

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE ABOUBEKR BELKAID-TLEMEN

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et Sciences de Terre et de l'Univers

Département d'Ecologie et Environnement

Spécialité : Pathologie des écosystèmes

Mémoire de Master

Thème :

Etude d'impacts des rejets de la station de dessalement
de Souk Tleta sur l'environnement

Présenté par : Kezzouli Meriem, le 19/10/2014

Président : Mr. LAZZOUNI Hamadi Abderrahmane

Promoteur : Mr. BEN MANSSOUR Abdelhafid

Examineur : Mr. BENDIMRED Mohamed El Amine

Année universitaire 2013-2014

Remerciements :

A l'honneur de Cette thèse de master intitulée « étude d'impact des rejets de station de dessalement de Souk Tleta ».

Je tiens à remercier tout d'abord, Monsieur Ben Mansour Abdelhafid pour accepter d'encadrer cette thèse pour leurs soutiens et encouragement.

Au terme de ce travail je voudrai exprimer ma profonde gratitude à Monsieur LAZZOUNI Hamadi Abderhmane et BENDIMRADE Mohamed El Amine pour accepter d'examiner cette thèse.

Je remercie vivement Monsieur Dekali Benamar, directeur du laboratoire de Hyflux et les techniciennes de laboratoire.

J'adresse plus particulièrement mes remerciements à ma famille, mes parents, ma sœur et mon frère qui m'ont toujours soutenu durant ces années d'études.

J'adresse mes remerciements aussi à mes amis et collègues.

Résumer :

Le dessalement de l'eau de mer par osmose inverse s'impose dans un certain nombre de pays du pourtour méditerranéen en situation de stress hydrique, comme une option pour sécuriser l'alimentation en eau potable des populations des villes côtières, compte tenu de l'accroissement rapide de la demande en eau dans les secteurs de l'agriculture et de l'industrie.

Ce procédé est simple, mais pose un vrai problème au niveau de l'encrassement des membranes qui nécessite un prétraitement pour l'eau de mer, et un nettoyage continu des membranes d'ultrafiltration et les membranes d'osmose inverse par des produits chimiques.

Les plus grandes contraintes de ce système aussi sa consommation énergétique au m³ produit et les impacts environnementaux dus aux rejets des saumures dans le milieu naturel. Malgré ces contraintes, les usines de dessalement se développent un peu partout dans le monde et l'eau dessalée alimente de plus en plus de foyers méditerranéens.

L'Algérie est un des pays méditerranéen qui se base maintenant sur le dessalement pour l'alimentation en eau potable et pour s'adapter à la croissance des besoins en eau potable et la pénurie qui sévère ces dernières années.

Abstract:

Desalination of seawater by reverse osmosis is needed in a number of Mediterranean countries experiencing water stress, as an option to secure the supply of drinking water to the population of the coastal cities, given the rapid increase in demand for water in agriculture and industry.

This method is simple, but presents a real problem with membrane fouling, which necessitates a pretreatment for sea water and a continuous cleaning ultrafiltration membranes and reverse osmosis membranes by chemical.

The biggest constraints of the system as energy consumption per m³ product and environmental impacts from brine discharges into the environment. Despite these constraints, desalination plants are growing around the world and desalinated water supplies increasingly Mediterranean homes.

Algeria is one of the Mediterranean countries that are now based on desalination for drinking water and to accommodate the growing needed for drinking water, and the severe shortage these years.

ከሥነ ምግባር ጋር በተያያዘ ለሥነ ምግባር ስርዓት ማዘጋጀት

በሥነ ምግባር ስርዓት ማዘጋጀት ላይ ለሥነ ምግባር ስርዓት ማዘጋጀት

ሥነ ምግባር ስርዓት ማዘጋጀት

በሥነ ምግባር ስርዓት ማዘጋጀት ላይ ለሥነ ምግባር ስርዓት ማዘጋጀት

በሥነ ምግባር ስርዓት ማዘጋጀት ላይ ለሥነ ምግባር ስርዓት ማዘጋጀት

ሥነ ምግባር ስርዓት ማዘጋጀት

በሥነ ምግባር ስርዓት ማዘጋጀት ላይ ለሥነ ምግባር ስርዓት ማዘጋጀት

በሥነ ምግባር ስርዓት ማዘጋጀት ላይ ለሥነ ምግባር ስርዓት ማዘጋጀት

ሥነ ምግባር ስርዓት ማዘጋጀት

በሥነ ምግባር ስርዓት ማዘጋጀት ላይ ለሥነ ምግባር ስርዓት ማዘጋጀት

በሥነ ምግባር ስርዓት ማዘጋጀት ላይ ለሥነ ምግባር ስርዓት ማዘጋጀት

ሥነ ምግባር ስርዓት ማዘጋጀት

Sommaire :

Liste des tableaux	4
Liste des figures	5
Abréviations	6
Introduction	7
Chapitre 1 : Le dessalement en Algérie	
1.1. Le secteur de l'eau en Algérie :	8
1.2. Législation et réglementation :	8
1.3. Le dessalement en Algérie :	10
1.4. Les grandes stations : A la charge d'AEC	11
Chapitre 2 : Les procédés de dessalement	
2.1. Introduction :	13
2.2. Principe d'une installation de dessalement :	13
2.2.1. Cas de la station de dessalement Souk Tleta :	13
2.2.2. Procédés thermiques :	15
a. Distillation par détente à étages multiples (Distillation <<Multi stages Flashes>>MFS) :	15
b. Distillation à effets multiples (Multi-Effect Distillation MED) :	16
2.2.3. Procédés membranaire :	17
a. L'électrodialyse (ED) :	17
b. Osmose Inverse(OI) :	18
b.1. Rappel de principe :	18
b.2. Conception d'une usine d'OI :	19
b.3. Description des différents composants :	20
2.2.4 Autres procédés de dessalement :	25
a. Congélation :	25
b. Distillation sur membrane :	25
c. Humidification solaire :	25

