



Département de Technologie chimique industrielle

Rapport de soutenance

En vue de l'obtention du diplôme
de Licence professionnelle en :

Génie de la formulation

Thème :

Description du procédé de dessalement de la
station de Fouka et suivi du contrôle de qualité

Réalisé par :

ELOUAHED Maissa

Encadré par :

- BETTAYEB Souhila
- SAMARI Nadia

M.A.A / Promotrice / Institut de technologie
Responsable de laboratoire/ MYAH Tipaza

Corrigé par :

- BELKACEMI Samir

M.A.A/Examineur / Institut de technologie

Remerciements

Nous remercions en premier lieu Allah le tout puissant qui nous a prêté vie, santé et volonté pour achever ce travail, de nous avoir guidé vers le droit chemin et de nous avoir guidé tout au long de nos années d'étude.

Notre profonde reconnaissance et nos sincères remerciements sont distingués à notre encadreur BETTAYEB Souhila d'avoir acceptée de nous encadrer et de nous guider dans la réalisation de ce modeste travail.

Nous tenons ainsi à exprimer notre reconnaissance et nos vifs remerciements à madame SAMARI Nadia la responsable de laboratoire et Mr KHATEB Mohamed le directeur technique de l'usine de dessalement de Fouka qui ont bien voulu nous accueillir au sein de leur service, nous les remercions pour la documentation mise à notre disposition, leur aide précieuse et leurs conseils tout au long de ce travail, nous les remercions de toutes les discussions que nous avons partagées ont permis d'orienter notre travail d'une manière pertinente. Sincère gratitude.

Nous tenon également à remercier messieurs les membres de jury pour l'honneur qu'ils nous en fait en acceptant de juger notre mémoire.

On n'oubliera pas de remercier également nos enseignants de l'Institut de Technologie qui nous ont transmis leurs connaissances et leur savoir-faire pour assurer notre formation pendant trois ans.

Ainsi, nous adressons nos remerciements les plus chaleureux à toutes les personnes qui nous ont aidé de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.

Dédicace

C'est avec des mots simples mais débordant d'émotion que je dédie ce modeste travail :

A mes chers parents

Aucune dédicace ne saurait être assez éloquente pour exprimer ce que vous méritez pour tous les sacrifices que vous n'avez cessé de me donner depuis ma naissance, durant mon enfance et même à l'Age d'adulte, puisse dieu, le tout puissant, vous préserver et vous accorder santé, longue vie et bonheur.

A mes chères grands-pères et grands-mères que dieux vous garde pour nous

A mes chères tantes : Nacéra, Zoulikha, Razika, Fatma, Oulia, Djaouida, Karima, Wiam, Soumia, Nacira, Arbia et Razika.

Et chers oncle s: m'hamed, Ahmed, Houssin, Mohammed.

A mes chers frères : Abdelkader, Adel et Youcef.

A toutes mes amies particulièrement : Hanaa, Chaima, Samira, Manel, Tinhinane, Lydia, Amira, Kenza. Je vous remercie pour tous les moments inoubliables que nous avons partagés ensemble et pour le plaisir dont j'ai joie avec vous.

Ainsi, une dédicace spéciale à mon chère ami Abdou qui m'a donné à chaque fois la volonté, la motivation et qui m'a soutenu tout au long de ce travail, je souhaite que

Dieu te garde toujours à moi.

Merci d'être toujours là pour moi.

Maïssa

Résumé

Résumé :

Devant les besoins croissants en eau douce, et l'impossibilité de se contenter des ressources naturelles, de nombreuses régions de notre planète sont menacées par de graves pénuries d'eau. Suite à ce problème majeur de notre siècle, le dessalement des eaux de mer se présente comme un moyen industriel fiable de production d'eau douce.

Dans ce contexte nous avons développé notre travail, en commençant par présenter des notions générales sur le dessalage, suivi par une description détaillée du procédé de dessalement. Par la suite, on a cité les différentes analyses concernant les différents flux d'eau existant dans le processus.

Mots clefs : procédé de dessalement, eau de mer, eau douce, osmose inverse.

ملخص :

مع تزايد الاحتياجات للمياه العذبة، واستحالة تلبية الموارد الطبيعية، تتعرض العديد من مناطق كوكبنا للتهديد بسبب النقص الحاد في المياه. بعد هذه المشكلة الكبرى في قرننا هذا، تم تقديم تحليه مياه البحر كوسيلة صناعية موثوقة لإنتاج المياه العذبة.

في هذا السياق، قمنا بتطوير عملنا، بدءًا من تقديم مفاهيم عامة حول تحلية المياه، متبوعًا بوصف تفصيلي لعملية التحلية. بعد ذلك استشهدنا بالتحليلات المختلفة المتعلقة بتدفقات المياه المؤجلة الموجودة في العملية.
الكلمات المفتاحية: عملية التحلية، مياه البحر، المياه العذبة، التناضح العكسي.

Abstract:

With growing needs for fresh water, and the impossibility of being satisfied with natural resources, many regions of our planet are threatened by severe water shortages. Following this major problem of our century, the desalination of seawaters presented as a reliable industrial means of producing fresh water.

In this context, we have developed our work, starting by presenting general notions on desalination, followed by a detailed description of the desalination process. Subsequently, we cited the different analyzes concerning the different water flows existing in the process.

Keywords: desalination process, seawater, fresh water, reverses osmosis.

SOMMAIRE

Sommaire

Résumé

LISTE DES FIGURES	I
LISTE DES TABLEAUX	III
LISTE DES ABREVIATIONS	V
INTRODUCTION	1

CHAPITRE I: PRÉSENTATION DE L'ENTREPRISE

1. Introduction:.....	2
2. Historique:.....	2
3. Capacité de la station:	3
4. Plan générale de l'usine:	4
5. Organigramme de l'entreprise.....	5
6. Services de l'entreprise:	6
6.1. Sous station électrique:	6
6.2. Salle de contrôle:.....	6
6.3. Laboratoire:	7

Chapitre II: Généralités sur le Dessalement

1. Dessalement dans l'Algérie:	8
2. Généralités:	8
2.1. Eau de mer:	8
2.2. Composition et salinité de l'eau de mer:.....	9
2.3. Caractéristiques physico-chimiques des eaux de mer:.....	9
2.3.1. Température:.....	9
2.3.2. pH:	10
2.3.3. Conductivité:	10
2.3.4. Turbidité :	10
2.3.5. Densité:.....	10
2.3.6. Dureté:	10
2.3.7. Métaux lourds:.....	10
2.3.8. Matière organique:.....	11
2.3.9. Sels dissous:.....	11
2.4. Composition chimique de l'eau de mer:	11
3. Définition de dessalement:.....	12
4. Différents procédés de dessalement:	13

4.1. Techniques thermiques:	13
4.1.1. Distillation:	13
4.1.2. Distillation multflash:	14
4.1.3. Distillation à effet multiples:	15
4.1.4. Distillation solaire:	15
4.2. Techniques membranaires:	16
4.2.1. Electrodialyse :	16
4.2.2. Osmose inverse :	16
5. Autres procédés de dessalement :	18
5.1. Echange ionique :	18
5.2. Dessalement par congélation :	19
6. Avantages et inconvénients de l'osmose inverse:	20
6.1. Avantage de l'osmose inverse :	20
6.2. Inconvénients de l'osmose inverse :	20
7. Paramètres influant la performance des membranes :	21
7.1. Facteurs physiques :	21
7.1.1. Température :	21
7.1.2. Matières en suspension dans l'eau à traiter :	21
7.2. Facteurs chimiques :	21
7.2.1. pH :	21
7.2.2. Précipitation :	21
7.2.3. Formation du tartre :	21
7.2.4. Corrosion :	22
7.2.5. Colmatage :	22

CHAPITRE III : DESCRIPTION DU PROCEDE DE DESSALEMENT PAR OSMOSE INVERSE

1. Description du procédé de dessalement par osmose inverse :	23
1.1. Prise d'eau de mer :	23
1.1.1. Conduite de prise d'eau :	23
1.2. Prétraitement :	25
1.2.1. Prétraitement chimique :	25
1.2.2. Prétraitement physique :	27
1.3. Traitement :	29
1.3.2. Pompes:	30

1.3.3. Système de récupération d'énergie :	31
1.4. Post traitement :	33
1.4.1. Ajout de la chaux :	34
1.4.2. Ajout de CO ₂ :	34
1.4.3. Désinfection :	35
1.5. Stockage et pompage d'eau traitée :	35
1.6. Réservoirs d'effluents :	36
Chapitre IV : Matériel et Méthodes	
1. Eau de mer brute :	37
1.1. Température :	37
1.2. pH :	37
1.3. Conductivité :	38
1.4. Turbidité :	38
1.5. Mesure des T.D.S (taux des sels dissous) et des M.E.S (matières en suspension) :	39
1.5.1. Mode opératoire :	39
1.6. SDI5 :	40
1.6.1. Mode opératoire :	40
2. Eau de mer filtrée :	41
2.1. pH, conductivité, température :	42
2.2.1. Mode opératoire :	42
2.3. Turbidité :	42
3. Permeat :	42
3.1. Conductivité :	43
3.2. TDS :	43
3.3. pH :	43
4. Eau potable :	43
4.1. Analyse volumétrique du Calcium « Ca ²⁺ » :	43
4.1.1. Mode opératoire :	43
4.2. Analyse volumétrique du chlorure « Cl ⁻ » :	44
4.3. Analyse volumétrique de la dureté totale « TH » :	45
4.3.1. Mode opératoire :	45
4.4. Analyse volumétrique du « T.A » ET DU « T.A.C » :	45
4.5. pH :	46
4.6. TDS :	46

SOMMAIRE

4.7. Température :	46
4.8. L'indice de Langelier :	46
CONCLUSION	47
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	48

LISTE DES FIGURES

LISTE DES FIGURES

Chapitre I :

Figure I- 1 : Station de dessalement de Fouka	2
Figure I- 2: Sous station électrique	6
Figure I- 3: Salle de contrôle	6
Figure I- 4: Laboratoire de contrôle de qualité.	7

Chapitre II :

Figure II- 1: Schéma générale d'une installation de dessalement	12
Figure II- 2: Différents procédés de dessalement	13
Figure II- 3: Procédé de distillation d'eau de mer	14
Figure II- 4: Procédé de distillation multflash d'eau mer.....	14
Figure II- 5: Procédé de distillation à effets multiples d'eau de mer.	15
Figure II- 6: Procédé de distillation solaire d'eau de mer.	15
Figure II- 7: Principe de fonctionnement de l'électrodialyse.	16
Figure II- 8: Principe de l'osmose et l'osmose inverse.....	18
Figure II- 9: L'osmose et l'osmose inverse.....	18
Figure II- 10: Colonne échangeur d'ions.....	19
Figure II- 11: Dessalement par congélation.....	19

Chapitre III :

Figure III- 1: Bouées de signalisation indiquant le positionnement de la conduite d'aspiration d'eau de mer.	24
Figure III- 2: Réservoirs des produits chimiques.....	26
Figure III- 3: Station de pompage de l'eau brute	27
Figure III- 4: Filtre à sable	27
Figure III- 5: Filtres à cartouches.....	28
Figure III- 6: Cartouches.....	28
Figure III- 7: Filière d'osmose inverse	29
Figure III- 8: Membrane polyamide	29
Figure III- 9: Pompe HP	30
Figure III- 10: Pompe booster.....	31
Figure III- 11: Echangeur de pression ERI utilisé à l'usine	31
Figure III- 12: Circuit de l'eau prétraitée dans la 2 ème étape du procédé (traitement)	33

Figure III- 13:Saturateur de chaux	34
Figure III- 14:Silos de chaux	34
Figure III- 15:Station de production de CO2	35
Figure III- 16:Station de pompage de l'eau traitée.....	36

Chapitre IV :

Figure IV- 1:Thermomètre HANNA instruments.....	37
Figure IV- 2:pH mètre HQ430d.....	38
Figure IV- 3:Conductimètre sensION7	38
Figure IV- 4:Turbidimètre 2100 N	39
Figure IV- 5:Appareil de mesure de SDI.....	41

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES TABLEAUX

Chapitre I :

Tableau I- 1: Capacité de la station de Fouka.....3

Chapitre II :

Tableau II- 1:Salinité de différentes mers.....9

Tableau II- 2:Composition moyenne des sels de l'eau de mer (35g/l).....9

Tableau II- 3:Composition chimique de l'eau de mer..... 12

Chapitre III :

Tableau III- 1:Caractéristiques de la membrane SW4+.....30

LISTE DES ABREVIATIONS

LISTE DES ABREVIATIONS

AEC : Algerian Energy Company.

ADE : Algérienne des eaux.

BOO: Build Own Operate.

°C: Le degré Celsius.

DN1600 : DiamètreNominale 1600.

EDTA : Ethylène Diamine Titraacitique.

ER : Récupérateur d'énergie.

°F : Degré Fahrenheit.

g/cm : Gramme par centimètre.

g/l : Gramme par litre.

h : Heure.

HP : Haute pression.

J : Jour.

Kg : Kilogramme.

Kv : Kilovolt.

M : Mètre.

M : Molaire.

m3 : Mètre cube.

Max : Maximum.

MES : Matière En Suspension.

ml : Millilitre.

mm : Millimètre.

M/s : Mètre par seconde.

N : Normalité.

Nm : Nanomètre.

NTU : L'unité de néphélogétrie (Nephelometric Turbidity Unit).

OI : Osmose inverse.

OMS : Organisation mondiale de la santé.

P : Pression.

PEHD : Polyéthylène haute densité.

pH : Potentiel Hydrogène.

Ppm : Partie par million.

SCADA : Système de contrôle et d'acquisition des données.

TA : Titre Alcalimétrique.

TAC : Titre Alcalimétrique complet.

TDS : Totale Des Solides Dissous.

TH : Titre Hydrométrique.

µm : Micromètre.

V : Volume.

V : Volt.

INTRODUCTION

INTRODUCTION

L'eau, le sang bleu, la condition absolue d'existence de toute forme de vie sur notre planète. Malheureusement, cette ressource naturelle importante diminue et menacée de plus en plus. Elle représente 1380 million de km³. L'essentiel toutefois est constitué d'eau de mer (97,2%) et de glaces (2.15%) inutilisables directement. L'eau douce facilement disponible (lacs, fleuves, certains eaux souterraines), ne représente que 0.07% de la ressource totale. C'est pour cela que dans certaines régions du monde, la pénurie en eau commence à devenir une menace inquiétante pour la biodiversité en générale et pour l'homme en particulier, tandis qu'elle est considérée comme un droit élémentaire.

