.6.2 La température (T)

Cette mesure de T° est effectuée sur les échantillons à l'aide d'un appareil multi paramètres (ORION 3 STAR) au niveau du laboratoire

VI.6.3 Détermination de la conductivité électrique

La conductivité est définie comme l'habilité d'une substance à conduire le courant (présence des ions), Elle représente l'un des moyens de valider les analyses physico-chimiques de l'eau, en effet des contrastes de conductivité mesurés sur un milieu permettent de mettre en évidence des pollutions, des zones de mélange. **(Voir Annexe 08)**

Pendant la période de notre stage au niveau de la centrale Utilités II, nous avons effectué des analyses physico - chimiques de l'eau à la sortie de l'unité de dessalement par osmose inverse. Les échantillons sont

prélevés à partir des vannes, mis dans une bouteille de plastique bien bouchonnée selon les directives des opérateurs de l'unité. Les analyses sont réalisées au niveau du laboratoire du complexe Koudiet Eddraouche.

VI.7 Les résultats de Mesure de la conductivité à la sortie de l'unité OI de Koudiet Eddraouche :

Les résultats d'analyse de l'eau à la sortie des deux parties d'osmose inverse (les deux échantillons prélevés) sont représentés dans le tableau suivant:

Tableau VI.2: Mesure de la conductivité en fonction de la température à la sortie de l'unité OI.

Qualité d'eau	La conductivité (µs/cm).
Eau de sortie de la première étape	24.64 µs/cm
Eau de sortie de la deuxième étape	22.39 µs/cm



Figure VI.1: Mesure de la conductivité d'une solution d'eau osmosé de la sortie de première étape.



Figure VI.2: Mesure de la conductivité électrique d'une solution de la sortie de deuxième étape (eau douce).

VI.8. Résultats et Interprétation :

VI.8.1 Conductivité électrique de sortie :

Les résultats de mesure de la conductivité électrique de la solution durant 05 jours sont présentés sur la figure VI.3.

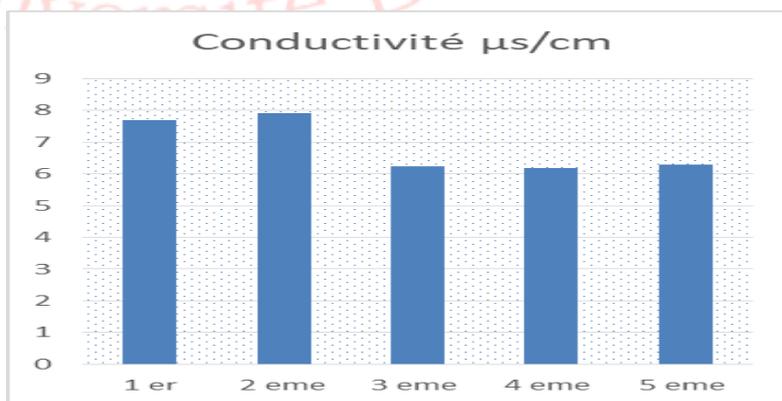


Figure VI.3 : Variation de la conductivité en fonction de temps.

Le graphe suivant représente la variation de la conductivité ($\mu\text{s}/\text{cm}$) par rapport au temps (jour), à la sortie de l'Aquatec02.

La conductivité est également en fonction de la température de l'eau, elle est plus importante lorsque la température augmente. Elle sert aussi d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau.

La conductivité permet de déterminer la présence de minéraux dans l'eau, qui sont néfastes à cette eau (spécialement aux membranes d'osmose inverse).

On voit que la conductivité diminue par rapport au temps se c'est signifie que la dissolution des sels est parfaite (élimination des sels qui existe dans l'eau).

Lorsque la conductivité de l'eau augmente, cela signifie qu'il y a une plus grande quantité de sels dissous dans l'eau. La conductivité de l'eau est une mesure de sa capacité à conduire un courant électrique, qui est principalement influencée par la présence de sels dissous tels que les ions sodium, chlorure, calcium, etc. Ainsi, une augmentation de la conductivité est souvent associée à une augmentation de la concentration en sels dans l'eau. Cependant, il est important de noter que d'autres facteurs tels que la température peuvent également influencer la conductivité de l'eau, même sans nécessairement diminuer la concentration des sels dissous.

VI.8.2 Le potentiel d'hydrogène (pH) de sortie:

Les résultats de mesure de pH de la solution durant 05 jours sont illustrés sur la **figure VI.4**.