Chapitre 3 : Présentation de la Zone d'étude

3.1. Situation géographique :.....	26
3.2. Reliefs :	26
3.3. Facteurs géologiques :	27
3.4. Facteurs géomorphologiques :	27
3.5. Cadre climatique :	27
3.6. Les vents :	29
3.7. Les houles :	30
3.8. Salinité :	30
3.9. Courants :	31
3.10. Infrastructure touristique :	31
3.11. La pêche :	32

Chapitre 4 : Matériels et Méthodes

4.1. Les prélèvements :	33
4.2. Analyses physico-chimiques :.....	33
4.2.1. Température :	33
4.2.2. Le pH :	34
4.2.3. La conductivité et solides totaux dissous (TDS) :	34
4.2.4. La turbidité :.....	34
4.2.5. Le chlore libre (Nao Cl):	34
4.2.6. Les cations :.....	35
4.2.7. Les anions :	35
4.2.8. Le bore :	35
4.2.9. L'alcalinité :.....	35
4.2.10. Indice de saturation de Langelier (LSI) :	36
4.3. Analyses bactériologiques:.....	36

Chapitre 5 : Résultats et interprétations

5.1. Les résultats :	38
5.2. Interprétations des résultats :.....	43
5.2.1. La température :.....	43
5.2.2. Le pH :.....	43
5.2.3. Les chlorures :	44
5.2.4. Le calcium :.....	44
5.2.5. L'alcalinité, la dureté, et bicarbonate :	44
5.2.6. Conductivité et TDS :	44

5.2.7. LSI :	45
5.2.8. Sodium, Potassium, Magnésium, et Sulfate :	45
5.2.9. Le bore :	45
5.2.10. Les nitrites, nitrates et bromates :	46
5.2.11. La turbidité :	46
5.2.12. Chlore libre (CL _{resd}) :	46
5.2.13. Les facteurs biologiques :	47
5.2.14. Le temps de séjours et la vitesse d'écoulement :	47
5.2.15. Les rejets :	47

Chapitre 6 :

Impacts de station de dessalement sur l'environnement

6.1. Introduction :	50
6.2. Indicateurs de suivi de l'impact environnemental des rejets de station de dessalement :	51
6.2.1. Température :	51
6.2.2. Salinité :	53
6.2.3. Le pH :	52
6.2.4. L'oxygène dissous :	53
6.2.5. Additifs antitartres :	53
6.2.6. Anti-salissures :	53
6.2.7. Anti-mousses :	53
6.3. Impacts des rejets saumures sur les ressources marines :	54
6.3.1. Facteurs des rejets :	54
6.3.2. Les effets des rejets :	55
6.4. Moyens pour réduire l'impact des rejets :	58
6.5. Impact sonore :	60
6.6. Le cout énergétique pour l'eau :	60
Conclusion générale :	63
Références bibliographiques :	64
Annexes :	66

Liste des tableaux :

Tableau 1 : Les normes algériennes d'eau potable (2011).	9
Tableau 2: Les grandes stations de dessalement en Algérie	11
Tableau 3 : Composition de l'eau de mer (35g/l) (source : Degrémont Suez ,2005).	13
Tableau4: Les moyennes mensuelles des températures (2007)	27
Tableau5 : Des moyennes mensuelles des précipitations (2007)	28
Tableau 6 : Des humidités moyennes mensuelles en % (2007)	29
Tableau7 : Des vitesses de vent moyennes.....	30
Tableau 8 : Analyses physico-chimiques des différentes étapes de dessalement	38
Tableau 9 : Analyses organoleptiques et bactériologiques pour l'eau traitée	41
Tableau 10 : Analyses physico-chimiques des différents types des rejets sur différentes étapes.	41
Tableau11 : Des produits chimiques utilisés.....	48
Tableau 12 : Effets de la salinité direct sur les espèces marines (source : SEQ Regional Desalination Plant Siting Studies, Février 2008)	57
Tableaux 13 : Ambiance sonore	60

Listes des figures :

Figure 1 : Principe d'ultrafiltration	14
Figure 2 : Cellule unitaire MSF.....	16
Figure 3 : Distillation à effets multiples (Multi-Effect Distillation MED).....	17
Figure 4 : Schéma de principe d'une électrodialyse.....	18
Figure 5 : Schéma de principe d'osmose inverse.....	19
Figure 6 : Schéma de principe d'une usine d'osmose inverse.....	20
Figure 7 : Turbopompes placées en séries avec les pompes HP.....	22
Figure 8 : Turbines Pelton couplées directement à la pompe HP afin de soulager les moteurs électriques.....	22
Figure 9 : Echangeurs de pression	23
Figure 10 : Détails d'un osmoseur	24
Figure 11 : Schéma de rejet saumure (Bleninger et al.2006).....	51
Figure 12 : Modélisation du rejet de la saumure dense avec CORMIX (Cornell Mixing Zone Expert System).....	59
Figure 13: Rejets saumures par émissaire avec multi diffuseur (Bleninger, 2007).	59

Abréviations :

ABH : Agence de bassin hydrographique.

ADE : Algérienne Des Eaux.

AEC : Algerian energy company .

C° : Degré Celsius.

Cl_{resd} : Chlore résiduelle.

H P : hight pression pompe.

LSI : indice de saturation de Langelier

M.E.D : Multi effect distillation.

M.S.F : Multi-Stage-Flash.

OI : Osmose Inverse.

OMS : Organisation Mondiale de la santé.

PDARE : Plan directeur d'aménagement des ressources en eau.

PNE : plan national de l'eau.

Ppm : partie par million.

Ppb : partie par billion.

SDI : Silt Densité Indexe.

TAC : Titre Alcalimétrique Complet.

TDS : Taux Des Sels dissout.

TH : Dureté Totale.

TSS: Total suspended solid.

UF: Ultra-filtration.