Comme beaucoup de pays, l'Algérie est touchée par le problème de la pénurie d'eau, cet élément indispensable au bien être de la population devient de plus en plus rare.

Les ressources hydriques de l'Algérie sont limitées, et dépendent essentiellement de l'apport du ciel. Cette situation s'explique d'une part par une pluviométrie précaire, irrégulière et mal répartie, ensuite il y'a la croissance démographique, avec tout ce que ça engendre comme accroissement des besoins ainsi que l'effet de la pollution de la ressource, et en fin les longues périodes de sécheresse.

Pour pallier à cette insuffisance, notre pays a adopté une stratégie de diversification des ressources, en valorisant les eaux non conventionnelles, et en s'engageant dans un vaste programme comprennent le dessalement de l'eau de mer pour produire de l'eau potable.

Les procédés basés sur la séparation par membranes sont des procédés qui connaissent un bel essor, ils semblent devenir des outils de plus en plus fiables et de moins en moins couteux. A travers cette étude nous allons suivre le procédé de dessalement de Fouka en l'occurrence l'osmose inverse.

Dans ce contexte ce manuscrit comporte quatre chapitres :

Le premier chapitre donne une présentation de la station de dessalement de Fouka

La deuxième présente des notions et généralités sur le dessalement et les différentes méthodes adopté pour arriver à cette fin(dessalement).

Le troisième comporte une description du procédé de dessalement jusqu'à l'exploitation de l'eau potable.

Le dernier chapitre décrit toutes les analyses qui se font durant le processus de dessalage.

CHAPITRE I :
PRÉSENTATION DE
L'ENTREPRISE

CHAPITRE I : PRÉSENTATION DE L'ENTREPRISE

1. Introduction:

La station de dessalement d'eau de mer de Fouka, implantée sur la frontière séparant la commune de Fouka à celle de Douaouda, s'étend sur une superficie de 8 hectares.

La station a une capacité de traitement de 120.000 m³/jour. Une partie de l'eau dessalée est destinée à l'alimentation en eau potable de la partie Est de la wilaya de Tipaza (18 communes) et le reste est acheminé vers Alger pour le renforcement du système de distribution de la Zone Côtière Ouest.



Figure I- 1 : Station de dessalement de Fouka

2. Historique:

La station de dessalement de Fouka est l'un des 13 projets décidés par le gouvernement algérien au début des années 2000 qui venait suite à 20 années de sécheresse.

Sur décision du conseil interministériel du 12 octobre 2003, l'Algérie opte pour le dessalement d'eau de mer. Un grand programme est lancé et l'AEC (Algérien Energy Company) créée en 2001 est chargée de sa mise en œuvre.

L'AEC lance un appel d'offre international dans le cadre d'une BOO (Build Own Operate) afin de sélectionner une entreprise ayant les compétences, dans le cadre d'une société de projet créée à cet effet, pour concevoir, réaliser, posséder, exploiter, maintenir et commercialiser l'eau produite à savoir 120.000 m³/jour d'eau potable destinée à l'ouest d'Alger et l'est de la wilaya de Tipaza.

Le marché a été attribué en 2005 par le groupement SNC-Lavalin, société d'ingénierie et de construction canadienne présente depuis 20 ans en Algérie, et Acciona Agua, société Espagnole spécialiste du dessalement d'eau de mer.

L'usine de dessalement de l'eau de mer de Fouka est gérée par –MIYAH TIPAZA SPA- créée en 2007. Les travaux de construction de l'usine ont commencé en avril 2008.

L'usine est mise en service en juillet 2011.

3. Capacité de la station:

La capacité de traitement de la station est de 120.000 m³/jour basée sur un approvisionnement en eau brute d'environ 273.697 m³/jour. La production est étalée sur une période de 24h/jour soit 5.000 m³/heure. Le système d'osmose inverse est conçu de façon modulaire. Il est composé de six (6) unités d'osmose inverse (OI) d'une capacité unitaire de 20.000 m³/jour chacune. Il n'y a pas d'unités en réserve. Il est possible de faire fonctionner l'usine afin de produire les gammes des débits journaliers suivantes :

Tableau I- 1:Capacité de la station de Fouka

Nombre d'unité d'osmose inverse en réserve	Débit (m³/jour)	% du débit nominal
1	20.000	17
2	40.000	33
3	60.000	50
4	80.000	67
5	100.000	83
6	120.000	100

De plus, l'usine pourra fonctionner avec une (1) des deux (2) conduites de la prise d'eau à l'arrêt. Il sera alors possible de passer 100% du débit dans une seule conduite pour une production de 120.000 m³/jour.

4. Plan générale de l'usine:

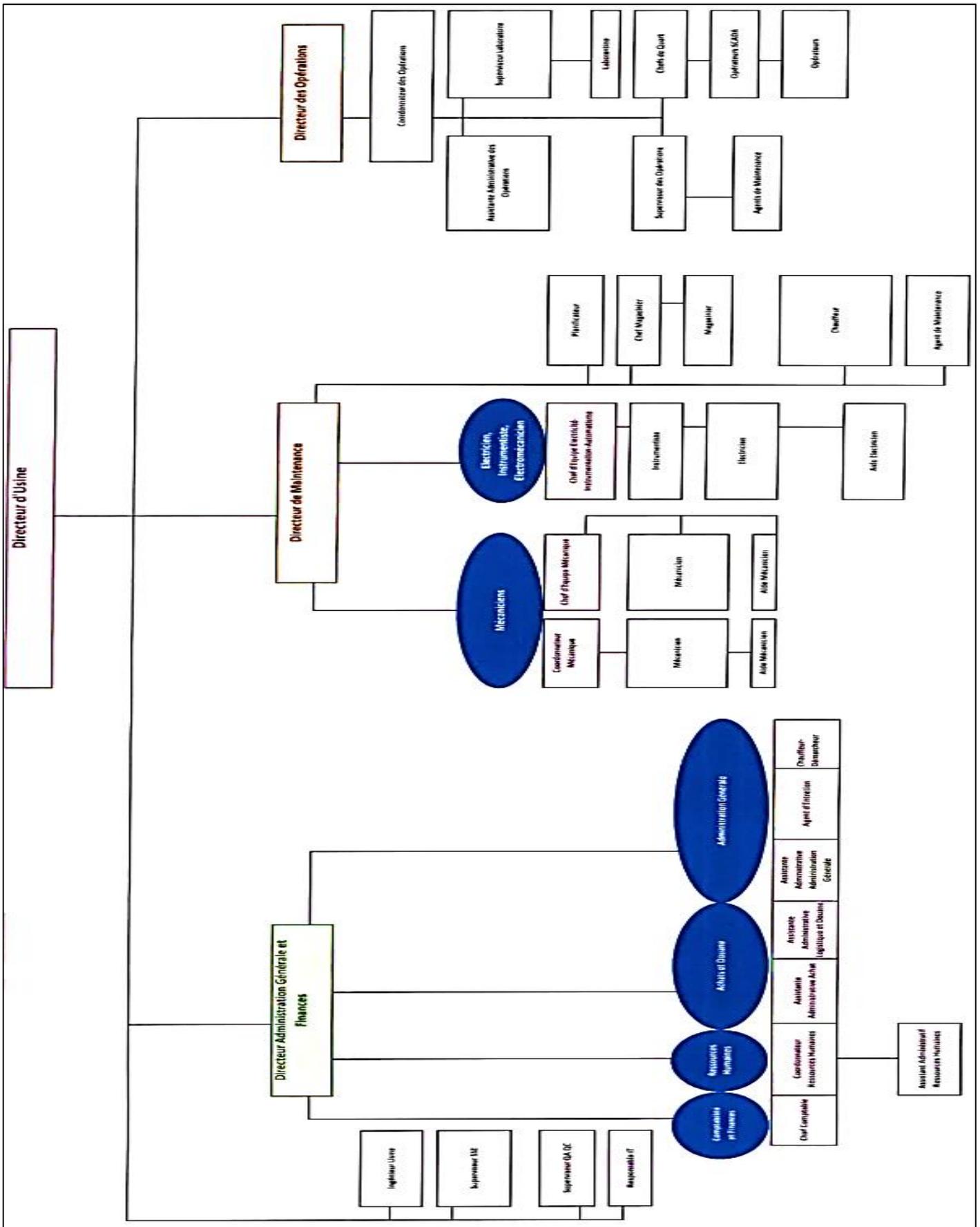
Les principaux composants de l'usine sont les suivants :

- Deux prises d'eau de mer ouverte avec tête de prise.
- Une station de pompage d'eau de mer.
- Prétraitement : injection de produits chimiques (hypochlorite de calcium, acide sulfurique, chlorure ferrique, poly électrolyte, inhibiteur).
- Un prétraitement de l'eau par filtration gravitaire et filtres à cartouches :

Les prétraitements ont pour rôle d'améliorer la qualité de l'eau d'alimentation du système d'osmose inverse afin de protéger les membranes.

- Le dessalement par osmose inverse : système d'osmose inverse, pompes haute pression et système de récupération d'énergie.
- Post-traitement : la reminéralisation par l'ajout des produits alcalins (Chaux) et CO₂.
- Un réservoir d'eau traitée avec une station de pompage pour distribution.
- Réservoir de traitement des effluents.
- Les systèmes auxiliaires : réseaux, contrôles, système de préparation et de dosage de produits chimiques, système de nettoyage des membranes et équipements et produits d'entretien.
- Des bâtiments de services.

5. Organigramme de l'entreprise



6. Services de l'entreprise:

6.1. Sous station électrique:

L'alimentation continue en électricité de l'usine est indispensable. Elle est assurée par 2 lignes Sonelgaz (Mazafran et Hamr el Ain) de 60 KV, alimentant une station de transformation composée de 2 transformateurs de 30 MVA dont la tension de sortie est de 6000 V.



Figure I- 2:Sous station électrique

6.2. Salle de contrôle:

Toutes les opérations de contrôle et de gestion de l'usine se font à partir d'une salle appelée « salle de contrôle » qui est sous la responsabilité du chef de quart ; elle est équipée de plusieurs ordinateurs nommés SCADA qui permettent la visualisation et le contrôle des différents paramètres des installations principales de l'usine.



Figure I- 3:Salle de contrôle

6.3. Laboratoire:

Toutes les analyses et le contrôle de la qualité d'eau distribuée à la population selon les normes de l'OMS (Organisation Mondiale de la Santé) tel que la dureté, l'alcalinité, le pH, la quantité de chlore, la turbidité ... etc., se font dans un laboratoire équipé de tout le matériel nécessaire.



Figure I- 4: Laboratoire de contrôle de qualité.

Chapitre II :
Généralités sur le
Dessalement

CHAPITRE II : GÉNÉRALITÉS SUR LE DESSALEMENT

1. Dessalement dans l'Algérie:

L'Algérie, comme d'autres pays du sud de la méditerranée souffre de la pénurie d'eau qui va s'aggraver dans les années à venir. L'Algérie est le pays le plus sévèrement menacé par la crise de l'eau d'ici le début 2020. L'un des facteurs aggravant le problème est la concentration des trois quarts d'habitant et, par conséquent, la plupart des activités industrielles et agricoles sur la zone littorale, ce qui a entraîné une augmentation significative de la pollution des ressources en eau. La sécheresse causée par les changements climatiques et la pollution et l'un des facteurs principaux déstabilisant l'équilibre actuel. (MITICHE, 2014)

Le programme de dessalement, mis en œuvre à partir de 2003, prévoit la réalisation de 13 stations de dessalement d'une capacité nominale totale de 2,31 millions de m³/j, ce qui représente près de 850 millions de m³/an, pour desservir 8 millions d'habitants.

A ce jour, onze (11) stations, d'une capacité installée de 2,1 millions m³ /jour, ont été réalisées et mises en service.

Il s'agit des unités d'Arzew (Oran : 86.000 m³/j), de Hamma (Alger : 200.000 m³/j), de Skikda (100.000 m³/j), de Beni Saf (Ain Témouchent : 200.000 m³/j), Mostaganem (200.000 m³/j), Fouka (Tipaza : 120.000 m³/j), Souk Tlala-(Tlemcen : 200.000 m³/j), Honein (Tlemcen : 200.000 m³/j), Cap Djinet (Boumerdès : 100.000 m³/j), Ténès (Chlef : 200.000 m³/j) et Maacta (Oran : 500.00 m³/j). (ministère de l'énergie, 2018)

2. Généralités:

2.1. Eau de mer:

L'eau de mer est l'eau salée des mers et des océans pour laquelle la concentration en sels est relativement élevée (plus de 10 g/l). Elle contient une quantité des substances dissoutes, les sels, constitués d'ions, principalement des ions halogénures comme l'ion chlorure et des ions alcalins comme l'ion sodium. La salinité des mers ouvertes sur les masses océaniques est de l'ordre de 35 g/l (On trouve 30 à 40 g de sels dissous pour 1 kg d'eau de mer) qui est considérée comme : salinité standard de l'eau de mer. (Desjardins, 1990)

Tableau II- 1:Salinité de différentes mers

Mer	Teneurs en sels [g/l]
Mer méditerranée	36 à 39
Mer rouge	40
Mer morte	270
Mer caspienne	13
Mer baltique	17

2.2. Composition et salinité de l'eau de mer :

La mer est une source étendue d'eau brute qui peut être traitée pour obtenir une eau douce. Les eaux de mer sont caractérisées par leurs salinités. La salinité de la plupart des eaux de mer varie de 33 à 37 g/l (Maurel, 2006). La concentration des sels dissous pour une salinité moyenne de 35 g/l est représentée dans le tableau 2. (Desjardins, 1997).

Tableau II- 2:Composition moyenne des sels de l'eau de mer (35g/l)

Sels	Concentration (g/l)
NaCl	27.2
MgCl ₂	3.8
MgSO ₄	1.7
CaSO ₄	1.26
K ₂ SO ₄	0.86

2.3. Caractéristiques physico-chimiques des eaux de mer :

2.3.1. Température:

La température de l'eau de mer peut varier de quelques degrés sur les côtés sous l'influence des courants polaires jusqu'à 35°C. Cette température peut avoir un avantage pour certains procédés de dessalement et un inconvénient pour d'autres.