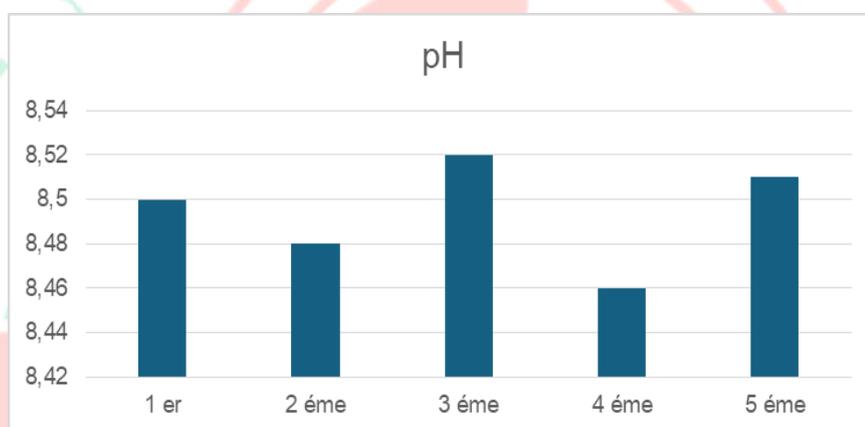


Figure VI.4: Variation du pH en fonction de temps.

Selon le graphe les valeurs de pH ne dépassent pas 8 dans toutes les échantillons sauf que le PH des échantillons de l'eau produite sont remarquables à cause de la phase de correction de PH par l'addition du (CaCO_3)

L'objectif de cette correction c'est l'ajustement du pH afin d'avoir une valeur conforme à la norme de potabilité de l'eau.

VI.8.3 La température de sortie:

Les résultats de mesure de la température de la solution durant 05 jours sont enregistrés sur la **figure VI.5**.

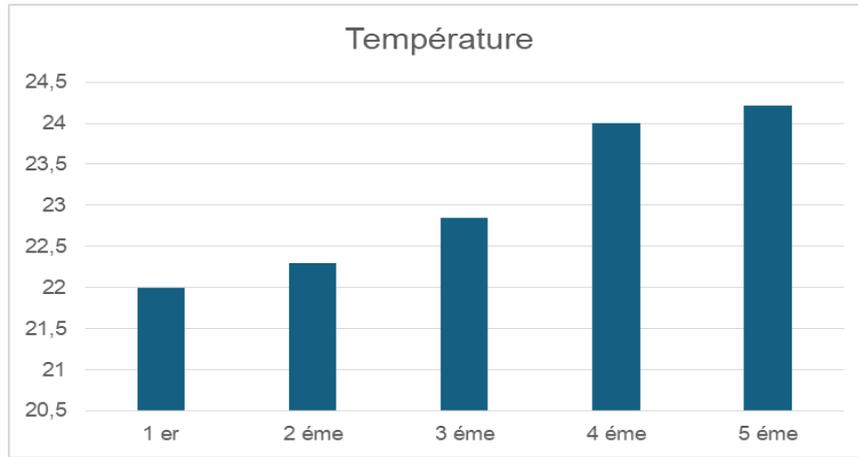


Figure VI.5 : Variation de la température en fonction de temps.

La figure représente une élévation progressive de la température de l'eau qui alimente les membranes, cela explique généralement au changement de la température ambiante après un certain temps elle reste constante.

VI.8.4 La turbidité de sortie:

Les résultats de mesure de la turbidité de la solution durant 05 jours sont présentés sur la figure VI.6.

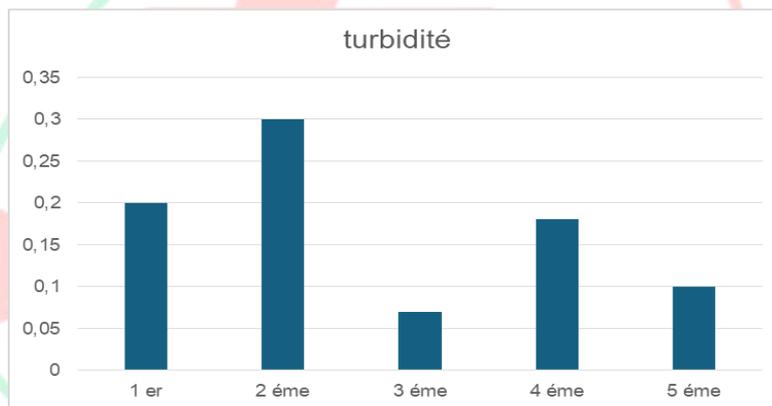


Figure VI.6: Variation de turbidité en fonction de temps.

La turbidité de l'eau de mer est très élevée car elle est très chargée en matières en suspension.

Cette turbidité diminue remarquablement parce qu'elle est augmentée dans les échantillons de l'eau produite à cause de l'addition de calcite.

VI.8.5 Le débit de sortie :

Les résultats de mesure du débit de sortie de la solution durant 05 jours sont présentés sur la figure VI.7.