WWF: world wildlife fund (fonds mondial pour la nature).

% : Pourcentage.

Introduction

Introduction :

L'augmentation de la demande en eau est une tendance mondiale forte et les pénuries d'eau qu'elles soient conjoncturelles ou structurelles en zone aride sont une réalité appelée à s'aggraver avec le réchauffement climatique annoncé. A titre d'exemple, les pays de la Méditerranée connaissent une pression sur leurs ressources et dépassent leurs réserves renouvelables. Changement climatique et baisse des précipitations aggravent bien évidemment une situation qui sera bientôt vitale (Plan Bleu 1989).

Le dessalement est en très forte croissance dans le monde avec une capacité d'installée qui augmente en moyenne de 10% par an. La réduction significative des couts le rend plus compétitif. Les techniques sont aujourd'hui bien maitrisée et en constant progrès même si elles sont pour l'heure gourmandes en énergie (chaleur ou électricité) d'origine fossile source de cout élevé et d'émissions de gaz à effet de serre.

Sur 70 villes dépassant le million d'habitants, 42 sont situées près des côtes où vit près de 40% de la population mondiale, soit 2.4 milliards d'habitants. Ces facteurs font du dessalement une vraie opportunité de ressource alternative permettant de réduire la surexploitation des aquifères de ces zones côtières, et de forte sécheresse et de grave pénurie d'eau.

1.1. Le secteur de l'eau en Algérie :

L'Algérie dispose de ressources naturelles limitées, irrégulières et très inégalement réparties. A l'exception des eaux fossiles du Sahara, les ressources hydrauliques naturelles sont principalement situées dans le Nord du pays. 90 % de la totalité des écoulements superficiels (estimée à 12,4 milliards de m³/an) se trouvent sur la région littorale (7 % de la superficie du territoire), les 10 % restant se partageant entre les Hauts Plateaux et les bassins sahariens.

La demande globale en eau a considérablement et rapidement augmenté. Multipliée par 4 au cours des quarante dernières années, elle dépasse actuellement plus de la moitié du volume des ressources potentiellement mobilisables. A ce rythme, la limite maximum du potentiel hydraulique sera atteinte avant 2050. Dans ce contexte, une forte concurrence se développe entre les grands secteurs d'utilisation, se rajoutant aux déséquilibres de disponibilité des ressources entre les régions et rendant de plus en plus difficiles les arbitrages de répartition. La part que prend l'alimentation en eau potable s'est considérablement accrue en volume et en proportion. De 16 % de la consommation globale en 1975, elle est passée à 35 % actuellement. Durant la même période, la part de l'eau agricole a chuté de 80 % à 60 %, celle de l'industrie restant égale à 3,5 % (Données ADE : 2010).

L'alimentation en eau potable a acquis une nette priorité par rapport aux autres utilisations, priorité qui a été consacrée dans la législation algérienne relative à l'eau.

1.2. Législation et réglementation :

C'est essentiellement dans la loi sur l'eau du 4 août 2005 que sont clairement exprimées la nécessité et l'obligation d'une gestion économe des ressources en eau et de la lutte contre les pertes et les gaspillages.

La même loi définit le cadre institutionnel de la gestion intégrée de l'eau : Le Conseil Consultatif National des Ressources en Eau, les Agences de Bassins Hydrographiques (ABH), l'Autorité de régulation de l'eau et en précise les instruments : les Plans Directeurs d'Aménagement des Ressources en Eau (PDARE) et le Plan National de l'Eau (PNE).

On retrouve les préoccupations d'économie de l'eau à l'article 57 de la Loi sur l'eau, article relatif au Plan Directeur d'aménagement des ressources en eau qui « définit les objectifs en matière d'utilisation des ressources en eau ainsi que les

mesures liées aux exigences d'économie, de valorisation et de protection de la qualité de l'eau dans une perspective de gestion durable de ces ressources ».

Le potentiel hydrique de l'Algérie est inférieur au seuil critique de 500 m³ par habitant, par an. C'est pourquoi, selon les normes de la Banque Mondiale, établissant un seuil de 1000 m³ par habitant et par an, l'Algérie est classée 14^{ème} parmi les pays les plus pauvres en ressources hydriques. La dotation moyenne pour la consommation domestique est de 55 litres par habitant et par jour. Du fait des interruptions dans le service d'eau dans pratiquement toutes les villes du pays, celles-ci s'alimentent en eau emmagasinée dans des réservoirs lors de la livraison, ce qui augmente l'exposition aux maladies.

Tableau 1 : Les normes algériennes d'eau potable.
(Journal officiel, 23 mars 2011).

Paramètres	Unités	Valeurs limites
température	°C	25
Concentration en ions hydrogène	Unité pH	6.5 à 9
alcalinité	mg/l en CaCO ₃	500
dureté	mg/l en CaCO ₃	200
Conductivité à 20°C	µS/cm	2800
Chlorures	mg/l	500
calcium	mg/l	200
sodium	mg/l	200
potassium	mg/l	12
sulfate	mg/l	400
magnésium	mg/l	30 à 50
Résidu sec	mg/l	1500
bore	mg/l	1
baryum	mg/l	0.7
nitrate	mg/l	50
nitrite	mg/l	0.2
chlore	mg/l	5
couleur	mg/l en platine	15
turbidité	NTU	5
Odeur à 25°C	Taux dilution	4

Saveur à 25°C	Taux dilution	4
Escherichia coli	n/100ml	0
Entérocoques	n/100ml	0
Bactéries sulfitoréductrices	n/20ml	0

1.3. Le dessalement en Algérie :

La sécheresse qui a sévi depuis plus de deux décennies dans le pays (principalement dans la région Ouest) a considérablement affecté le niveau des réserves d'eau qui a atteint un seuil critique et ne permet plus une amélioration et une distribution correcte de cette ressource vitale.