2.3.2. pH:

La variation des formes ionisées, dépend de facteurs multiples dont l'origine de l'eau.

Le pH moyen de l'eau de mer varie entre 7.5 et 8.4, l'eau de mer est donc légèrement basique. (Francis Alberd)

2.3.3. Conductivité:

La masse totale des sels dissous dans 1 kg d'eau de mer variera d'une mer à une autre, la conductivité mesure la capacité de l'eau à conduire le courant entre deux électrodes. La mesure de la conductivité permet donc d'estimer la quantité des sels dissous dans l'eau, elle est également en fonction de la température de l'eau. Elle est plus importante lorsque la température augmente. (Francis Alberd)

2.3.4. Turbidité:

La turbidité est la propriété d'une eau d'avoir un aspect trouble, la mesure de la turbidité donne une indication sur la teneur en matières solides en suspension. La turbidité de l'eau de mer varie de 3 à 10 NTU. (Francis Alberd)

2.3.5. Densité:

C'est le rapport d'une unité de masse rapporté à son volume à une température bien déterminé, la densité de l'eau de mer est de l'ordre de 1.03g/cm. (Francis Alberd)

2.3.6. Dureté:

La dureté d'une eau correspond à la présence des ions : Ca^{2+} et Mg^{2+} . Elle est notée TH. Dureté totale. On peut citer 2 duretés :

- **Dureté temporaire** : indique la concentration des ions Ca^{2+} et Mg^{2+} qui précipitent après ébullition d'eau.
- **Dureté permanent** : correspond à la concentration des ions Ca^{2+} et Mg^{2+} qui reste en solution après ébullition d'eau. La dureté d'une eau de mer est en moyen de 705°F. (Henry, 2002)

2.3.7. Métaux lourds:

Les métaux lourds présents dans l'eau de mer peuvent être selon l'ordre de nocivité décroissante : mercure, cadmium, argent, plomb, zinc, nickel, cobalt...leur toxicité dépend de

la forme chimique dans laquelle ils se trouvent. Les métaux lourds représentent un vrai problème de santé publique. De par leur composition chimique, ils ne peuvent pas être dégradés par les bactéries. (A.D.E, 2005)

2.3.8. Matière organique:

La matière organique contenue dans l'eau de mer peut avoir plusieurs origines à savoir les rejets industriels provenant de l'industrie Agro-alimentaire, les eaux usées domestiques et l'agriculture.

Les matières organiques peuvent être dégradées sous l'effet de certaines bactéries, elles sont donc dissoutes dans l'eau de mer, leur élimination pose un problème du point de vue économique. La matière organique des eaux naturelles constitue un milieu très hétérogène, elle est relativement stable dans le milieu aquatique, les substances humiques constituent en générale la plus grande partie de cette matière organique, car elle présente 30 à 50 % du carbone organique dissous et parfois 90% dans certains eaux plus colorées (A.D.E, 2005)

2.3.9. Sels dissous:

La quantité des sels dissous dans l'eau de mer change d'une eau à une autre selon que la mer soit ouverte ou fermée. Toutefois, dans le cas des mers ouvertes la proportion des différents sels en présences et relativement constante. En particulier la somme des ions chlorures et sodium représentent environ 85% du poids total des sels. (A.D.E,2005)

2.4. Composition chimique de l'eau de mer :

Généralement, les sels présents dans l'eau se trouvent sous forme de cations et anions. Le tableau 3 présente les principaux ions que l'on retrouve dans l'eau de mer.(Desjardins, 1990)

Tableau II- 3:Composition chimique de l'eau de mer

Type d'ions		Salinité (g/l)	Quantité totale de matières en solution (%)
Anions	Chlorures	18,98	55,04
	Sulfates	2,65	7,68
	Bicarbonates	0,140	0,41
	Bromures	0,065	0,19
	Fluorures	0,0013	0,00
	Acide borique	0,0260	0,07
Cations	Sodium	10,56	30,61
	Magnesium	1,27	3,69
	Calcium	0,40	1,16
	Potassium	0,38	1,10
	Strontium	0,013	0,04

3. Définition de dessalement:

Le dessalement de l'eau (également appelé dessalage) est un processus qui permet de retirer le sel de l'eau salée ou saumâtre afin de la rendre potable après traitement. La technique de déminéralisation consiste à séparer les sels dissous dans l'eau et à éliminer l'excès des ions en solution causant une minéralisation excessive. L'élimination peut être obtenue grâce à des procédés variés de traitement des éléments constituant la solution saline, dont les plus répandus sont les sulfates, les chlorures et divers ions halogènes (Morvan, 2006)

Une installation de dessalement peut être schématiquement subdivisée en 04 postes.

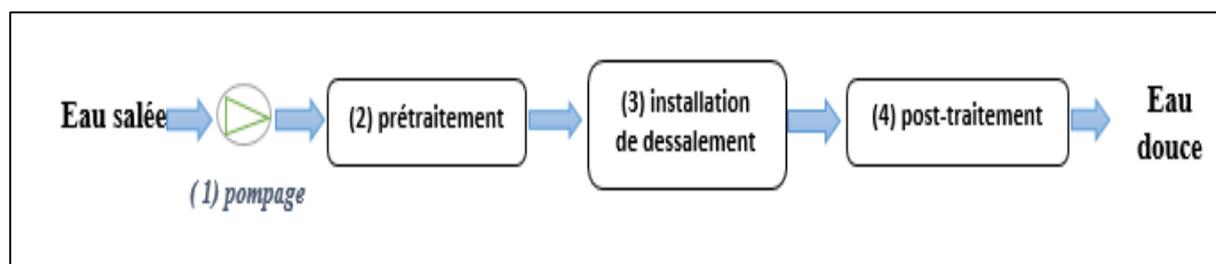


Figure II- 1:Schéma générale d'une installation de dessalement

4. Différents procédés de dessalement:

Il existe plusieurs procédés de dessalement qui peuvent être classés en deux grandes familles : les procédés avec changement de phase dit « procédés thermique » qui ont une forte consommation énergétique et les procédés sans changement de phases dits « procédés membranaires ». (Belhout.D, 2013)

La figure suivante montre les différents procédés de dessalement employés dans le monde.

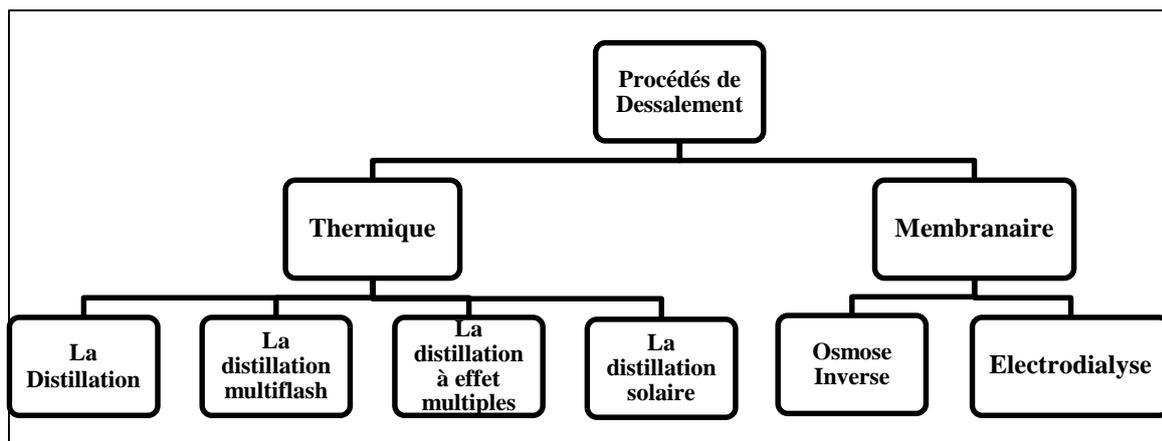


Figure II- 2: Différents procédés de dessalement

4.1. Techniques thermiques:

Les procédés thermiques sont principalement des procédés de distillation. Le procédé de distillation consiste simplement à évaporer l'eau de mer sous forme de vapeur d'eau qui est ensuite condensée. Ce procédé est utilisé depuis l'Antiquité. De nos jours, la distillation peut être réalisée suivant différentes techniques : la distillation « simple ou multiples effets », la distillation par « détentes successives » appelée aussi « multi-flash ou flash ».

4.1.1. Distillation:

C'est un procédé simple qui consiste à faire chauffer de l'eau de mer jusqu'à évaporation ; la vapeur ainsi produite est dépourvue de sels et d'impuretés en tout genre, et il suffit ensuite de condenser cette vapeur pour obtenir de l'eau douce et potable. Il s'agit en fait de reproduire de façon industrielle le cycle de l'eau. Ainsi, seules les molécules d'eau s'échappent lors du phénomène d'évaporation, laissant en dépôt les sels dissous et toutes les autres substances contenues dans l'eau de mer. La vapeur d'eau est alors condensée afin d'obtenir une eau douce tout à fait consommable. (desalinisation.e-monsite)

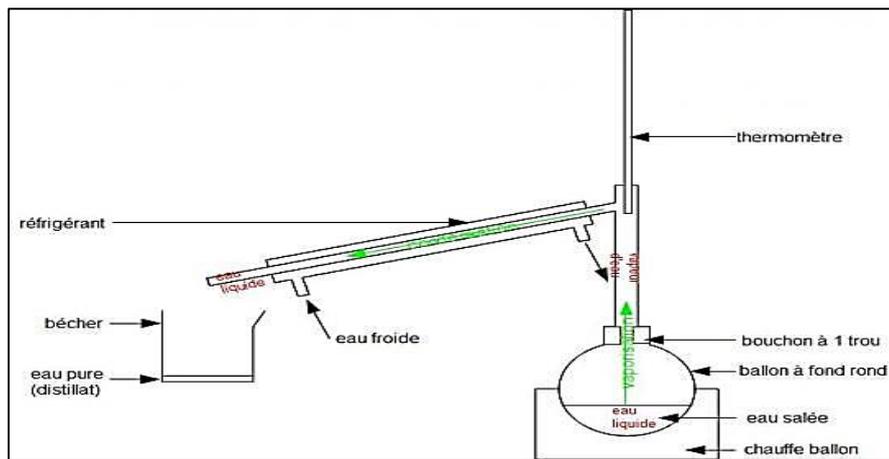


Figure II- 3: Procédé de distillation d'eau de mer

4.1.2. Distillation multistage:

L'eau de mer est chauffée à 120°C dans des conduits. Elle est ensuite envoyée dans un container à faible pression. L'eau est alors immédiatement transformée en vapeur par détente appelée Flash. La vapeur résultante va entrer au contact avec les premiers conduits dans lesquels passe l'eau de mer. Ces conduits, froids, vont alors provoquer la condensation de cette vapeur qui est alors récupérée à l'état aqueux.

L'eau qui ne se sera pas évaporée dans ce container, sera récupérée puis transférée dans un deuxième compartiment du même type ayant une pression atmosphérique moindre par rapport au premier. L'opération est alors répétée plusieurs fois à la suite d'où le nom de multistage. (Il existe des usines de dessalement dans lesquels l'opération se répète dans 40 compartiments).

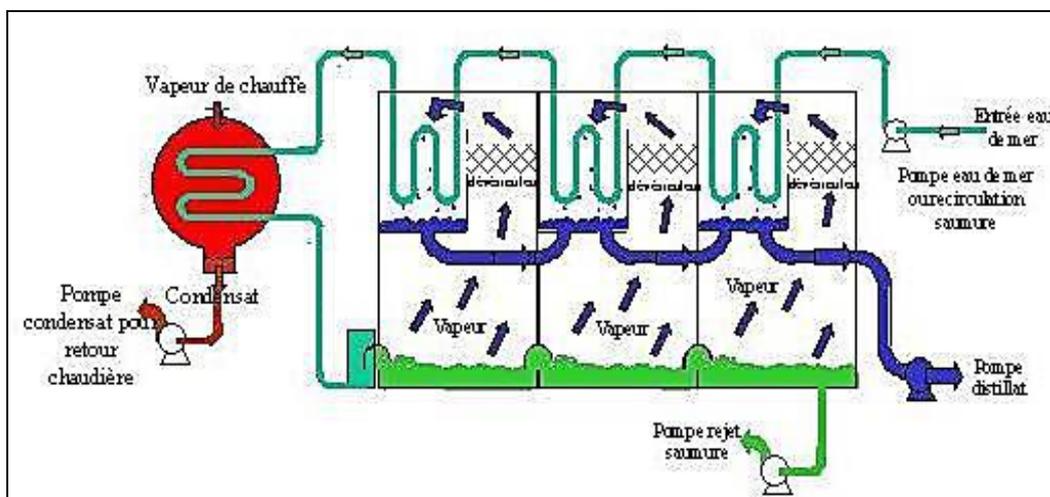


Figure II- 4: Procédé de distillation multistage d'eau de mer

4.1.3. Distillation à effet multiples:

Cette technique est moins utilisée étant donné sa faible production d'eau douce et son installation coûteuse. Elle reste cependant la méthode de distillation la plus importante pour petites et moyennes installations (de 1000 à 15 000 m³ par jour). De plus, ce procédé permet d'économiser 15 à 20% d'énergie par rapport au multi flash. (desalinisation.e-monsite)

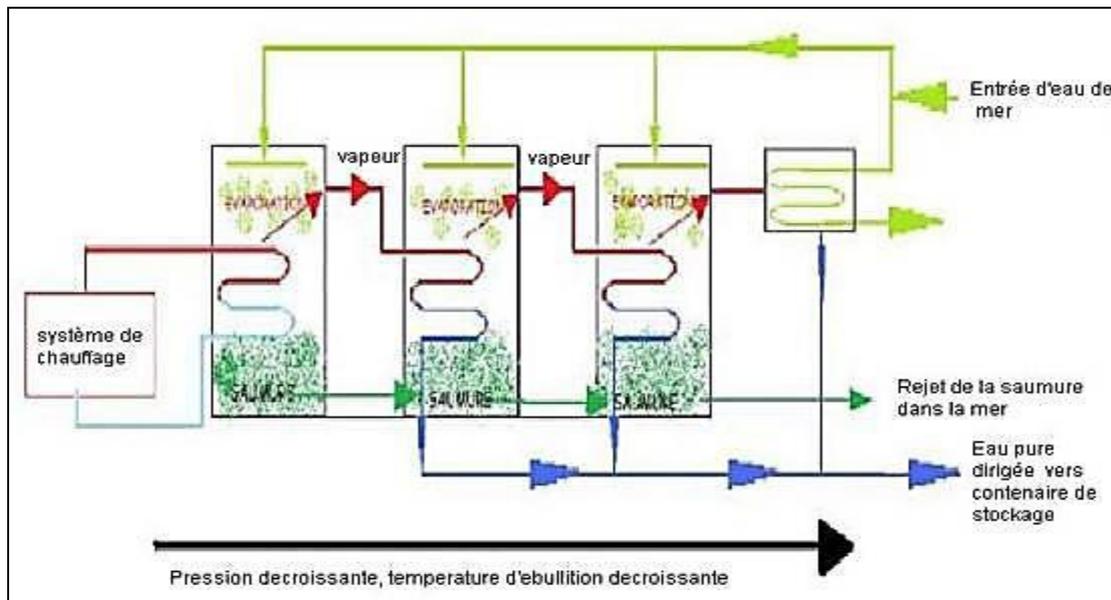


Figure II- 5: Procédé de distillation à effets multiples d'eau de mer.