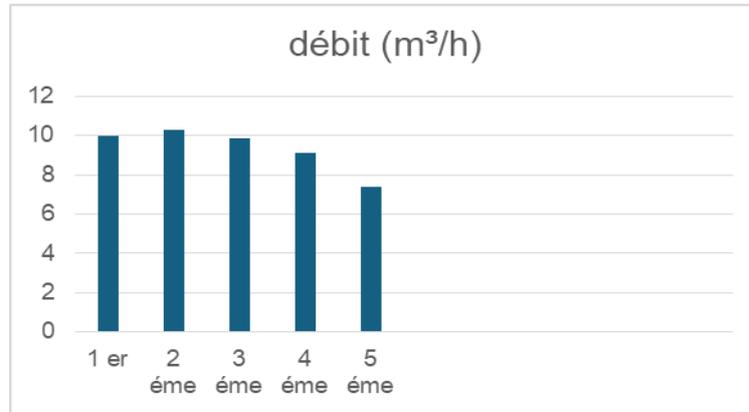


Figure VI.7 : Variation de débit en fonction de temps.

Le débit de sortie d'une unité d'osmose inverse diminue avec le temps.

Plusieurs facteurs peuvent contribuer à cette diminution, tels que l'encrassement des membranes d'osmose inverse, l'accumulation de saletés dans le système, ou même l'usure des composants avec le temps. Pour maintenir un débit optimal, il est recommandé de faire un entretien régulier de l'unité en nettoyant les membranes et en vérifiant l'état général du système. Si le débit continue de diminuer malgré l'entretien, il pourrait être nécessaire de remplacer certaines pièces défectueuses.

VI.9. Conclusion :

Il est essentiel de noter que la température peut influencer la conductivité de l'eau, mais cela ne signifie pas nécessairement une diminution de la concentration en sels dissous. Il est important de surveiller attentivement la conductivité et d'autres paramètres pour garantir la qualité de l'eau produite par le processus d'osmose inverse.

Les résultats des analyses effectués pendant la durée d'expérimentation démontrent que le dessalement par osmose inverse est très efficace au niveau de cette station car le processus a éliminé la salinité et la turbidité de cette station et les membranes sont en bon état ce qui traduit le bon rendement de la station.



Conclusion générale :

Le processus de dessalement de l'eau de mer peut être réalisé de plusieurs manières mais l'une des méthodes les plus couramment utilisées est l'osmose inverse est une méthode plus récente et de plus en plus populaire pour le dessalement de l'eau de mer; notamment grâce aux innovations techniques de ce siècle et comportent comme un clé pour répondre aux pénuries d'eau à travers le monde.

La Wilaya d'El Taref se caractérise par une position stratégique dans l'espace régionale ,pour cela le stage pratique effectué à la station de dessalement de Koudiet Eddraouche qui conçu de produire 500 m³/h .

Cette étude de faire suivre et contrôler la qualité de l'eau après un traitement d'osmose inverse sur la variation de quelques paramètres physico-chimique.

Il faut connaître, les conditions techniques, économique et les caractéristiques de l'eau brute sont essentielles pour le choix des méthodes de dessalement de l'eau de mer.

Leur avantages sont sa simplicité de mise en œuvre et son faible coût énergétique par rapport au dessalement dans notre travail nous sommes intéressés au dimensionné une unité de dessalement par le procédé d'osmose inverse dans la Central de Koudiet Eddraouche.

Pour optimiser la technologie de l'osmose inverse, il est essentiel d'approfondir les études sur les membranes utilisées. Les recherches approfondies sur les membranes, y compris leurs compositions, leur structure et leur propriété de filtration, peuvent permettre de développer des membranes plus performantes et durables, de plus, des études sur la condition opératoire optimale telle que la pression, le débit et la température peuvent contribuer à améliorer l'efficacité globale du processus d'osmose inverse.

Les résultats des analyses effectuées Durant le mois de février démontrent que le dessalement est efficace au niveau de cette station car le processus a éliminé la Salinité et la turbidité, cette station est nouvelle et les membranes sont en bonne état ce qui traduit le bon rendement de la station.

La maîtrise de l'énergie est un paramètre important dans le rendement de l'installation par la récupération de l'énergie et l'utilisation des formes d'énergie disponibles, non polluantes et très économiques comme le solaire thermique.

Le seul inconvénient de la station est : production 40% d'eau potable et le reste Saumure (c.à.d. 60%). La côté négatif touché, la forte concentration en sels qui sera à nouveau envoyée à la mer (grâce à un émissaire sous-marin par gravité).

Enfin, la station de dessalement a réglé le problème d'alimentation en eau potable de La wilaya d'El Taref et ces régions.



REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

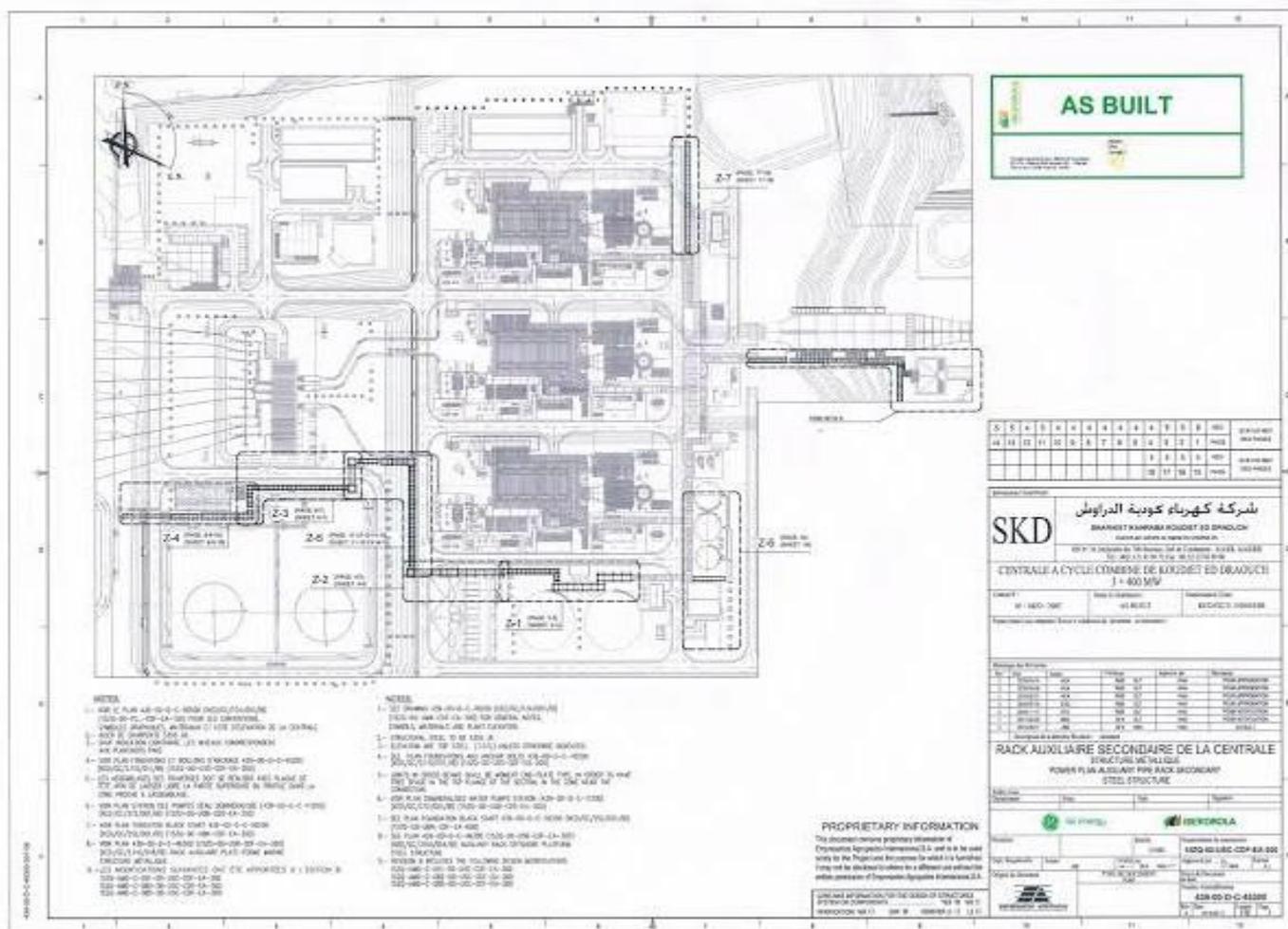
- [1] Larousse Encyclopédique, 2003.
- [2] M. Bouziani, Lexique de l'eau en santé publique, Édition Dar El Gharb, Algérie, 2009.
- [3] theseboucharebabderrezek p 11 2019.
- [4] A. Maurel , Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres et autres procédés non conventionnels d'approvisionnement en eau douce, Édition Lavoisier, France, 2001, page 19 ,page 20, Page 120.
- [5] Klein et al, 1999).
- [6] V. Tharreau. Techniques du traitement de l'eau dans les bâtiments. 3e édition, paris 2009.
- [7] J. Roval. Memento technique de l'eau Tome 1. 10e édition. France.1995.
- [8] B. Régis et B. Selim. Techniques de la gestion et de la distribution de l'eau. Edition du Moniteur. Paris. 2011.
- [9] F. Ravomanana. Chimie générale. 2e édition. Paris. 2007.
- [10] HABET, 2012).
- [11] ATALLAH, 2014).
- [12] A. Brahimi et H.Hamdi, Contrôle de qualité et évaluation du processus de dessalement de l'eau de mer par la technique d'osmose inverse (station de dessalement de Bou Ismail W. Tipaza). Mémoire d'ingénieur, Université de SAAD DAHLEB DE BLIDA. Algérie, 2009/2010.
- [13] Dossier thématique - La Cité de la Mer - Technopole Cherbourg-Normandie / Avril 2012.
- [14] I. Ahmouda et H.Biaa, Traitement des rejets de dessalement de l'eau de mer cas de« Les dunes » Oran, mémoire de master, Université Larbi Tebssi, 2015-2016.
- [15] BOUTRIAA ABDELOUAHAB (2009) : « Effet des paramètres de fonctionnement sur les performances d'un distillateur solaire ».
- [16] Dossier thématique - La Cité de la Mer - Technopole Cherbourg-Normandie / Avril 2012.
- [17] <http://www.lenntech.fr/htm>.
- [18] ChatkaewTansakul<procédés hybrides à membranes pour le prétraitement d'eau de mer avant dessalement par osmose inverse >, thèse doctorat, 13 novembre 2009.
- [19] S.Frioui , R. Oumeddour, 2008. Investment and production costs of desalinationplants by semi-empirical method, Desalination223, 457–463.
- [20] Bonnin.J, Hydraulique urbaine. Edition: Eyrolles. 228p, 1986.
- [21] Degrémont Suez, 2005. Mémento technique de l'eau. Rueil Malmaison,Degrémont, 2 tomes, 171p.
- [22] S. Gadoum et F. Hamichi. Analyse des eaux de chaudières du complexe Cevital.Mémoire D.E.U.A. Bejaia. 2002.
- [23] <http://dessalement.wordpress.com/> consulté le 30/07/2020.
- [24] DEGEMENT (2005) : « Mémento technique de l'eau ». Tome I, Lavoisier, Paris. France.