La mobilisation des eaux souterraines au nord du pays a atteint son seuil maximal. L'augmentation des débits de pompage de ces eaux aura pour effets la surexploitation des nappes superficielles et la détérioration de la qualité des eaux. Cette situation pénalisera de ce fait tous les secteurs (population, industrie et agriculture).

Les aléas pluviométriques enregistrés notamment lors de ces dernières décennies ont malheureusement réduit l'impact attendu des investissements réalisés. Le recours au dessalement d'eau de mer devient alors indispensable pour sécuriser l'alimentation en eau potable des populations.

Le 12 octobre 2003 un conseil interministériel s'est tenu pour l'examen du dossier portant « éléments d'une politique de dessalement de l'eau de mer en Algérie »

Lors de ce conseil,

Monsieur le chef du gouvernement, a souligné que monsieur le président de la république a fait du dossier de l'eau un dossier de sécurité nationale, donc un dossier stratégique qui doit bénéficier de l'attention particulière du gouvernement.

❖ Objectifs majeurs :

1. Sécuriser les grandes villes et les localités côtières dans un contexte de changement climatique,
2. Réaffecter les eaux des barrages existants de la région tellienne pour promouvoir le développement de la région des hauts plateaux, en cohérence

avec les orientations d'aménagement du territoire.

1.4. Les grandes stations en Algérie :

A la charge d'AEC

1. 13 stations dont neuf (09) ont depuis été mises en service devaient totaliser au terme de ce programme une capacité installée de 2.4 millions m³/j.
2. Au premier semestre 2013 nous comptons une capacité effective de production de 1.4 Mm³/j et comptons 1.9 Mm³/j avec l'entrée en service du Méga projet de Magtaa « 500.000 m³/j ».
3. En 2014, celle-ci devrait atteindre 2.1 Mm³/j avec l'entrée en service du projet Ténès.

Tableau 2: Les grandes stations de dessalement en Algérie.

NOM DU PROJET	SITUATION DU PROJET	AVANCEMENT AU 30 AVRIL 2013
Kahrana (Arzew) 88 880 m³/J et 320 MW	Mise en service le 12 novembre 2005	En exploitation
Hamma (Alger) 200 000 m³/j	Mise en service le 02 février 2008	En exploitation
Skikda (Zone Industrielle) 100 000 m ³ /J	Mise en service le 04 mars 2009	En exploitation
Beni Saf (Ain Temouchent) 200 000 m³/j	Mise en service le 15 novembre 2009	En exploitation
Souk Tlata (Tlemcen) 200 000 m³/J	Mise en service le 13 avril 2011	En exploitation
Fouka (Tipaza) 120 000 m³/J	Mise en service le 30 juillet 2011	En exploitation
Mostaganem 200 000 m³/J	Mise en service le 28 septembre 2011	En exploitation
Honaine (Tlemcen) 200 000 m³/J	Mise en service le 03 juillet 2012	En exploitation

Cap Djinet (Boumerdes) 100 000 m3/J	Mise en service le 28 septembre 2011	En exploitation
Magtaa (Oran) 500 000 m3/J	Mise en service prévue pour 27 juin 2013	Avancement : Global : 96,62 %
Tenes (Chlef) 200 000 m3/J	Mise en service prévue pour aout 2014	Avancement : Global : 44,56 %
EL Tarf 100.000 m3/j	Projet à l'étude	
Bejaia 100.000 m3/j	Projet à l'étude	

Chapitre 2 :

Les procédés de

dessalement

2.1. Introduction :

Le dessalement de l'eau est un processus qui permet d'obtenir de l'eau douce à partir d'une eau salée.

La salinité moyenne de l'eau de mer est de l'ordre de 35g/l, cependant cette valeur varie fortement selon les régions et la saison :

Mer Baltique : 7g/l

Mer Méditerranée : 36g/l à 39g/l

Golfe Persique : 40g /l à 70g/l

Mer Morte : 270g/l

Sel	Concentration	
NaCl	27.2g/l	78%
MgCl ₂	3.8g/l	11%
MgSO ₄	1.3g/l	5%
CaSO ₄	1.26g/l	3.5%
K ₂ SO ₄	0.86g/l	2.4%

Tableau 3 : Composition de l'eau de mer (35g/l)
(source : Degremont Suez 2005).

Pour dessaler l'eau il existe diverses techniques, certaines sont plus adaptées à un environnement donné que d'autres. Actuellement on utilise cinq techniques regroupées en deux familles : les procédés de distillation et les procédés membranaires, les deux fonctionnent selon le même principe général.

2.2. Principe d'une installation de dessalement :

2.2.1. Cas de la station de dessalement Souk Tleta :

On peut diviser une installation de dessalement en 4 postes principaux : Cas de la station de dessalement de Souk Tleta. L'eau de mer sera extraite par le flux de gravité à travers un seul canal de 900 m prise à une station de tri et de pompage à terre, l'eau entre dans la station par une chambre de prise à environ 3.9 mètres au-dessus du niveau de mer, tandis que la chambre de prise d'eau dans la mer est de 2.56 mètres au-dessus de niveau de mer. L'eau est ensuite soumise à un processus de prétraitement : L'eau de mer s'écoule par gravité dans la chambre d'admission et passe par deux filtres, le premier est un filtre grossier avec des pores de 20 mm utilisé pour l'élimination des grands organismes présents dans l'eau de mer comme les

poissons. Le deuxième filtre utilisé est plus fine, de 200 micron pour filtrer les petits organismes, les fines particules solides, ainsi pour la protection de système d'ultrafiltration(UF).

L'eau de mer contient également de nombreuses formes de vie telles que le plancton et les microorganismes qui peuvent réduire le rendement de la station, ainsi il est nécessaire de prévenir ou de les arrêter à l'entrée. Pour cela l'hypochlorite de sodium (NaO Cl) est dosé périodiquement dans la chambre d'admission (10mg/l) pour la désinfection. En raison de sa forte nature oxydant, le chlore ne doit pas être autorisé à rejoindre les membranes d'osmose inverse (OI). L'élimination du chlore est effectué par le dosage d'un agent réducteur, dans ce cas le sodium métabisulfate est utilisée (SMBS) (5mg/l).