4.1.4. Distillation solaire:

Le soleil chauffe la mer ce qui permet à l'eau de s'évaporer et au sel de rester en surface. Le principe de cette méthode correspond exactement à la distillation. La seule différence qu'il y a entre les 2 procédés est que la distillation par énergie solaire se fait naturellement. En effet, ce procédé imite le cycle de l'évaporation de l'eau. Cette méthode, même si elle est plus longue que la distillation en entreprises, est beaucoup plus écologique que cette dernière. (desalinisation.e-monsite)

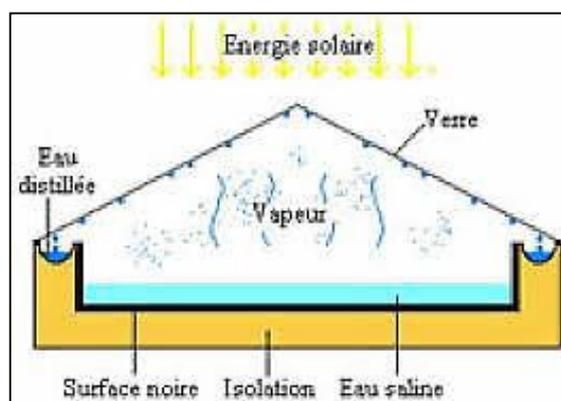


Figure II- 6: Procédé de distillation solaire d'eau de mer.

4.2. Techniques 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. (A. Maurel, 2006)

4.2.1. Electrolyse :

Le principe de l'électrolyse est bien connu. Les ions d'un sel dissous dans l'eau, comme le chlorure de sodium par exemple, se déplacent sous l'action d'un champ électrique créé par deux électrodes trempant dans le liquide. Les ions positifs ou cations (Na^+) sont attirés par l'électrode négative (ou cathode) tandis que les ions négatifs (Cl^-) sont attirés par l'électrode positive. Dans l'électrodialyse, on intercale alternativement des membranes filtrantes soit imperméables aux anions et perméables aux cations, soit imperméables aux cations et perméables aux anions. On obtient ainsi une série de compartiments à forte concentration de sels et d'autres à faible concentration.

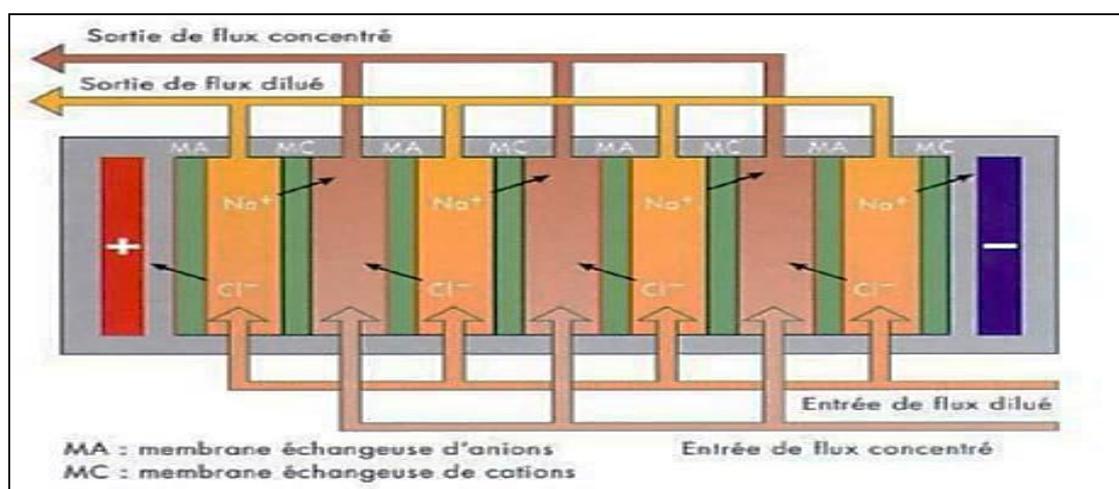


Figure II- 7:Principe de fonctionnement de l'électrodialyse.

4.2.2. Osmose inverse :

4.2.2.1. Définition :

L'osmose inverse est un procédé de séparation de l'eau et des sels dissous au moyen de membranes semi-perméable sous l'action de pression (54 à 80 bars pour le traitement de l'eau de mer). Ce procédé fonctionne à température ambiante et n'implique pas de changement de phase. Les membranes polymères utilisées laissent passer les molécules d'eau et ne laissent pas passer les particules, les sels dissous, les molécules organiques de 10 – 7 mm de taille.

L'énergie requise par l'osmose inverse est uniquement celle électrique consommée principalement par les pompes à haute pression.

La teneur en sels de l'eau osmosée est de l'ordre de 0.5 g/l.

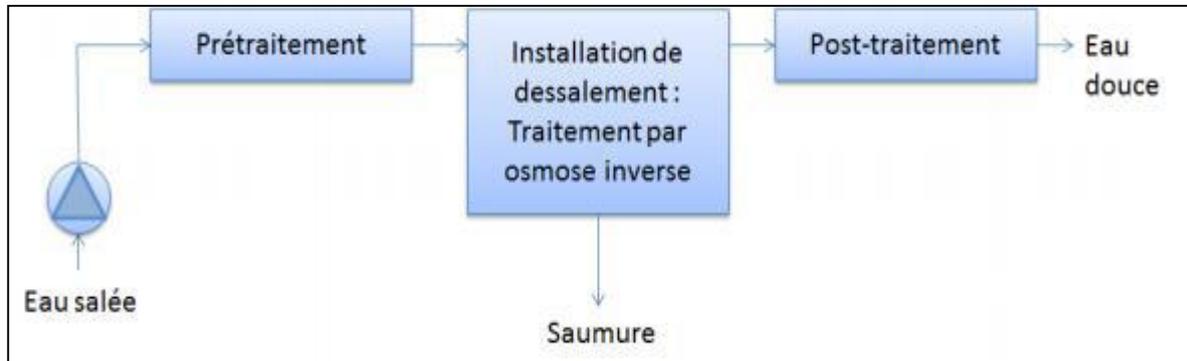


Schéma II- 1: Installation de dessalement par osmose inverse.

4.2.2.2. Principe de l'osmose inverse :

On appelle osmose le transfert de solvant (eau dans la plupart des cas) à travers une membrane semi-perméable sous l'action d'un gradient de concentration.

Soit un système à deux compartiments séparés par une membrane semi-perméable et contenant deux solutions de concentrations différentes (figure 7). Le phénomène d'osmose va se traduire par un écoulement d'eau dirigé de la solution diluée vers la solution concentrée. Si l'on essaie d'empêcher ce flux d'eau en appliquant une pression sur la solution concentrée, la quantité d'eau transférée par osmose va diminuer. Il arrivera un moment où la pression appliquée sera telle que le flux d'eau s'annulera. Si, pour simplifier, nous supposons que la solution diluée est de l'eau pure, cette pression d'équilibre est appelée pression osmotique.

Une augmentation de la pression au-delà de la pression osmotique va se traduire par un flux d'eau dirigé en sens inverse du flux osmotique, c'est-à-dire de la solution concentrée vers la solution diluée : c'est le phénomène d'osmose inverse.

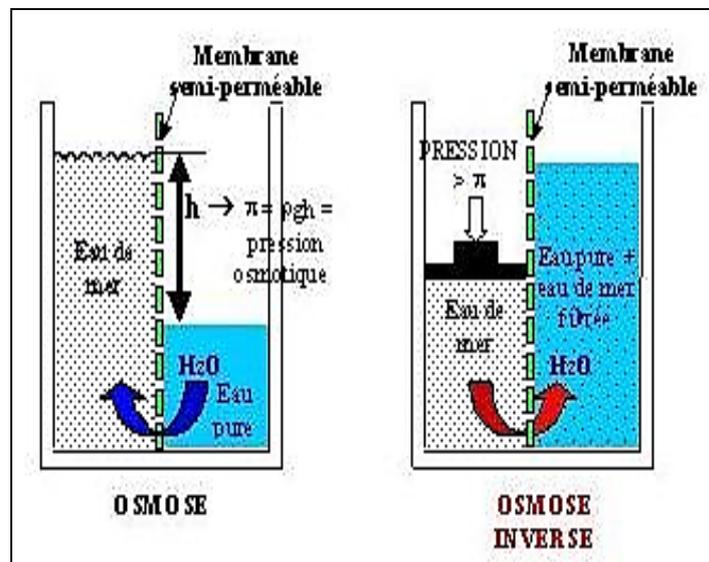


Figure II- 9:Principe de l'osmose et l'osmose inverse.

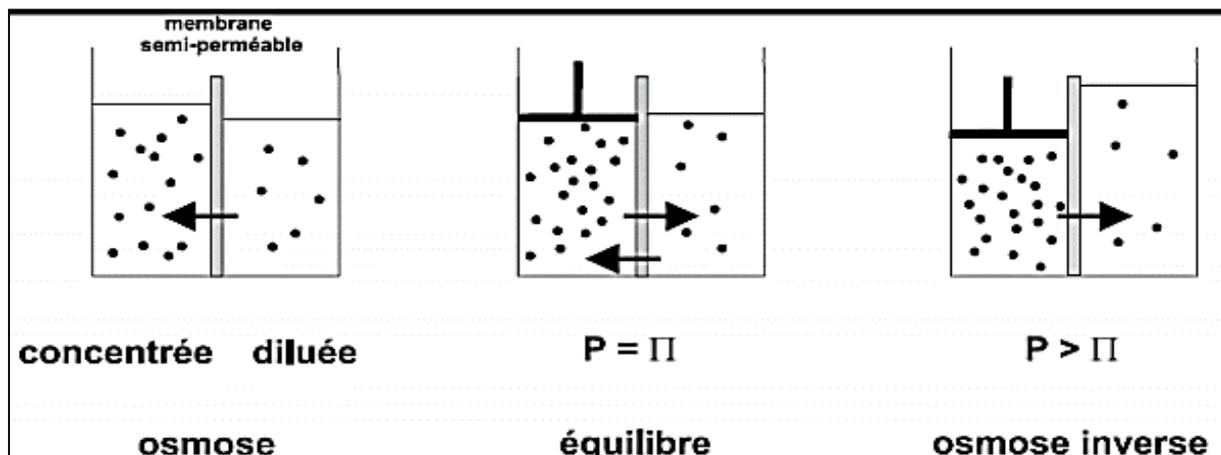


Figure II- 8:L'osmose et l'osmose inverse.

5. Autres procédés de dessalement :

5.1. Echange ionique :

Les atomes et molécules électriquement chargés sont des ions. Le traitement connu sous le nom d'échange d'ions emploie des résines spéciales pour éliminer les contaminants minéraux tels que l'arsenic, le chrome, le calcium, le radium, l'uranium et des anions tels que les nitrates et les fluorures excédentaires de l'eau.

Ce traitement fonctionne au mieux dans une eau débarrassée des particules en suspension qui peuvent s'agglutiner sur la résine et limiter son efficacité. Les échangeurs ioniques commerciaux courants sont, aujourd'hui, des résines synthétiques au sein desquelles des

groupes chimiques fonctionnels jouent le rôle d'échangeurs. La capacité d'échange d'un échangeur ionique est exprimée en milliéquivalent par gramme ou par litre d'échangeur, on trouve aussi les unités de CaCO₃ par gramme ou par litre d'échangeur. La capacité totale d'échange n'est en pratique jamais atteinte. (sciences, 2007)

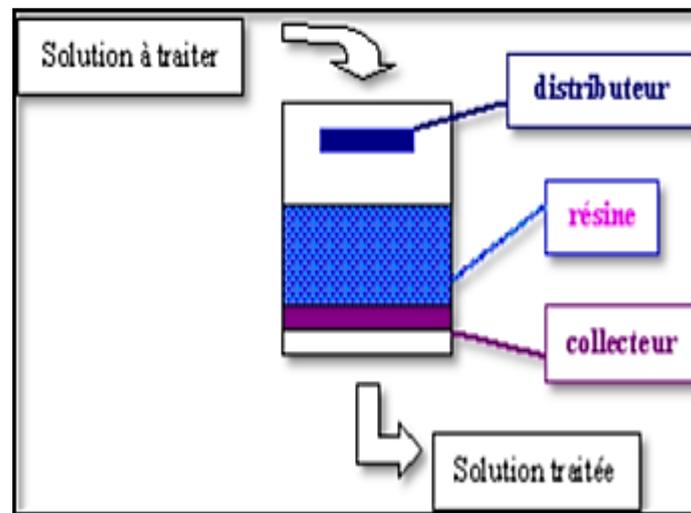


Figure II- 10:Colonne échangeur d'ions.