- [25] B.M. Misra, 2005. Desalination of seawater using nuclear energy, Division of Nuclear Power, International Atomic Energy Agency (IAEA), Vienna, Austria.
- [26] S. Nisan, 2008. A Comprehensive economic evaluation of desalination systems, using renewable, fossil fuelled based and nuclear energies, including external environmental costs, *Desalination*, 229,
- [27] S. Nisan, 2008. A Comprehensive economic evaluation of desalination systems, using renewable, fossil fuelled based and nuclear energies, including external environmental costs, *Desali.*
- [28]] L. et al Tian, 2004. Economic evaluation of seawater desalination for nuclear heating reactor with multi-effects distillation, *Desalination*, 180, 53-61.
- [29] Berroudja.K, Contribution à l'étude de l'évolution des qualités physico-chimiques et microbiologique de l'eau de robinet du centre ville de Chlef. Mémoire d'ingénieur, 2003 nation, 229,
- [30] Pastor Jean, Pauli Anne-Marie (1995). *Dialyse. Chromatographie et techniques séparatives*. Paris : Techniques de l'Ingénieur - p 1525.
- [31] 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.
- [32] 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.
- [33] Degrémont & Syndicat du Pays de la Fillière : La station de traitement par membranes des eaux de Pont de Pierre (Haute Savoie)–plaquette.
- [34] Alfa Arzate, Ph.D (2008) : « Procédés de séparation membrane et leur application dans l'industrie alimentaire ». 142, Rang Lainesse Saint-Norbert d'Arthabaska Québec.
- [35]] B.Chaufer, M.Mereilles-Masbernat, P.Aimar, Présentation des membranes in: *Les séparations par membrane dans les procédés de l'industrie alimentaire*. G.Daufin, F.René , P.Aimar , Paris, Lavoisier - Tec & Doc: 41-56, 1998.
- [36] A .LACHHABE (2004) : « Comparaison entre l'osmose inverse et l'ultrafiltration pour le dessalement de l'eau de faibles concentrations en sel ». Mémoire de Projet de Fin d'Etudes pour l'obtention du Diplôme d'Ingénieur Etat en Hydraulique, université Aboubakr Belkaid -Tlemcen-.
- [37] J-Pierre Méricq (2009) : « Approche intégrée du dessalement d'eau de mer : Distillation membranaire sous vide pour la réduction des rejets salins et possibilités de couplage avec l'énergie solaire ». Thèse en vue de l'obtention du DOCTORAT de l'université de TOULOUSE France.
- [38] 2. Qualité physico-chimique et chimique des eaux de surface: cadre général Fiche 2 Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement / Observatoire des Données de l'Environnement http://ww3.ac-poitiers.fr/math_sp/pedago/CAPPHY/PHICHI.PDF consulté le 15/06/2020.
- [39] http://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/environnement-securiteth5/eau_proprietes-qualite-valeurs-d-usage-42506210/caracteristiques-et-proprietesdes-eaux-w110/ consulté le 02/08/2020.
- [40] Bulletin Technique : « Osmose Inverse TE 200 ». DELTALAB. 38340 VOREPPE. France.
- [41] C.Briefert et al, *Chimie de l'environnement (air, eau, sols et déchets)*. Edition: Boeck & larciel, 2001.
- [42] <http://dspace.univ-tlemcen.dz/bistream/112/995/8/CHAPTRE04.pdf> consulté le 15/06/2020.