L'ultrafiltration est sélectionnée comme un processus de prétraitement principal. Des modules de Kristal TM d'ultrafiltration sont utilisés avec nominalement de 50 à 70 litres/m²/h, et un size de pores de 0.020 à 0.015 micron. Le système d'ultrafiltration (UF) élimine la plupart des particules colloïdales qui restent dans l'eau de mer et produire de l'eau filtrée à faible turbidité et faible SDI (silt density indice), un indice de colmatage inférieur à 3 (Akretche J, 2004).

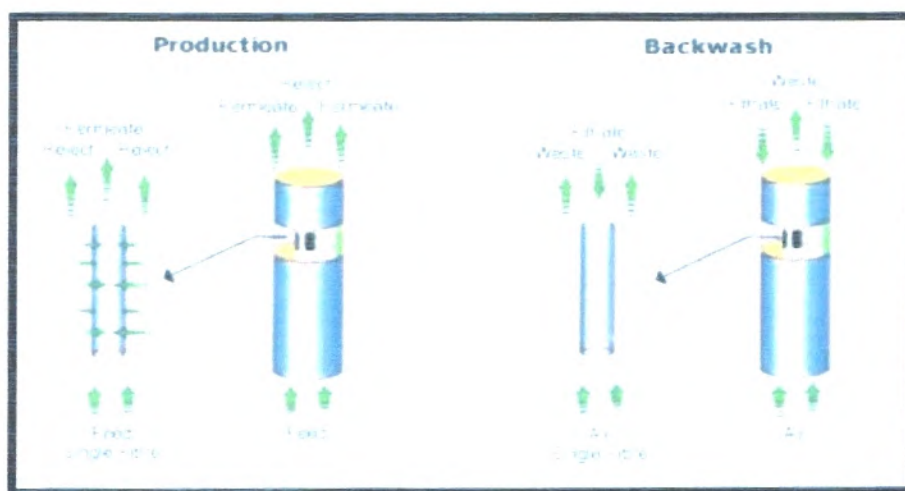


Figure 1 : Principe d'ultrafiltration.

Pour le système d'osmose inverse, il existe une possibilité de précipitation de carbonate de calcium aux niveaux des membranes, c'est pour ça il nécessite une injection d'un antitartre (1.1mg/l).

L'étape de prétraitement est de conditionner l'eau de mer pour minimiser l'encrassement des membranes d'osmose inverse avec des temps d'arrêt réduits pour le nettoyage des membranes.

Après ces traitements, l'eau subira un dessalement par osmose inverse : l'eau est envoyée par douze pompes à hautes pressions (65bars) vers les modules des membranes en service de type à enroulement en spirale, l'eau de mer à pression passe à travers les membranes, produisant deux courants à la sortie des membranes : l'eau osmoses et la saumure.

L'eau produite sera de nouveau traitée pour qu'elle soit potable avant d'être envoyée vers le réseau de distribution.

Le traitement est constitué d'une injection de CO₂ de (nominalement de 65mg/l) et de lait de chaux (nominalement de 75mg/l) pour augmenter la dureté suivi d'une injection d'hypochlorite de sodium (0.5 à 1mg/l) pour la stérilisation.

2.2.2. Procédés thermiques :

Le procédé par distillation reproduit le cycle naturel de l'eau puisqu'il consiste à chauffer de l'eau salée avec production de la vapeur d'eau qui est à son tour condensée pour former de l'eau douce. Dans l'usine l'eau est chauffée jusqu'à ébullition pour produire la quantité maximale de vapeur. Pour que le procédé soit économiquement rentable la pression appliquée sur l'eau à bouillir est ajustée pour maîtriser le point d'ébullition.

a. Distillation par détente à étages multiples (Distillation <<Multi stages Flashes>>MFS) :

Dans le procédé MFS, l'eau de mer est chauffée dans une chaudière. Cela est généralement fait en condensant la vapeur sur un faisceau de tuyaux véhiculant de l'eau de mer qui passe à travers la chaudière. Cette eau de mer alors chauffée coule alors dans une autre cuve correspondant à un autre étage où la pression ambiante est plus basse, si bien que l'eau commence aussitôt à bouillir. L'introduction de l'eau chauffée à chaque étage déclenche une détente et son évaporation instantanée. En générale, seule une petite fraction de cette eau est convertie en vapeur, en fonction de la pression maintenue à l'étage, étant donné que l'ébullition continuera jusqu'à l'eau retombe au point d'ébullition.

Le concept de distillation de l'eau dans des étages successifs n'est pas nouveau et appliqué depuis plus d'un siècle. Dans les années 1950, une unité MSF qui comportait des étages en série maintenus à des pressions de plus en plus basses a été mise en place dans cette unité, l'eau d'alimentation circule d'un étage à l'autre et portée à ébullition à plusieurs reprises sans que l'on augmente la chaleur. Habituellement, une usine MSF comporte 15 à 25 étages. La figure 2 illustre le schéma d'une usine de MSF.