5.2. Dessalement par congélation :

Elle peut être séparée de la solution concentrée, puis fondue afin d'obtenir une eau douce. Les opérations unitaires d'un procédé de dessalement par congélation sont :

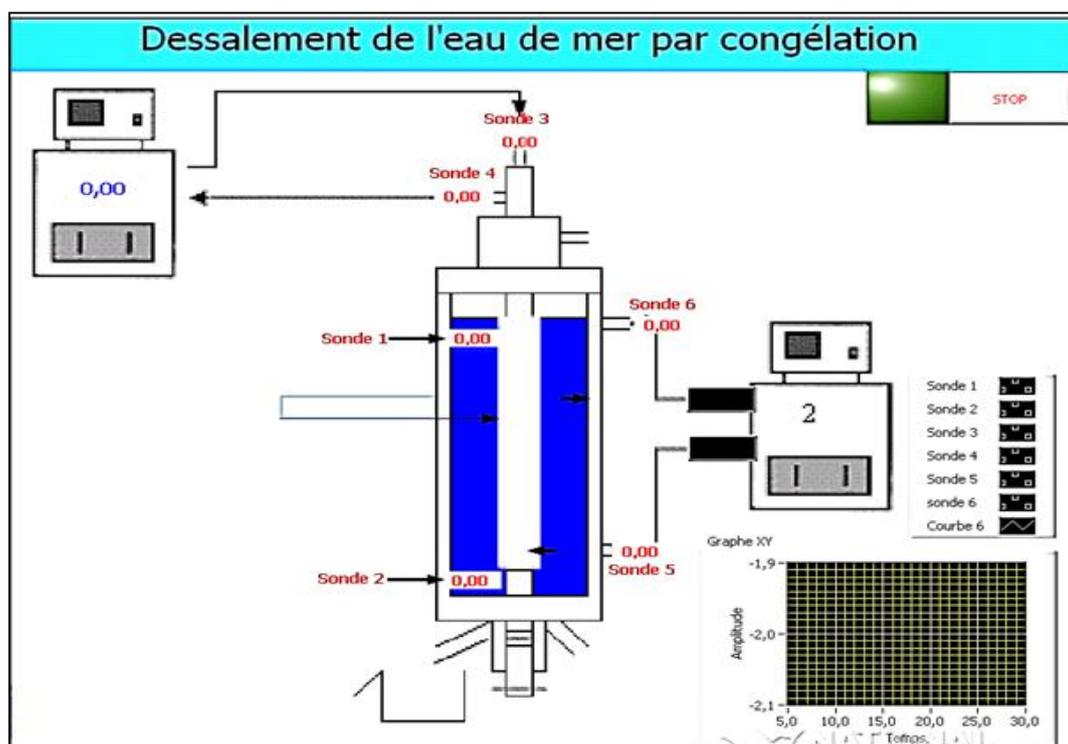


Figure II- 11:Dessalement par congélation.

1. Le prétraitement de l'eau de mer (élimination des solides en suspension, élimination des gaz dissouts pour les procédés sous vide),
2. La formation des cristaux de glace à partir de la solution saline (pour les procédés en suspension, des cristaux de grande taille sont souhaités pour faciliter le lavage),
3. Le lavage et/ou ressuage des cristaux de glace (pour les procédés continus, lavage dans une colonne par environ 5% de l'eau produite),
4. La fusion des cristaux de glace. (W.E.Johnson, 1976)

6. Avantages et inconvénients de l'osmose inverse :

6.1. Avantage de l'osmose inverse :

- Investissement faible dû à l'alimentation des membranes et à une diminution importante des coûts des membranes.
- Faible consommation énergétique par rapport aux autres procédés.
- Spécialisation du personnel exploitant moins importante et contrôle de l'installation facile.
- Surface d'implantation moindre pour ce procédé. Délais de réalisation moindre pour l'osmose inverse d'environ 50% de 6 à 8 mois en fonction de la capacité.
- Réduction des faits de pompage et de pré traitement des eaux brutes qui permet de réduire l'impact sur l'environnement.
- La salinité de l'eau produite qui se situe aux environs de 300 à 500 ppm convient bien pour les usages domestiques. (DINE,2018)

6.2. Inconvénients de l'osmose inverse :

- Les membranes sont semi perméables au colmatage et en particulier au biofouling.
- Consommation de pièces de rechanges entraînée par l'oxydation des métaux.
- La salinité élevée 45 et 50 g/l entraîne une hausse non négligeable des coûts (nécessite de prévoir dans certains cas deux étages pour maintenir la qualité de l'eau déminéralisée).
- Nécessite un entretien et une exploitation dans les règles.
- Emploi des produits chimiques pour nettoyer les membranes.
- Trace des métaux lourds échappés aux installations. (DINE,2018)

7. Paramètres influant la performance des membranes :

7.1. Facteurs physiques :

7.1.1. Température :

Cette préentrée influence fortement les performances d'un osmoseur, en raison principalement de la modification de la viscosité de l'eau :

Une eau froide, d'une viscosité plus élevée, traverse moins facilement une membrane. La pression d'alimentation de l'osmoseur devra alors être plus importante. Dans la pratique, la température maximale acceptable est entre 40 et 50°C. (Myah Tipaza,2018)

7.1.2. Matières en suspension dans l'eau à traiter :

Les membranes perdent toute leur efficacité si le dépôt est trop important et empêche le passage de l'eau. Il faudra donc éliminer ces particules, dans le cas d'une eau très chargée, par l'utilisation de prétraitements (floculation, filtration). (Myah Tipaza, 2018)

7.2. Facteurs chimiques :

7.2.1. pH :

Il peut provoquer des hydrolyses dans ses valeurs extrêmes. On maintient donc un pH entre 4 et 7, voire de 2 à 11 avec les membranes composites. (Myah Tipaza,2018)

7.2.2. Précipitation :

Certains sels peu solubles tels les sulfates de calcium ou de baryum peuvent précipiter et boucher les pores de la membrane. Là encore, des prétraitements tels la décarbonatation, le désiliciage ou la désertisation peuvent être mis en oeuvre avant le traitement par osmose inverse. (Myah Tipaza,2018)

7.2.3. Formation du tartre :

L'entartrage est un dépôt de sels minéraux qui sont constitués principalement par du carbonate de calcium CaCO_3 , de l'hydroxyde de magnésium $\text{Mg}(\text{OH})_2$ et du sulfate de calcium CaSO_4 , ce dépôt a tendance à se former sur les surfaces d'échange.

Il arrive que la membrane s'entarte lorsque la concentration des composants ioniques contrairement chargés de sels dissous en solubilité.

A ce point, la concentration élevée d'ions résultera en ions individuels devenus suffisamment prêts, de sorte que l'attraction entre eux est plus grande que l'attraction qu'ils ont pour les molécules d'eau. (Myah Tipaza, 2018)

Conséquences de l'entartrage

- ✓ La formation du tartre pourrait causer la baisse du taux de flux de perméat, ainsi que la pression du concentré.
- ✓ La formation du tartre pourrait affecter le rejet des ions dissous de la membrane.
- ✓ La formation du tartre pourrait être ordinairement prévenue par le propre prétraitement de l'osmose inverse lorsque cela se produit, la capacité de nettoyer la membrane dépendra de sa rigueur, et de son type du tartre.
- ✓ Les tartres carbonisés sont relativement faciles à nettoyer, tandis que les tartres sulfate et silice pourraient être très difficile à nettoyer. (Myah Tipaza, 2018)

7.2.4. Corrosion :

C'est la conséquence de l'agressivité marquée de l'eau de mer aux températures élevées. Elle s'explique par la teneur élevée en ions de chlorures, qui facilitent le développement d'effets galvaniques, par la présence d'oxygène dissous ou de bactéries, d'organismes marins divers ou de sulfure d'hydrogène dans certaines pollutions. L'usage des matériaux nobles tels que le bronze d'aluminium, les aciers inoxydables, permet de minimiser ce problème. Le choix entre l'un ou l'autre de ces matériaux dépend des températures, des vitesses de circulation de l'eau de mer, du prétraitement choisis et de la constitution de ces matériaux. (Myah Tipaza, 2018)

7.2.5. Colmatage :

Le terme, colmatage (encrassement), est généralement utilisé dans l'industrie de la membrane pour décrire la perte de la performance de la membrane causée par les contaminants de l'eau, et qui ne dépend pas de leurs concentrations.

Les solides suspendus ont une tendance à se collecter dans les couches frontalières près de la surface de la membrane. Ils peuvent être emmenés suffisamment prêts à venir à bout de leurs charges répulsives qui devront les tenir normalement à part. Ils peuvent alors se regrouper en une large particule qui est susceptible de se coller à la surface de la membrane.

Les bactéries croissantes à l'intérieure des éléments de la membrane peuvent causer le colmatage. Cela pourrait se produire dans la couche frontalière où le matériel d'espacement survie grâce aux matériaux organiques existants dans l'eau. (Myah Tipaza, 2018)

Conséquences du colmatage :

- ✓ Attaque chimique éventuelle des membranes (acides organique) ou des métaux (corrosion).
- ✓ Développement des micro-organismes dans les parties des installations où les conditions physico chimiques le permettant peuvent accentuer le phénomène par suite de la formation de films biologiques sur les surfaces de transfert (biofouling)
- ✓ Entartrage par suite d'une augmentation localisée de l'eau à traiter.
- ✓ Diminution de la capacité de production de l'installation.
- ✓ Augmentation de la perte de charge dans les modules par suite de la diminution des sections de passage de l'eau à traiter. (Myah Tipaza, 2018)

Chapitre III :

Description du procédé
de dessalement par
osmose inverse

**CHAPITRE III : DESCRIPTION DU PROCÉDE DE DESSALEMENT PAR
OSMOSE INVERSE****1. Description du procédé de dessalement par osmose inverse :****1.1. Prise d'eau de mer :**

Les têtes des prises d'eau sont en acier. Au stade de la proposition, il est considéré que les têtes des prises d'eau reposeront sur un fond marin stable et qu'aucune fondation particulière n'est nécessaire.

Les grilles d'entrée de la prise d'eau sont à environ 6 m du fond marin pour éviter l'entraînement de particules du fond marin remises en suspension par l'action des courants et pour éviter une mise à l'air lors des houles extrêmes. La vitesse d'entrée de la prise d'eau est limitée à 0.1 m/s afin d'éviter l'aspiration des solides en suspension et des débris. Des barreaux de 20 mm espacés de 100 mm c/c sont prévus pour minimiser l'introduction de gros débris dans la prise d'eau. Ces barreaux sont montés sous la forme des grillages amovibles qui peuvent être facilement démontables pour l'entretien. En effet, il est prévu que ces grilles constitueront des endroits propices à la prolifération de moules étant donné que la faible vitesse de l'eau à ces endroits favorise la croissance des larves.

Une chloration choc est prévue à l'intérieur des têtes de prise d'eau. Il n'est cependant pas réaliste de considérer que les grilles, compte tenu de leur surface, seront exposées à des concentrations assez élevées de chlore pour empêcher la prolifération biologique. La chloration choc aura cependant un effet positif pour limiter la prolifération des organismes à l'intérieur des conduites.

Le dosage d'acide sulfurique à l'intérieur des têtes de prises sera prévu pour augmenter l'effet bactéricide de l'hypochlorite et protéger plus efficacement les conduites jusqu'au puits d'eau de mer.

Les prises d'eau sont munies de trappes d'accès permettant un accès aux conduites. Les chambres seront remorquées jusqu'à leur emplacement et seront submergées de façon contrôlée sur un lit horizontal creusé auparavant dans le fond de la mer. (Myah Tipaza, 2018)

1.1.1. Conduite de prise d'eau :

Les critères de conception pour les conduites de prise d'eau sont les suivants :

- Deux conduites avec un diamètre DN1600 mm sont prévues (2× 100%).
- En condition normale, chaque conduite passe 100% du débit ;

- La conception des conduites d'amenée est aussi basée sur les principes suivant :
- Les conduites sont en PEHD.
- Le puits de pompage d'eau brute et les pompes sont conçus pour permettre le fonctionnement des prises d'eau lors de l'entretien d'une conduite.
- La longueur et l'emplacement des prises d'eau sont environ 1100 m de longueur et à 15 m de profondeur d'eau.
- Les conduites d'adduction sont posées en pente constante à un niveau de radier croissant en direction de la berge afin d'éviter l'accumulation d'air ou de gaz.
- Des regards d'inspection sont prévus à tous les 300 m environ afin de permettre une inspection visuelle.
- La vitesse dans les conduites est comprise entre 1.0 et 2.0 m/s pour limiter la formation des dépôts et réduire l'incrustation de moules.
- Un coefficient de friction $C=150$ a été retenu pour les calculs. Des vérifications sont également réalisées pour un $C= 130$, soit la condition selon laquelle des algues se développeraient à l'intérieur des conduites en polyéthylène.

Notons que la perte de capacité en raison de prolifération de moules zébrées à l'intérieur des conduites n'est pas prévue, car la vitesse à l'intérieur des conduites est supérieure à 1.0 m/s. En effet, la littérature indique que les moules ne peuvent se former à cette vitesse.

Les conduites seront déposées sur le fond marin. Cependant, les 300 premiers mètres de conduite à partir de la station de pompage seront enfouis sous le fond marin pour protéger les conduites et assurer leur stabilité contre l'effet des vagues. Cette longueur correspond à une hauteur d'eau entre 5 et 6 m au-dessus des conduites. (BRAHIMI,2018)



Figure III- 1: Bouées de signalisation indiquant le positionnement de la conduite d'aspiration d'eau de mer.

1.2. Prétraitement :

Il a pour but la protection des membranes contre les différents types de colmatage, précipitation des sels minéraux ainsi la durée de sa vie pour longue utilisation car ils coûtent très cher.

Les procédés de prétraitement sont divisés en deux catégories : les prétraitements chimiques et les prétraitements physiques. (BRAHIMI,2018)

1.2.1. Prétraitement chimique :

Il s'agit d'une injection de plusieurs réactifs.

▪ Désinfection et acidification :

L'eau de mer contient divers micro-organismes, bactéries, protozoaires qui pourraient contribuer à la formation de biofilm sur la surface de la membrane. Un biofilm est une colonie de bactéries qui croît sur une surface où il y a des nutriments et une source organique. Éliminer les bactéries et les micro-organismes avant l'arrivée de l'eau sur les membranes empêchera toute précipitation biologique.