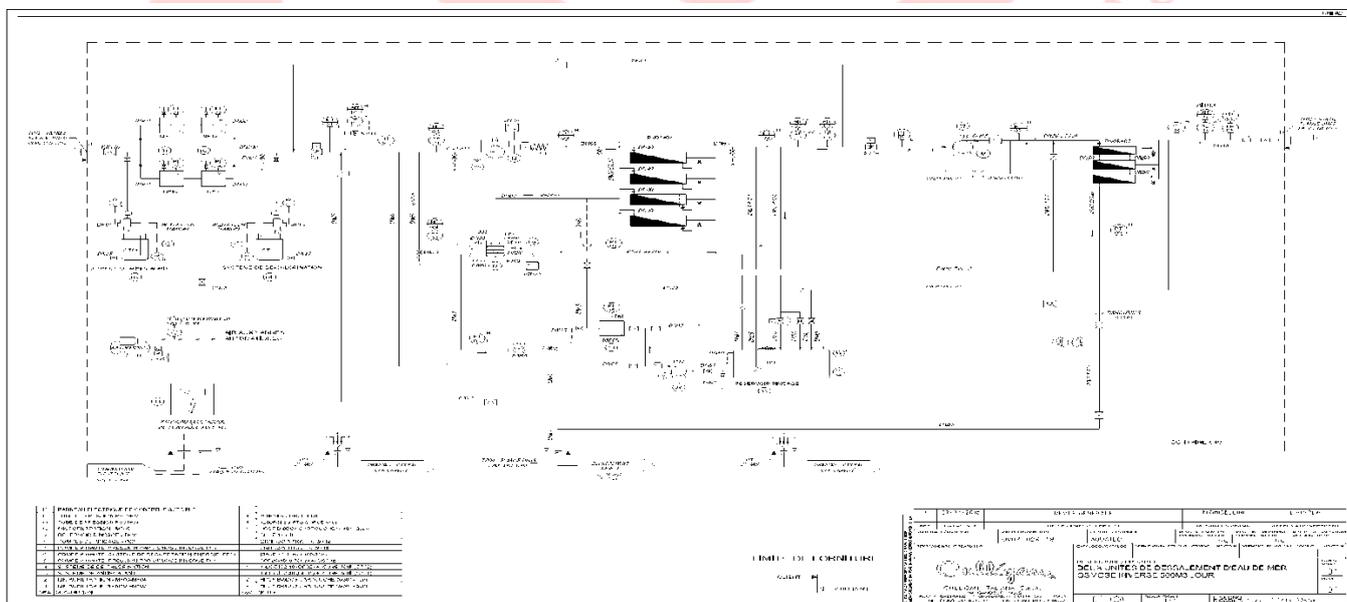
- [43] F. Abla (2012): « L'influence de la filtration sur sable sur le traitement des eaux saumâtres ». Mémoire de projet de fin d'étude pour l'obtention de Diplôme de Master en Hydraulique, université AboubakrBelkaid, Tlemcen.
- [44] N.M. Abdel-Jabbar, H.M. Qiblawey, F.S. Mjalli, H. Ettouney, Simulation of large capacity MSF brine circulation plants, Desalination 204 (1-3) (2007) 501-514.
- [45] L. et al Tian, 2004. Economic evaluation of seawater desalination for nuclear heating reactor with multi-effects distillation, Desalination,180, 53-61.
- [46] M. Al-Shammiri, M. Safar, Multi-effect distillation plants: state of the art, Desalination 126 (1) (1999).
- [47] Danis P. Dessalement de l'eau de mer, Techniques de l'ingénieur – J2700 [Livre]. Juin2003