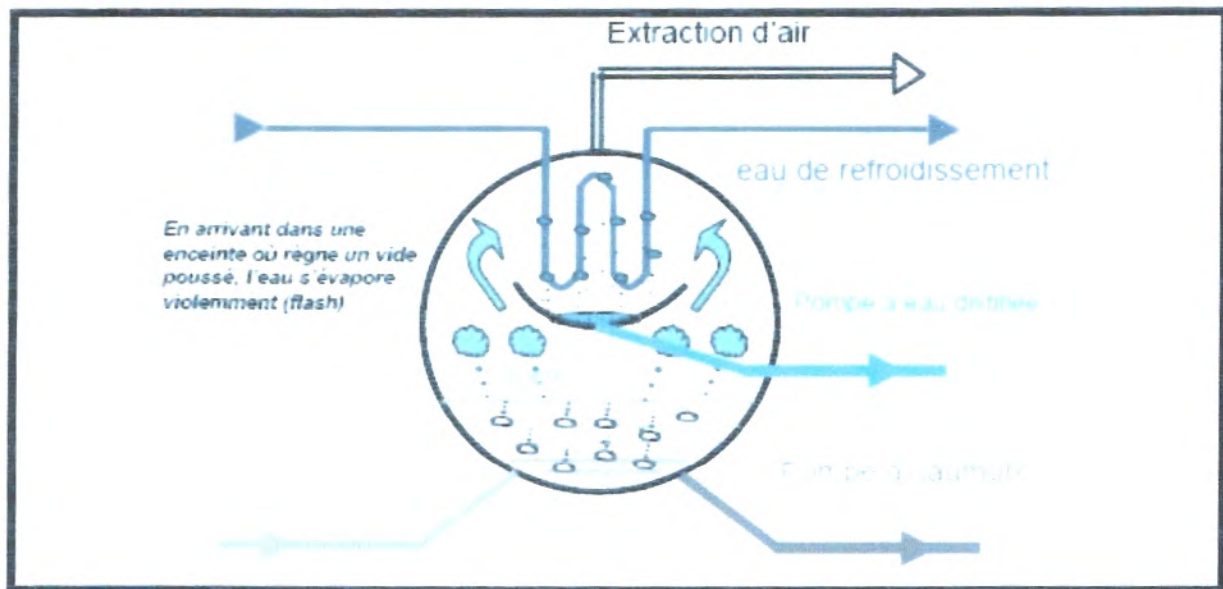


Figure 2 : Cellule unitaire MSF. (Danis P., 2003)

b. **Distillation à effets multiples (Multi-Effect Distillation MED) :**
 Dans les évaporateurs à effets multiples (ME), la vapeur provenant du premier évaporateur se condense dans le second et la chaleur de sa condensation sert à faire bouillir de l'eau salée dans celui-ci. Par conséquent, le second évaporateur agit comme un condenseur de la vapeur provenant de premier et l'action de cette vapeur dans le second évaporateur est identique à celle de la vapeur de chauffage dans le premier. De même, le troisième évaporateur agit comme condenseur pour le second et ainsi de suite. Ce principe est illustré sur la figure3. Chaque évaporateur d'une telle série correspond à un effet.

Certaines des premières usines de distillation d'eau utilisaient le procédé ME, mais ont remplacé par les unités MSF en raison de leur meilleure résistance à l'entartrage. Cependant, à partir des années 1980 le procédé ME a connu un

regain de faveur et il a été mis en place des installations de conception nouvelle introduisant une exploitation à des températures plus basses, ce qui a permis de réduire au minimum la corrosion et l'entartrage.

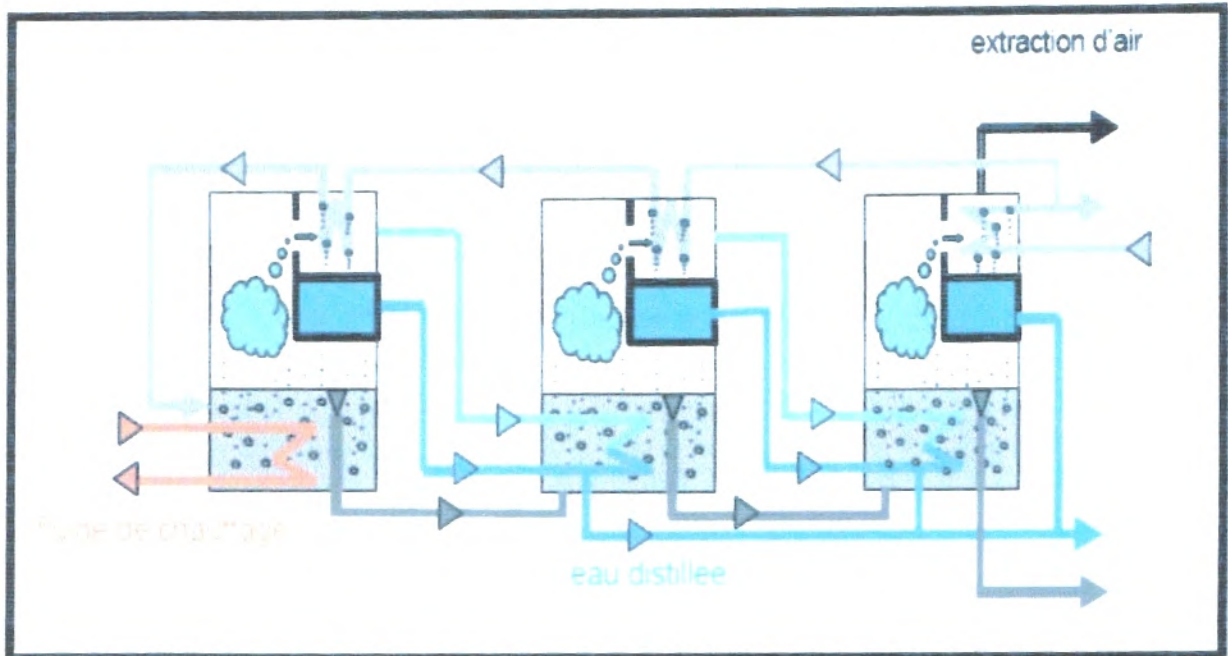


Figure 3 : Distillation à effets multiples (Multi-Effect Distillation MED).
(Danis P. 2003).

2.2.3. Procédés membranaire :

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

a. L'électrodialyse (ED) :

L'électrodialyse est un procédé qui utilise la mobilité des ions d'un électrolyte soumis à un champ électrique, le dessalement étant assuré par les membranes qui éliminent sélectivement les sels, ce qui permet d'obtenir de l'eau douce.