La dose de chlore standard est de 3 mg/l de chlore actif. On injecte soit l'Hypochlorite de sodium (NaOCl) ou l'Hypochlorite de calcium (CaOCl) pour des petites unités ou du chlore gazeux (Cl₂) pour des unités de taille moyenne.

Le pH devrait être de l'ordre de 7.5 afin d'avoir un potentiel de désinfection optimal. (BRAHIMI,2018)

▪ Coagulation :

La coagulation implique l'élimination des particules colloïdales, c'est-à-dire les particules en suspension qui se basent sur leurs dimensions moyennes de 5 à 200 nm, sont considérées comme colloïdales. Ces derniers confèrent à l'eau des propriétés indésirables. (BRAHIMI,2018)

Le but principal de la coagulation est de déstabiliser la charge électrique des particules colloïdales pour favoriser leur agglomération, en ajoutant des coagulants habituellement des sels de métaux trivalents Sulfate d'Alumine Al₂(SO₄)₃·8H₂O ou chlorure ferrique FeCl₃ qui est le plus utilisé dans le dessalement de l'eau de mer. (BRAHIMI,2018)

▪ Flocculation :

Elle consiste à agglomérer sous forme de floccs des particules colloïdales neutralisées auparavant par coagulation. Les membranes de l'osmose inverse sont chargées négativement, il est recommandé d'utiliser des flocculant non ioniques ou anioniques, pour éviter le colmatage, comme le polyacrylamide. (BRAHIMI ,2018)

▪ Décantation :

L'ouvrage de décantation est nécessaire lorsque l'eau brute est trop chargée pour subir une filtration directe (MES supérieure à 25 mg/l environ). Pour améliorer la décantation, il est préférable d'aménager une zone de flocculation avec agitation lente à l'entrée du bassin, pour favoriser le grossissement des floccs et améliorer leur décantation. (BRAHIMI ,2018)

▪ Elimination du chlorure :

Compte tenu de la grande sensibilité des membranes d'osmose inverse en polyamide, il est indispensable d'assurer une déchloration de l'eau de mer avant son entrée dans les modules on ajoute un anti scalant (ou Méta bisulfate de sodium) un réducteur de chlore. (BRAHIMI ,2018)



Figure III- 2:Réservoirs des produits chimiques

▪ Station de pompage :

L'eau brute sera pompée vers les filtres à sable.

Les pompes de type horizontal sont soigneusement choisies pour résister à la forte agressivité de l'eau de mer. La station de pompage est basée sur 6+1R pompes d'une

capacité de 1974 m³/h chacune (total 11844 m³/h > 11404 m³/h pour absorber de débit supplémentaire pendant la maturation des filtres à sable). (BRAHIMI ,2018)



Figure III- 3: Station de pompage de l'eau brute

▪ **Grilles :**

Trois dégrilleurs manuels verticaux sont à l'entrée de la station pour la protection des pompes d'eau de mer, contre les débris majeurs qui peuvent entrer par la prise, comme de branche, des algues, des poissons... (BRAHIMI ,2018)

1.2.2. Prétraitement physique :

1.2.2.1. Filtres à sable :



Figure III- 4: Filtre à sable

Les filtres sont opérés à un niveau et débit constant. Au niveau de la filtration gravitaire, il est opté pour l'installation des filtres bicouches.

Ce système élimine la plupart des matières en suspension $MES \geq 25 \mu m$ de certains parasites, huiles et graisses, particules et des précipités de fer, aluminium et manganèse qui restent dans l'eau de mer, à travers un passage de 20 filtres bicouches qui sont constitué d'une

couche de sable, et une couche de carbone actif (anthracite) qui va rendre l'eau inodore, incolore, sans gout et sans chlorure. (BRAHIMI ,2018)

▪ **Réservoir d'eau filtrée :**

Il a un volume de 950 m³, il est prévu pour stocker les eaux filtrées avant leur pompage vers les filtres à cartouches. Le réservoir est séparé en deux compartiments pour en permettre l'entretien.

L'eau qu'a traversée les filtres à sables va être pompée à l'aide de 07 pompes dont le débit est de 1870 m³/h vers les filtres à cartouches pour éliminer les particules de plus de 5 µm.

1.2.2.2. Filtres à cartouches :

Afin de filtrer les petites particules pouvant s'échapper des filtres à sable et protéger ainsi les membranes contre un encrassement des filtres à cartouches capables de filtrer des particules jusqu'à 5 microns sont installés en amont des unités d'osmose.

C'est une microfiltration permettant d'éliminer les MES ≥ 2 à 1 µm, assurée par des cartouches dans 10 filtres (cylindres), chaque filtre contient 275 cartouches.

- Le chlore est l'ennemi de la membrane, alors il faut le réduire en ajoutant le bisulfate de sodium dans l'aval de la microfiltration. Lorsque la baisse de pression à travers les filtres à cartouches dépasse une valeur préétablis (environ 1.5 bars), la cartouche du filtre doit être remplacée. La fréquence de remplacement est estimée à environ 4 fois par l'an.



Figure III- 6:Filtres à cartouches.



Figure III- 5:Cartouches

1.3. Traitement :

1.3.1. Filières d'osmose inverse :

Après que l'eau ait subi un prétraitement arrive l'étape de l'osmose inverse qui consiste à faire passer l'eau à travers les membranes à l'aide de la pompe HP qui fournit une pression jusqu'à 66 bars en plus des 4 bars de la pompe booster d'où les 70 bars pour faire passer l'eau dans la membrane il en résulte de celle-ci 45% de perméat (eau potable) sous une pression de 1 bar et 55% de rejet (saumure) d'une pression de 69 bars, en la rejetant une partie de l'énergie est récupéré dans un système de récupération d'énergie. (BRAHIMI ,2018)



Figure III- 7:Filière d'osmose inverse

A. Membrane utilisée

Dans la station de dessalement de Fouka les membranes sont faites à base de polyamide, sont fabriqués en forme plate et ensuite sont enroulés pour former les membranes en spirale. (BRAHIMI ,2018)

B. Type des membranes utilisées

La membrane utilisée dans l'étude c'est la membrane SW4+ était fabriquée en polyamide d'une formule suivante :

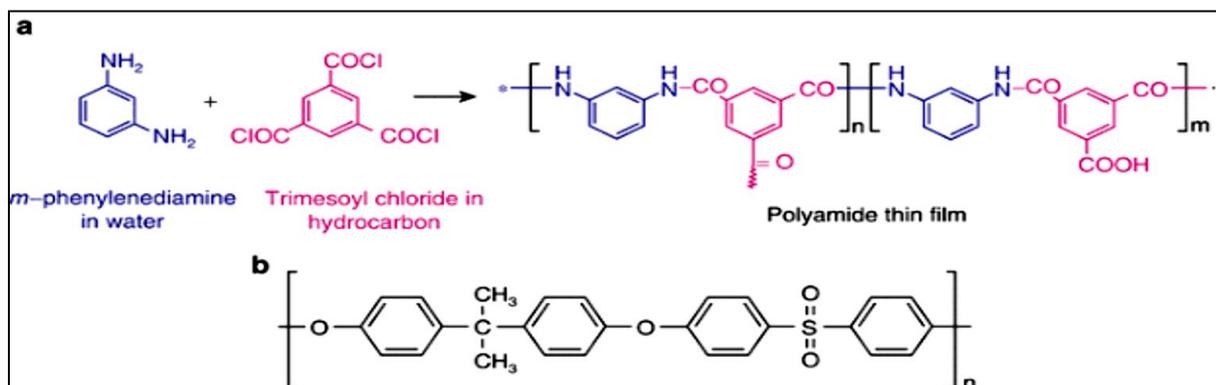


Figure III- 8:Membrane polyamide

C. Caractéristiques de la membrane SWC4+ :

Le tableau suivant récapitule les caractéristiques concernant la membranes SWC4+ :

Tableau III- 1:Caractéristiques de la membrane SW4+

Type	Membrane	Diamètre (mm)	Débit de perméat	Surface	Pression max	Rejet de sel
Hydranautics	SWC4+	8	24.6m ³ /J	37.2 m ²	82.7 bar	99.8%

Le système d'OI comporte 06 unité chacune est composée de :

- Train de membranes (rack) composé de 216 tubes de pression et chaque tube comporte 7 membranes ;
- Une pompe Booster ; m³/h et bars
- Une pompe haute pression PHP ; m³/h et bars
- Et un système de récupération d'énergie (ERI) ; m³/h et bars. (BRAHIMI ,2018)

1.3.2. Pompes:

1.3.2.1. Pompes haute pression (HP) :

La pompe haute pression joue un rôle très important dans une installation d'osmose inverse, et elle est liée directement à la consommation d'énergie par son rendement. La pompe HP fournit à la membrane la pression lui permettant d'effectuer l'osmose inverse, la pression fournit doit être de 69 bar et s'appuyer par une pompe booster juste après un système de récupérateur d'énergie. Donc 66 bar fournit par la pompe HP et 4 bars par la pompe booster. (DINE ,2018)



Figure III- 9:Pompe HP

1.3.2.2. Pompe booster :

La pompe booster est une pompe qui aide à ajouter une pression de 4 bars à l'eau d'alimentation qui sort de récupérateur d'énergie. (DINE ,2018)



Figure III- 10:Pompe booster

1.3.3. Système de récupération d'énergie :

Dans le système d'osmose inverse le concentrât est rejeté sous haute pression arrivant jusqu'à 70 bars, c'est pourquoi il est important de récupérer de l'énergie du débit de concentrât.

La récupération d'énergie de saumure produite pendant le procédé d'osmose se fait grâce à des échangeurs. (DINE ,2018)



Figure III- 11:Echangeur de pression ERI utilisé à l'usine

1.3.3.1. Mode de fonctionnement :

Depuis quelques années, un nouveau concept de récupération d'énergie fait ses preuves sur les installations de dessalement par osmose inverse et permet de récupérer 95% de l'énergie

de rejet de saumure, c'est le système d'échangeur de pression PX (Pressure Exchanger) de la compagnie américaine ER.

Les pompes d'eau filtrée fournissent à l'installation la même quantité d'eau de mer 1033 m³/h à 4 bars pour chaque unité, mais cette fois, seulement 30% sont dirigés vers une pompe haute pression (HP) pour chaque unité.

Le complément de 70% est envoyé vers l'échangeur de pression de PX qui transmet la pression de 58 bars des 723 m³/h de saumure à cette nouvelle eau de mer.

L'eau de mer montée à 65 bars sort de l'échangeur, récupère sur un booster en ligne les 3 bars qui lui manque pour rejoindre l'eau de mer sortante de la pompe haute pression et c'est bien un débit de 1033 m³/h à 69 bars qui entre dans le module d'osmose inverse, donc dans les mêmes conditions que le schéma standard. La production est donc identique à savoir 464 m³/h d'eau douce. La différence de 569 m³/h se trouve à la sortie saumure sous 68 bars et revient vers l'échangeur pour fournir l'énergie à l'eau de mer. La saumure, après avoir cédé sa pression sort de l'échangeur vers le rejet à la pression atmosphérique. (DINE ,2018)

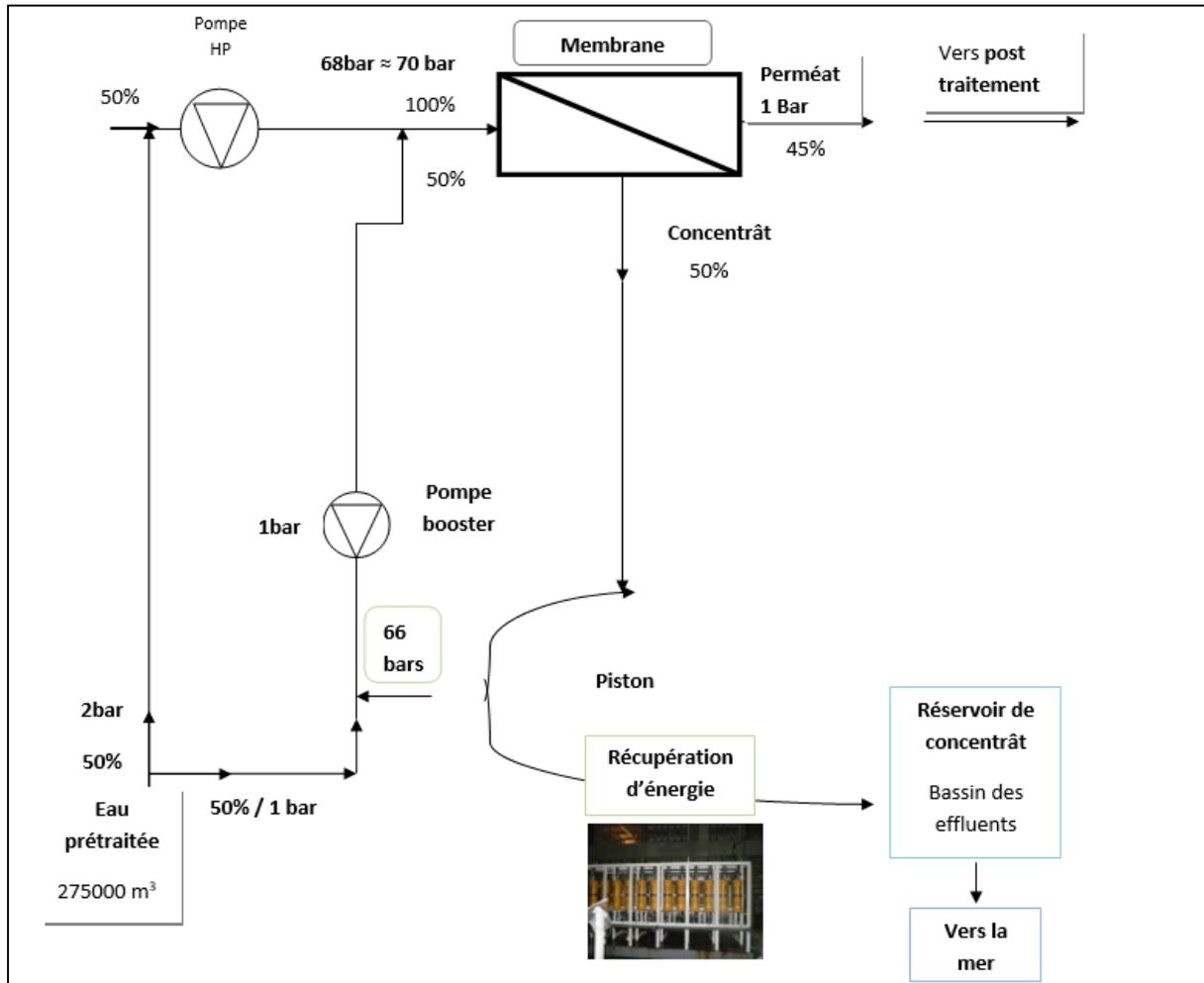


Figure III- 12: Circuit de l'eau prétraitée dans la 2ème étape du procédé (traitement)

1.4. Post traitement :

L'usine de Fouka est équipée de dispositifs de correction de la dureté et de l'alcalinité pour stabiliser la nature relativement agressive de l'eau dessalée produite et lui conférer un gout plus satisfaisant.