Annexe 01 : Plan de masse de la centrale



Annexe 02 : les deux unités de dessalement de type inverse



Annexe 03 : processus du dessalement par les dessaleurs TCV-3-360

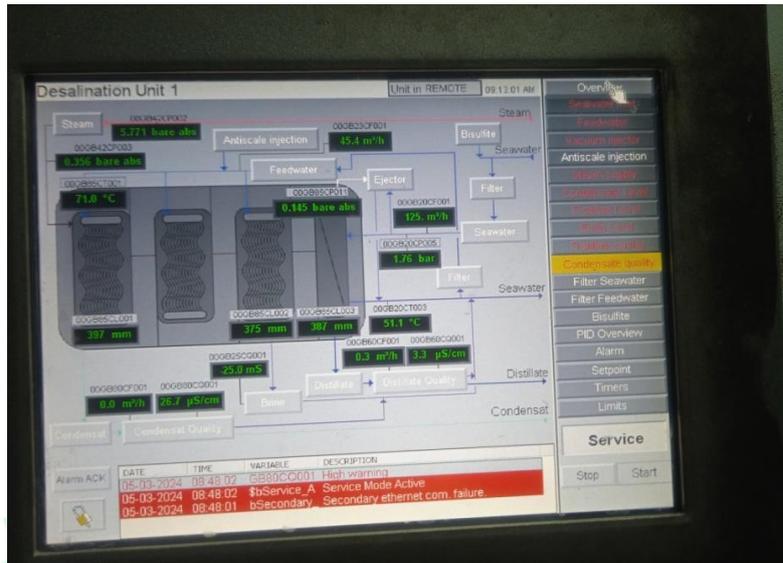


Figure 01 : processus de dessalement du dessaleur 01

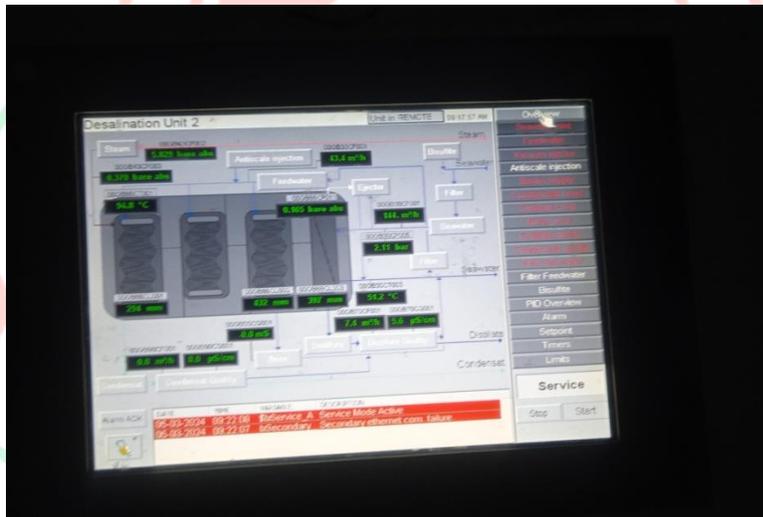
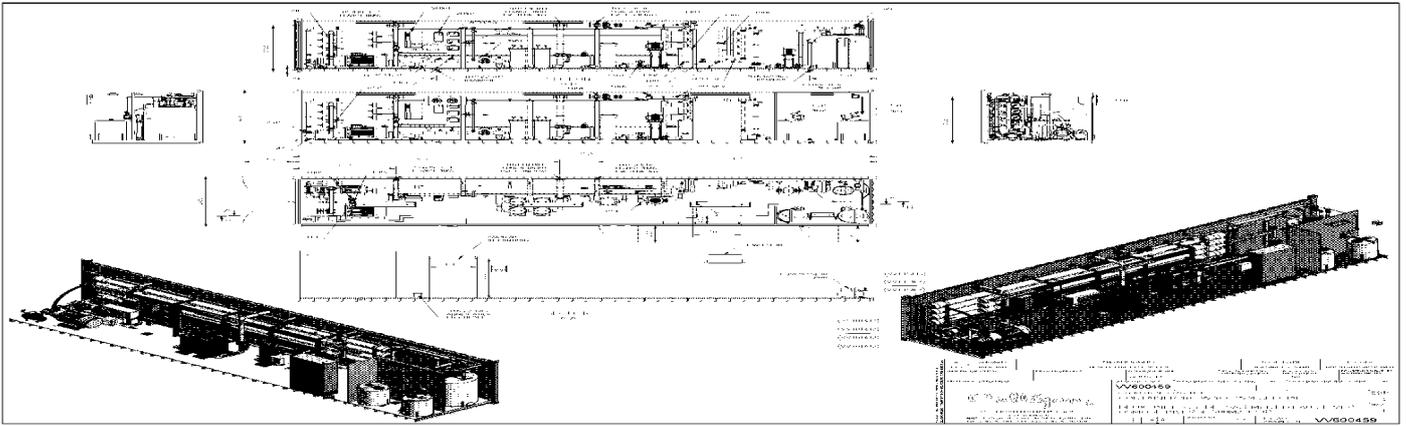