L'électrodialyse a été introduite sur le marché au début des années 1960. L'unité électrodialyse de base se compose de plusieurs centaines de cellules reliées entre elles par des électrodes à un bloque extérieur qui constitue la pile.

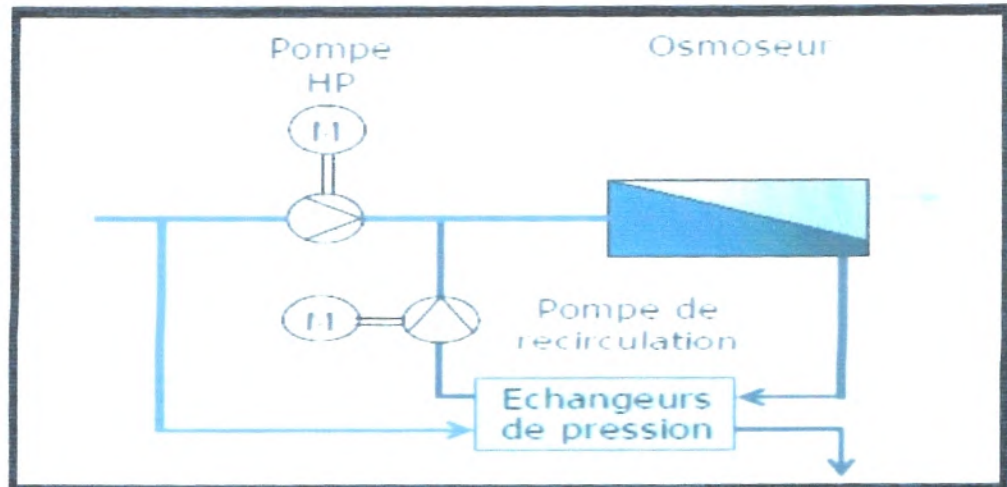
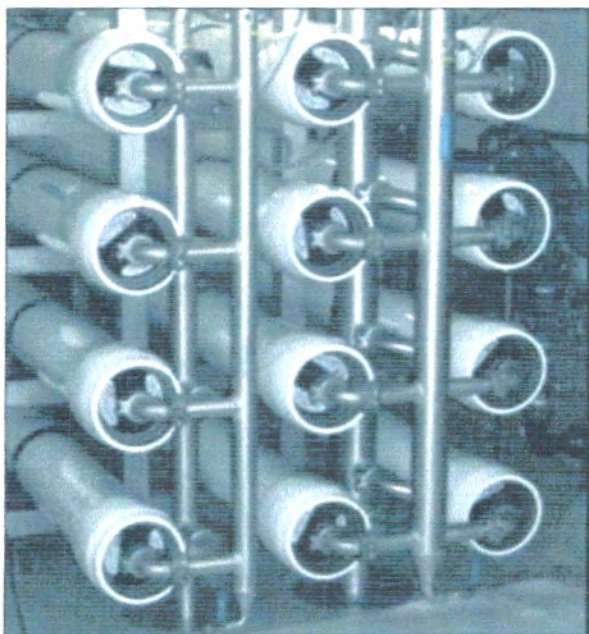
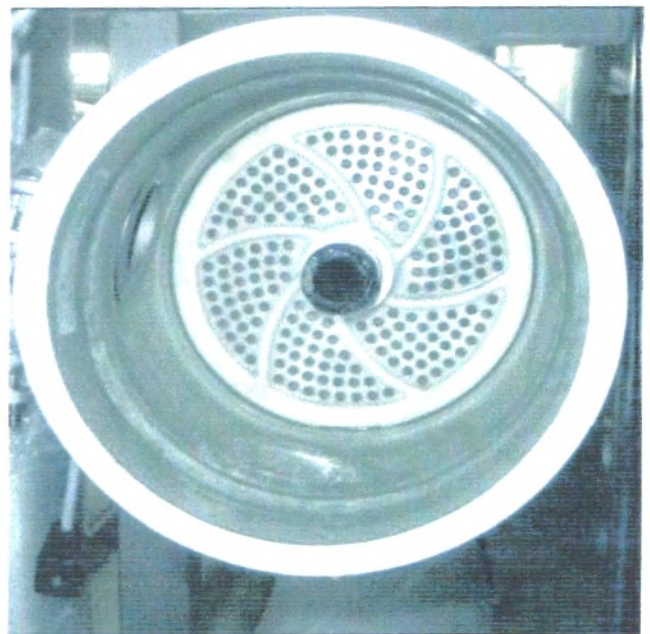


Figure 9 : Echangeurs de pression.

➤ Osmoseurs : Les membranes d'OI se présentent généralement sous forme de feuilles fines en composite configurées en spirales pour formes des éléments aux démentions normalisées. Ces éléments sont placés dans des corps de pression 6 ou 7 pars corps. En fonction de la salinité de l'eau de mer, de la température ainsi que des qualités requises pour l'eau traitée, le dessalement peut s'effectuer en une ou deux passes.



Châssis avec modules d'osmose inverse.



Détail d'un module a pression.