- Un dispositif additionnel de désinfection par chloration est également inclus pour prévenir tout risque de développements bactériens dans les réservoirs et les systèmes de distribution.
- Le système de reminéralisation se fait avec la chaux Ca(OH)_2 et CO_2 .
- Une désinfection est réalisée avant distribution, un chlore résiduel de 0.5 mg/l est prévu au point de livraison. (DINE ,2018)

1.4.1. Ajout de la chaux :

La chaux est une matière généralement poudreuse et de couleur blanche, obtenue par décomposition thermique du calcaire de formule $\text{Ca}(\text{OH})_2$. L'ajout se fait dans un bac ou on met de la chaux en poudre plus l'eau de service. Une fois le mélange du lait de chaux fait dans les réservoirs de préparation sous agitation, et après une décantation des résidus dans le fond des entonnoirs, le lait de chaux sera pompé vers le saturateur de chaux pour obtenir de l'eau de chaux et ce dernier est pompé vers le mélangeur statique qui lui sera utilisée afin d'ajuster le pH de l'eau et l'enrichir en calcium. (BRAHIMI ,2018)

Il est utilisé afin d'atteindre l'équilibre sur les valeurs de TAC et de dureté.



Figure III- 14: Saturateur de chaux



Figure III- 13: Silos de chaux

1.4.2. Ajout de CO_2 :

Une petite unité de production de CO_2 utilisant du gaz naturel (méthane) comme carburant principal. Le procédé de production est la compression du CO_2 est composé de plusieurs équipements (pompes, chaudières, échangeurs, vannes, tour de refroidissement, etc. ...) pour permettre la production, nettoyage, compression, refroidissement, liquéfaction et le stockage du CO_2 dans deux réservoirs extérieurs.

Afin de réduire la concentration des chlorures dans l'eau qui est utilisée dans le système de production de CO_2 , un petit système d'osmose inverse est installé dans le même bâtiment (pour déminéralisée l'eau de service). Cette eau déminéralisée est stockée dans un réservoir extérieur avant d'être pompée vers le système de production de CO_2 .

Les pompes d'eaux saturée de l'eau de chaux sont envoyées jusqu'au mélangeur de reminéralisations où avec le CO_2 qui provient du bâtiment de génération de CO_2 est injecté avant que l'eau arrive au réservoir d'eau traitée. (BRAHIMI ,2018)

Le CO_2 sert à augmenter la dureté de l'eau.



Figure III- 15: Station de production de CO₂

1.4.3. Désinfection :

Bien que le perméat soit d'une qualité bactériologique excellente, il est nécessaire de le désinfecter avant distribution, pour protéger l'eau contre toute pollution ultérieure lors de son stockage et de sa distribution. La désinfection permet également d'oxyder les polluants pouvant être apportés par l'injection des solutions de produits de post-traitement. Elle est assurée par injection de chlore sous forme d'hypochlorite de sodium ou d'une solution d'hypochlorite de calcium. (BRAHIMI ,2018)

1.5. Stockage et pompage d'eau traitée :

L'eau traitée/ reminéralisée est acheminée vers les réservoirs d'eau traitée. Le premier réservoir est le réservoir d'eau incendie. Ce réservoir fonctionne en trop plein pour alimenter les deux réservoirs dédiés au stockage / pompage d'eau pour distribution. Le volume d'eau emmagasiné dans le réservoir d'eau incendie est utilisé uniquement pour alimenter les pompes incendie. (BRAHIMI ,2018)

Des vannes murales sont prévues pour isoler chacun des réservoirs de stockage du réservoir d'incendie. Il y'a aussi une vanne d'interconnexion entre les deux réservoirs de stockage. Chacun des réservoirs de stockage est munie de son propre vanne de vidange localisée dans la station de pompage, un détecteur de niveau Ultrasonique, est un flotteur de bas niveau. (BRAHIMI ,2018)

Les flotteurs de bas niveau empêchent l'opération de pompage quand les réservoirs sont vides (protection des pompes).

Le réservoir d'eau d'incendie (et les deux autres réservoirs – par vase communicante) est protégé par un réservoir et trop-plein vers la mer/réseau de drainage conçu pour accommoder l'ensemble de débit d'eau traitée de l'usine. (BRAHIMI ,2018)

L'automate de contrôle du système de pompage tient compte du débit de production d'eau de la station (osmose inverse), ainsi que le niveau du réservoir pour déterminer en continu le nombre de pompes à mettre en service dans la station. Au besoin, il est possible d'envoyer l'eau pompée vers la mer / réseau de drainage (si le réseau de distribution n'est pas disponible) en ouvrant la vanne de décharge prévue à cet effet. Cette même vanne s'ouvre automatiquement en cas de surpression dans les tuyauteries du réseau de distribution (coté usine ; pression= 25 bars ajustable)

Les instruments d'analyse de la qualité d'eau sont prévus dans la station de pompage :

- ✓ Turbidité.
- ✓ Chlore résiduel.
- ✓ pH.
- ✓ Redox (potentiel oxydoréduction).
- ✓ Pression.

A proximité de la station, un regard est prévu avec un débitmètre électromagnétique pour la totalisation du débit pompée (et livrée vers le réseau). (BRAHIMI ,2018)



Figure III- 16:Station de pompage de l'eau traitée

1.6. Réservoirs d'effluents :

Les rejets de procédé comprennent les éléments suivants :

- Les eaux de lavage ou flashing de l'osmose inverse.
- Lavage des saturateurs de chaux.

Ces eaux et uniquement ces eaux sont acheminées vers le réservoir de traitement d'effluent (neutralisations des effluents) et, de la, vers l'émissaire.

Le volume du réservoir de traitement des effluents est de 100 m³.

Les eaux du réservoir d'effluents s'écoulent en temps normal gravitairement et dans le cas d'opération spécifiques, ils sont pompés vers la chambre de rejets.

Le dosage de chaux et d'acide sulfurique est possible dans le réservoir afin de neutraliser les eaux avant rejet si requis. (DINE,2018)

Chapitre IV :

Matériel et Méthodes

Chapitre IV : Matériel et Méthodes

Les analyses physico chimiques et microbiologiques restent le seul moyen pour déterminer la nature exacte des polluants et micro-organismes pathogènes qui peuvent atteindre l'eau brute et l'eau traitée.

L'opérateur au totale fait deux prélèvements dans deux différents points du procédé de dessalement pour assurer la bonne qualité de l'eau et protéger les membranes de toute sorte de contamination et danger.

1. Eau de mer brute :

Après le captage de l'eau de mer et avant de le pompé vers le filtre à sable l'eau va être stocké dans un réservoir divisé en deux blocs où l'opérateur prend un prélèvement dans deux flacons de 1L chacun, un flacon destiné à l'analyse et l'autre servira de témoin.

Les analyses effectuées dans ce point sont :

1.1. Température :

Pour mesurer la température de l'eau, la station de dessalement est équipée par un thermomètre numérique introduit directement au niveau de la canalisation. Cette mesure de T° est effectuée aussi sur les échantillons à l'aide d'un appareil thermomètre HANNA instruments. La valeur trouvée dépend de la saison.



Figure IV- 1: Thermomètre HANNA instruments

1.2. pH :

Mesuré en utilisant un pH-mètre HQ430d, la valeur trouvée doit être entre [8 ; 8,15].



Figure IV- 2:pH mètre HQ430d

1.3. Conductivité :

Mesurée à l'aide d'un conductimètre sensION 7 Hach Lange, Après avoir étalonné le conductimètre ; mettre ensuite environ 100mL d'eau à analyser dans un bécher, dans lequel on plonge l'électrode du conductimètre pour la mesure. La valeur trouvée est comprise entre [54,6 ; 55,2] ms/m.



Figure IV- 3: Conductimètre sensION7

1.4. Turbidité :

Mesurée avec un Turbidimètre 2100 N Hachlange, la valeur trouvée est variable par rapport la saison. L'échantillon sera analysé en utilisant des cubes en verre bien nettoyés et bien séchés, remplis de l'eau à analyser et le résultat est affiché en NTU (Nephelométric Turbidity Unit).



Figure IV- 4:Turbidimètre 2100 N

1.5. Mesure des T.D.S (taux des sels dissous) et des M.E.S (matières en suspension) :

1.5.1. Mode opératoire :

1. Peser un creuset en verre contenant une membrane filtrante en fibre de verre $0.7\mu\text{m}$, soit P_0 de la masse de l'ensemble.
2. Peser un creuset vide en porcelaine d'une contenance de 250 ml, soit P_1 sa masse.
3. Placer la membrane filtrante sous le cône de filtration.
4. Vérifier le bon positionnement des robinets de la rampe de filtration.
 - 4.1. Pour l'Eau de Mer tourner le robinet 45° par rapport à la position de fermeture.
 - 4.2. Pour l'Eau traitée tourner le robinet 135° par rapport à la position de fermeture.
5. Vider le tuyau reliant la rampe de filtration à la fiole en verre.
6. Vérifier que la fiole en verre est vide et que son bouchon est bien fermé.
7. Mélanger énergiquement le flacon contenant au moins un litre d'échantillon.
8. Remplir rapidement une éprouvette en verre de 500 ml avec l'échantillon.
9. Transvaser rapidement le contenu de l'éprouvette dans le cône de filtration.
10. Mettre la pompe à vide en marche et arrêter celle-ci lorsque tout l'échantillon a été filtré, le filtrat ayant été récupéré dans la fiole en verre.
11. Mélanger le filtrat contenu dans la fiole en verre, tout en prélevant rapidement 200 ml à l'aide d'une fiole jaugée de 200 ml.
12. Sans attendre, verser le contenu de l'éprouvette dans le creuset en porcelaine précédemment pesé (P_1).
13. Introduire le creuset en porcelaine contenant les 200 ml de filtrat dans une étuve qu'on allumera, sa température étant réglée à 180°C .

14. Le creuset en porcelaine restera 12 heures à l'intérieur de l'étuve (noter l'heure d'introduction de creuset).
15. Après séchage, refroidir le creuset en porcelaine dans un dessiccateur pendant 30 min.
16. Peser le creuset en porcelaine contenant les matières dissoutes, soit P_3 de sa masse.
17. Seulement applicable à l'Eau de Mer :
 - 17.1. Rincer l'éprouvette en verre graduée de 500 ml avec environ 20 ml d'eau distillée, et utiliser cette portion pour laver le filtre. Rincer les parois internes de l'entonnoir avec un autre volume de 20 ml d'eau distillée.
 - 17.2. Si l'échantillon contient plus de 1000 mg/l de matières dissoutes (résidus secs ou TDS) comme eau de mer, laver de nouveau le filtre avec trois volumes de 50 ml d'eau distillée. Veiller à laver le bord de filtre.
18. Retirer le cône de filtration et décoller délicatement à l'aide d'une pince la membrane filtrante que l'on déposera dans son creuset en verre d'origine.
19. Introduire le creuset en verre contenant la membrane filtrante dans une étuve dont la température est à 105°C (noter l'heure d'introduction de creuset).
20. Après 2 heures de séchage, laisser refroidir le creuset en verre contenant la membrane filtrante dans un dessiccateur pendant 15 min.
21. Peser le creuset en verre contenant la membrane filtrante, soit P_2 de sa masse.

Calculer les M.E.S et les T.D.S de la manière suivante :

- **M.E.S en mg/l = $(P_2 - P_0) \times 2000$**

La valeur du M.E.S calculée est ≥ 5 mg/l et variable aussi par rapport la saison.

- **T.D.S en g/l = $(P_3 - P_1) \times 5$**

La valeur de T.D.S calculée est compris entre [38 ; 39] g/l.

1.6. SDI5 :

Le teste de l'indice de densité du limon (SDI) est un moyen de quantifier la quantité de contamination particulière dans une source d'eau. Le test a été spécifiquement développé comme moyen de prédire le taux des impuretés contenu dans l'échantillon, c'est une filtration à l'aide d'une certaine pression par rapport au temps.

1.6.1. Mode opératoire :

1. Placer le filtre de porosité 0,45 μm dans son support et l'humidifier.

2. Purger l'air du circuit.
3. Ajuster la pression à 2,1 bars.
4. Mettre en route le chronomètre et le début de la filtration de l'eau en même temps et ne plus arrêter le chronomètre et la filtration de l'eau pendant toute la durée de l'opération.
5. Mesurer le temps nécessaire t_0 pour filtrer 500 ml d'eau (volume mesuré grâce à l'eau recueillie dans l'éprouvette graduée) ce temps doit être voisin ou supérieur à 10 secondes.
6. La filtration de l'eau étant continue, la pression maintenue à 2,1 bars et le chronomètre n'étant pas arrêté, quand ce dernier affiche 5 min, mesurer le deuxième temps nécessaire t_5 pour filtrer à nouveau 100 ml (ou 500 ml) d'eau.
7. Le temps t_5 est équivalent au temps affiché moins 5 min.

Le calcul de **SDI**₅ se fait en utilisant l'équation suivante :

$$SDI5 = \left(\frac{t_5 - t_0}{t_5} \right) \times \frac{100}{5}$$

La valeur trouvée peut être de 10 jusqu'à 18 à 19 % (dans la saison d'hiver).



Figure IV- 5:Appareil de mesure de SDI

2. Eau de mer filtrée :

Remarque :

Les analyses effectuées sur l'eau filtrée et le perméat se font d'une manière automatique avec des équipements en ligne qui indiquent les valeurs de ces paramètres en continue à l'équipe technique. Donc il n'est pas nécessaire de les refaire au niveau du laboratoire.