Figure 02 : processus de dessalement du dessaleur 02

Annexe 04 : la description d'une installation d'osmose inverse



Annexe 05 : Processus de dessalement par les osmoseurs



Figure 03 : Première étape d'osmose inverse

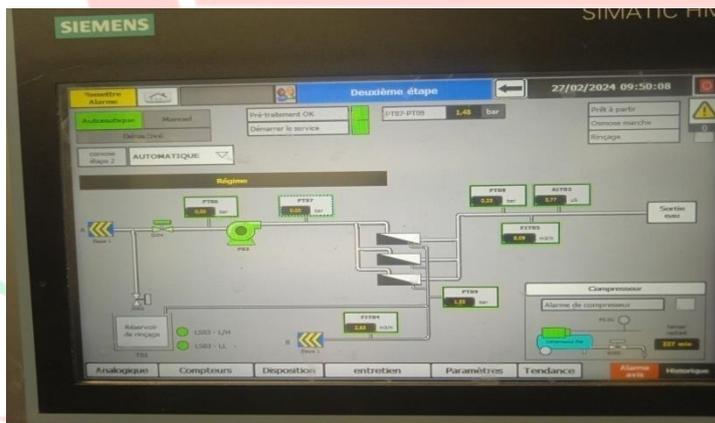


Figure 04 : Deuxième étape d'osmose inverse

Annexe 06: Le rejet

Le rejet de l'unité de dessalement vient pour intervenir un traitement (PTE) c'est-à-dire l'élimination des produits chimiques nocifs avant qu'il soit rejetée à la mer ; ce traitement se fait avec des mécanismes garantissant sa correcte dilution et dispersion de sorte que son déversement n'ait impact sur l'écosystème marin.

Dans la station de Koudiet Eddraouche ; ils ont installées un canal de rejet pour le même but aussi pour égaliser la température à revenir pour sa valeur compatible avec celle de l'eau de mer (35 °c).

Le batardeau permet l'isolement d'un côté de la cascade.



Figure 05: Canal de rejets



Figure 06: Passage d'eau à Travers la canal

Annexe 07: Détermination du ph

➤ Matériels

- PH-mètre ORION 3 STAR d'une électrode de mesure de pH;
- Becher.

➤ Mode opératoire du pH-mètre

- Etalonner le pH-mètre avec deux solutions étalons de pH 7 et 10 ou 4 et 7 (selon la Gamme de mesure à réaliser) ;
- Prendre un bécher avec l'eau à analyser ;
- Plonger l'électrode du pH-mètre dans l'échantillon ;
- Après stabilisation, lire le résultat.

(La mesure du PH est faite avec un autre appareil à sonde (ORION 3 STAR) en suivant le même mode opératoire que la conductivité, qui en doit parler après).

Annexe 08 : Détermination de la conductivité $\mu\text{s}/\text{cm}$

A l'aide d'une conductimètre

Le conductimètre Est un appareil de mesure est constitué d'une électrode que l'on plonge dans la solution dont on veut connaître la salinité totale ; le résultat s'affiche sur l'écran du conductimètre. L'électrode doit être bien rincée à l'eau distillée avant chaque mesure.

➤ Matériels

- Conductimètre ORION 3 STAR muni d'une cellule conductimétrique ;
- Bécher.

➤ Mode opératoire

Après avoir étalonné le conductimètre :

- Plonger la cellule de l'appareil préalablement rincée dans un b cher avec l'eau à analyser ;
- Secouer la cellule légèrement afin d'éliminer les bulles d'air ;
- Attendre quelques secondes et mesurer.

➤ **Expression des résultats**

La conductivité est exprimée en $\mu\text{s}/\text{cm}$.



Figure 07 :Appareil de mesure de la conductivité.

➤ **La Méthode**

- Mettre l'appareil en marche ;
-  talonner le avec de l'eau distillée ;
- plonger ensuite la sonde tout en agitant légèrement dans un b cher qui comporte environ 100 ml de notre échantillon ;
- laisser stabiliser et lire ensuite la conductivité en $\mu\text{s}/\text{cm}$.

Il faut également rincer la sonde après chaque mesure.

Cet appareil nous a permis de mesurer La température et le TDS avec la même méthode

➤ **Le conductimètre**

L'étalonnage se fait par des solutions de 1413 $\mu\text{s}/\text{cm}$.



Figure 08 : La solution des étalonnages

Annexe 9 : tableau 01 représente les résultats des analyses physico-chimiques de l'eau produite.

Date 2024	Les paramètres physico-chimiques de l'eau produite				
	Débit (m ³ /h)	PH	Température (°C)	Conductivité (µs/m)	Turbidité (NTU)
23/02	10	8.50	22	7.80	0.2
24/02	10.30	8.48	22.30	7.23	0.3
25/02	9.84	8.52	22.85	6.25	0.07
26/02	9.14	8.46	24	6.19	0.18
27/02	7.40	8.51	24.22	6.30	0.1