Le deuxième point de prélèvement se fait après la sortie d'eau filtrée du filtre à cartouche.

Les analyses effectuées dans ce point sont :

2.1. pH, conductivité, température :

Ces mesures se font à partir des équipements en ligne, ces valeurs sont disponibles d'une façon continue. (Même qualité d'eau de mer mais après filtration).

2.2. SDI₁₅ :

2.2.1. Mode opératoire:

1. Placer la membrane de porosité 0,45 µm dans son support et l'humidifier.
2. Purger l'air du circuit.
3. Ajuster la pression à 2,1 bars.
4. Mettre en route le chronomètre et le début de la filtration de l'eau en même temps et ne plus arrêter le chronomètre et la filtration de l'eau pendant toute la durée de l'opération.
5. Mesurer le temps nécessaire t_0 pour filtrer 500 ml d'eau (volume mesuré grâce à l'eau recueillie dans l'éprouvette graduée). Ce temps doit être voisin ou supérieur à 10 secondes.
6. La filtration de l'eau étant continue, la pression maintenue à 2,1 bars et le chronomètre n'étant pas arrêté, quand ce dernier affiche 5 min, mesurer le deuxième temps nécessaire t_5 pour filtrer à nouveau 500 ml d'eau.
7. Le temps t_5 est équivalent au temps affiché moins 5 min.
8. Quand le chronomètre affiche 15 min, mesurer le temps nécessaire t_{15} pour filtrer 100 ml (ou 500 ml) d'eau.
9. Le temps t_{15} est équivalent au temps affiché moins 15 min.

Le calcul de **SDI₁₅** est par l'équation suivante :

$$SDI_{15} = \left(\frac{t_{15} - t_0}{t_{15}} \right) \times \frac{100}{15}$$

La valeur trouvée de **SDI₁₅** est ≤ 3 %.

2.3. Turbidité :

Tant que l'eau passe par un traitement de filtration, la mesure de turbidité donne une valeur proche de zéro (0).

3. Permeat :

Le troisième point d'analyse se fait au niveau de la sortie de la membrane.

Les analyses effectuées dans ce point sont :

3.1. Conductivité :

Mesurée en ligne, puis qu'elle est débarrassée de ses sels minéraux sa valeur est en dessous de 100 $\mu\text{s}/\text{cm}$.

3.2. TDS :

Mesurée par le même mode opératoire cité précédemment (analyse de l'eau brute), on trouve que des traces des sels.

3.3. pH :

Mesuré en continue par des équipements en ligne, sa valeur doit être comprise entre [6.5, 7.5].

4. Eau potable :

Le point de prélèvement se fait au niveau du réservoir de l'eau traitée qui est destiné en premier lieu à SEAAL puis les clients.

Les analyses effectuées dans ce point sont :

Remarque :

Toutes les valeurs trouvées dans ce point sont par rapport les normes de l'organisation mondiale de la santé OMS.

4.1. Analyse volumétrique du Calcium « Ca^{2+} » :**4.1.1. Mode opératoire :**

1. Agiter délicatement le flacon de l'EDTA 0.01 M.
2. Remplir la burette avec l'EDTA 0.01 M.
3. Eliminer les bulles d'air contenues dans la partie inférieure de la burette en ouvrant le robinet.
4. Agiter l'échantillon doucement.
5. A l'aide d'une fiole jaugée propre de 50 ml, introduire 50 ml d'échantillon dans un erlenmeyer propre de 250 ml.
6. Ajouter 2 ml de NaOH 2N à l'aide de la pipette en plastique propre.
7. A l'aide de la spatule, ajouter un peu de murexide jusqu'à obtenir une coloration bien rose.

8. Mélanger le tout et commencer à verser l'EDTA goutte à goutte tout en mélangeant énergiquement jusqu'à la coloration violette.
9. Noter le volume « V » de burette et calculer la concentration en calcium à l'aide de la formule suivante :

Calculs :

Concentration en calcium en mg par litre = $V \times 8.016$

Concentration en calcium en mg par litre $\text{CaCO}_3 = V \times 20.04$

4.2. Analyse volumétrique du chlorure « Cl⁻ »**Remarque :**

Pour l'analyse de l'eau de mer et du concentrât, prélever 0.5 ml d'eau dans une fiole jaugée de 100 ml et compléter au trait de jauge avec de l'eau distillée.

Transvaser le tout dans un erlenmeyer de 250 ml propre et continuer l'analyse décrite ci-dessous à partir de la ligne n°6.

Le calcul de la concentration en chlorure en mg/l est : $(V - 0.2) \times 1418.12$

Pour les autres types d'eaux, le protocole opératoire est le suivant :

1. Agiter délicatement le flacon d'AgNO₃ 0.02 N.
2. Remplir la burette avec AgNO₃ 0.02 N.
3. Eliminer les bulles d'air continues dans la partie inférieure de la burette en ouvrant le robinet.
4. Agiter l'échantillon.
5. A l'aide d'une fiole jaugée propre de 100 ml, introduire 100 ml d'échantillon dans un ERLLENMEYER propre de 250 ml.
6. Ajouter 1 ml de K₂CrO₄ avec la pipette en plastique propre et mélanger.
7. Commencer à verser AgNO₃ 0.02 N goutte à goutte tout en agitant l'erlenmeyer jusqu'à ce que la solution prenne une couleur brune-orange.
8. Noter le volume de burette « V ».
9. Calculer la concentration en chlorure de la manière suivante :

Calculs :

Concentration en **chlorure** en mg/l = $(V - 0.2) \times 7.0906$

Concentration en **chlorure** en mg/l $\text{CaCO}_3 = (V - 0.2) \times 10$

La valeur trouvée est en moyenne de 265 mg/l.

4.3. Analyse volumétrique de la dureté totale « TH » :**4.3.1. Mode opératoire:**

1. Agiter délicatement le flacon de l'EDTA 0.01 M.
2. Remplir la burette avec l'EDTA 0.01M.
3. Eliminer les bulles d'air contenues dans la partie inférieure de la burette en ouvrant le robinet.
4. Agiter l'échantillon doucement.
5. A l'aide d'une fiole jaugée propre de 50 ml, introduire 50ml d'échantillon dans un erlenmeyer propre de 250ml.
6. Ajouter 40 ml de Tampon pH10 a l'aide de la pipette en plastique propre.
7. A l'aide de la spatule, ajouter un peu de NET jusqu'à obtenir une coloration rose-violette.
8. Mélanger le tout et commencer à verser l'EDTA goutte à goutte tout en mélangeant énergiquement jusqu'à la coloration bleue franche.
9. Noter le volume « V » de la burette.

Calculs :

$$\text{TH en mg par litre CaCO}_3 = V \times 20$$

La valeur trouvée doit être comprise entre [80 ; 150]mg/l CaCO₃.

4.4. Analyse volumétrique du « T.A » ET DU « T.A.C »**Remarque :**

L'échantillon doit être analysé le plus rapidement possible après son prélèvement.

1. Agiter délicatement le flacon de HCl 0.02 N.
2. Remplir la burette avec HCl 0.02 N.
3. Eliminer les bulles d'air contenues dans la partie inférieure de la burette en ouvrant le robinet.
4. Agiter l'échantillon doucement.
5. A l'aide d'une fiole jaugée propre de 100 ml, introduire 100 ml d'échantillon dans un erlenmeyer propre de 250 ml.
6. Ajouter 1 goutte de Na₂S₂O₃, 5H₂O 0.1N et 3 gouttes de phénolphaléine et puis mélanger.

7. Si une coloration rose apparaît, alors commencer à verser HCl gouttes à gouttes tout en mélangeant jusqu'à décoloration complète.
8. Noter le volume de burette « V1 ».
9. S'il n'y a pas de coloration rose, alors « **V1=0 ml** »
10. Ajouter 5 **gouttes de vert de bromocrésol** dans le même erlenmeyer et mélanger, (on obtient une coloration bleu).
11. Continuer à verser HCl goutte à gouttes tout en mélangeant jusqu'à obtenir le début d'une coloration jaune.
12. Noter le volume de burette « **V2** ».
13. Calculer T.A et T.A.C de la manière suivante :

$$\text{Calculs :} \quad \text{T.A en mg/l CaCO}_3 = \mathbf{V1 \times 10}$$

$$\text{T.A. Cen mg/l CaCO}_3 = \mathbf{V2 \times 10}$$

La valeur minimale trouvée de TAC est 60 mg/l CaCO₃.

4.5. pH :

Mesuré avec le même l'appareil cité dans la première analyse (analyse de l'eau brute). Sa valeur doit être comprise entre [7; 8,5].

4.6. TDS:

Mesuré par le même mode opératoire citer précédemment (analyse de l'eau brute), sa valeur doit être comprise entre [150 ; 500] mg/l.

4.7. Température:

Mesurée avec le même appareil cité dans la première analyse (analyse de l'eau brute). Sa value dépend de la saison.

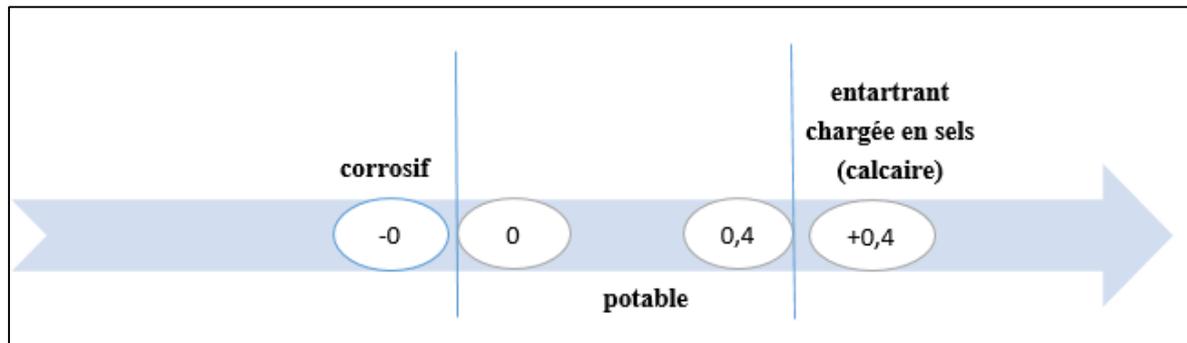
4.8. L'indice de Langelier:

L'indice de Langelier, parfois également appelé index de Langelier, est un indice qui tient compte de plusieurs paramètres de l'eau, et qui évalue la qualité globale de cette eau, pour déterminer si elle est corrosive, ou si du tartre est susceptible de se former.

Il est utilisé justement pour apprécier le **caractère agressif ou incrustant de l'eau traitée**. Ainsi, on peut évaluer si la qualité de l'eau est optimale, et si elle est balancée chimiquement ou non. On parle aussi d'équilibre de cette eau.

Pour évaluer l'équilibre de l'eau, l'indice de Langelier tient compte à la fois du pH, du TAC, du TH, du calcium, et également de la température de l'eau. En introduisant tous ces paramètres dans un logiciel pour déterminer la valeur de l'indice de Langelier.

Il correspond donc à l'addition de tous ces facteurs.



- **Elevé** : cela favorise l'apparition du tartre.
- **Bas** : cela favorise la corrosion.

D'après le contrat :

IL = -0 \Rightarrow **eau corrosif non potable.**

IL = (0 et 0,4) \Rightarrow **eau potable.**

IL = +0,4 \Rightarrow **eau entartrant non potable.**

Donc la valeur trouvée doit être comprise entre 0 et 0,4.

CONCLUSION

CONCLUSION

Grace à ce travail, on a pu connaître et découvrir le procédé de dessalement de l'eau de mer dans la station de dessalement de Fouka, qui emploie l'osmose inverse comme procédé de dessalement. Le contrôle de qualité des différents flux d'eau durant le processus a fait également l'objet de ce mémoire.

- Les analyses organoleptiques exposent une eau de bonne saveur. Les analyses du pH et conductivité électrique révèlent des valeurs conformes aux normes algériennes et celles de l'OMS.
- Les teneurs en chlore, bicarbonates et nitrates sont conformes aux recommandations soulignées.
- Le profil en certains cations et anions spécifiquement le calcium, le magnésium, les sulfates et phosphates témoigne d'une diminution notable quant aux normes algériennes et celles de l'OMS. Il serait nécessaire de corriger ces teneurs lors de la reminéralisations.
- Les valeurs de l'Indice de Langelier révèlent un début de colmatage qui impose des mesures préventives pour préserver l'équipement.

RÉFÉRENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Algérienne des eaux, 2005, dessalement d'eau de mer, Algérie.

Belhout D. (2013) : contribution à l'étude de dessalement de l'eau de mer par distillation membranaire fonctionnant par énergie solaire. Ecole Nationale polytechnique. Alger.

BRAHIMI Meriem, mémoire de fin d'étude « conception et dimensionnement de la station de dessalement d'eau de mer de Fouka (wilaya de Tipaza) », promotion 2018, université de USTHB.

DINE Naima, mémoire de fin d'étude « description de procédé de dessalement par osmose inverse », promotion 2018, université de USTHB.

Documentation de Myah Tipaza, 2018.

Francis Alberdfr.sci géoscience : d'après Francis Alberd (professeur à l'école normal supérieure de Lyon news groups : Fr. géosciences.

Henry et Monique : étude générale sur dessalement de l'eau de mer 2002.

<http://artimain-tpe-desalinisation.e-monsite.com/pages/ii-les-techniques-de-dessalement-actuelles/>

Maurel. A : dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres et d'autres procédés non conventionnels d'approvisionnement en eau douce. Technique et documentation, 2 ème édition (2006).

Ministère de l'énergie, 2018.

MITICHE.R, METAICHE.M, KETTAB.A, AMMOUR, F.... MAAZOUZ.A, curent situation and développement programs/ Dessalement en Algérie : situation actuelle Et programmes de développement/, (2014).

Morvan, dessalement d'eau de mer, 2006

Raymond Desjardins (1990) : le traitement des eaux 2 ème édition de l'école polytechnique de Montréal.

Sciences, Académie nationales des polytechniques, 2007, Paris.

W.E. Johnson. state of the art of freezing processes, 1976.