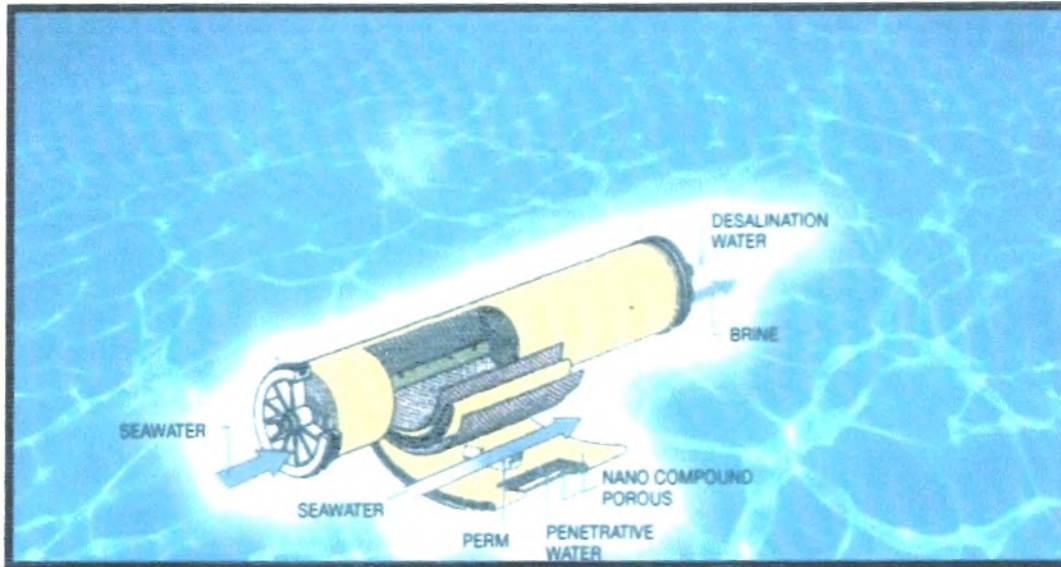


Figure 10 : Détails d'un osmoseur

➤ Osmoseurs particuliers :

Eléments constitués de feuilles fines en composite arrangées à plat, convenant aux petites capacités, membrane en fibres creuses de tri-acétate de cellulose, matériau résistant au chlore ; éléments spiralés disposés en deux étages, le deuxième étage étant composé d'éléments très haute pression (90bar). Ce système permet d'atteindre des facteurs de conversion de 60%.

⚡ Post-traitement :

L'eau d'osmose (pemeat) étant composée à plus de 90% de chlorure de sodium (Na Cl), il convient de reminéraliser l'eau pour porter son TH (titre alcalimétrique simple) calcique et son TAC (titre alcalimétrique complet) à des valeurs proches de 8°F. De plus les membranes d'OI étant perméables aux gaz, le CO₂ issu de la dissociation des bicarbonates se retrouve dans l'eau, ce qui oblige à corriger son pH. L'eau doit enfin subir une désinfection par injection de chlore, dont le résiduel permettra de la protéger lors de son transport et son stockage.

⚡ 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 circuler des solutions chimiques acides (pour des dépôts de carbonate de calcium, d'hydroxydes métalliques) et basique (pour les dépôts biologiques et bactériens).

2.2.4 Autres procédés de dessalement :

Un certain nombre d'autres ont été utilisés pour dessaler les eaux saumâtres aux marines. Ces procédés n'ont pas permis d'obtenir le rendement de distillation ou de l'osmose inverse, mais ils se sont avérés valables dans certaines circonstances ou appellent encore des perfectionnements.

a. Congélation :

Lors de processus de congélation, les sels dessous sont naturellement éliminés lors de la formation initiale de cristaux de glaces. Le refroidissement de l'eau salée pour former des cristaux de glace sous des conditions bien définies est un moyen de dessaler l'eau de mer, il existe plusieurs procédés de congélation pour dessaler l'eau de mer.

b. Distillation sur membrane :

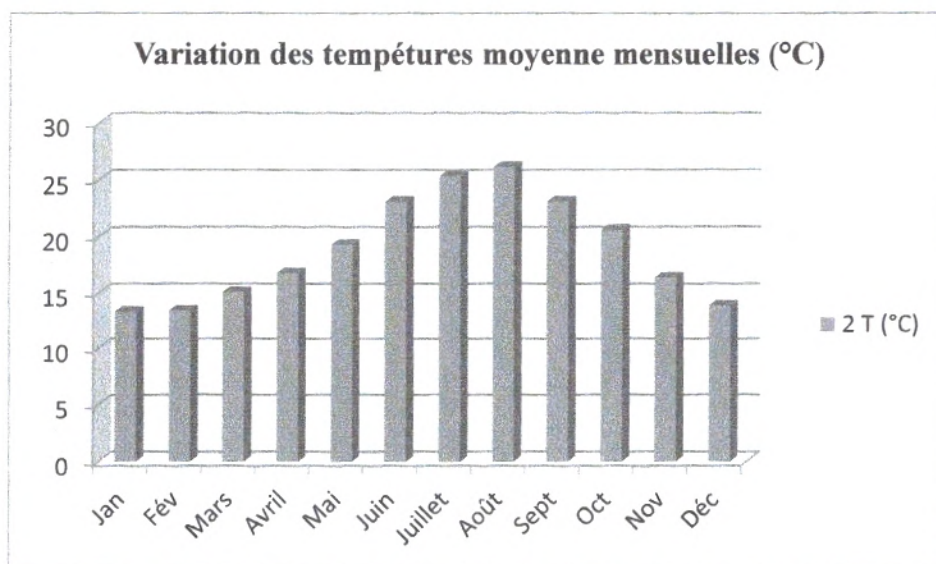
Comme son nom l'indique, le procédé consiste en l'association de distillation et membranes (Macedonio F, Drioli E, 2008). Au cours de processus, l'eau salée est chauffée pour augmenter la production de vapeur et cette vapeur est exposée à une membrane qui laisse passer la vapeur mais non l'eau sous forme liquide. Une fois que la vapeur a traversé la membrane, elle est condensée sur une paroi froide pour produire de l'eau douce.

c. Humidification solaire :

L'utilisation de l'énergie solaire directe pour dessaler l'eau salée a été envisagée et divers dispositifs ont été mis au point ils reproduisent généralement une partie de cycle hydrologique naturel puisque les rayons du soleil chauffent l'eau salée avec production de vapeur d'eau (humidification). La vapeur d'eau est alors condensée sur une paroi froide et le condensat recueilli sous forme d'eau douce (Maurel A, 2006).

Chapitre : 3

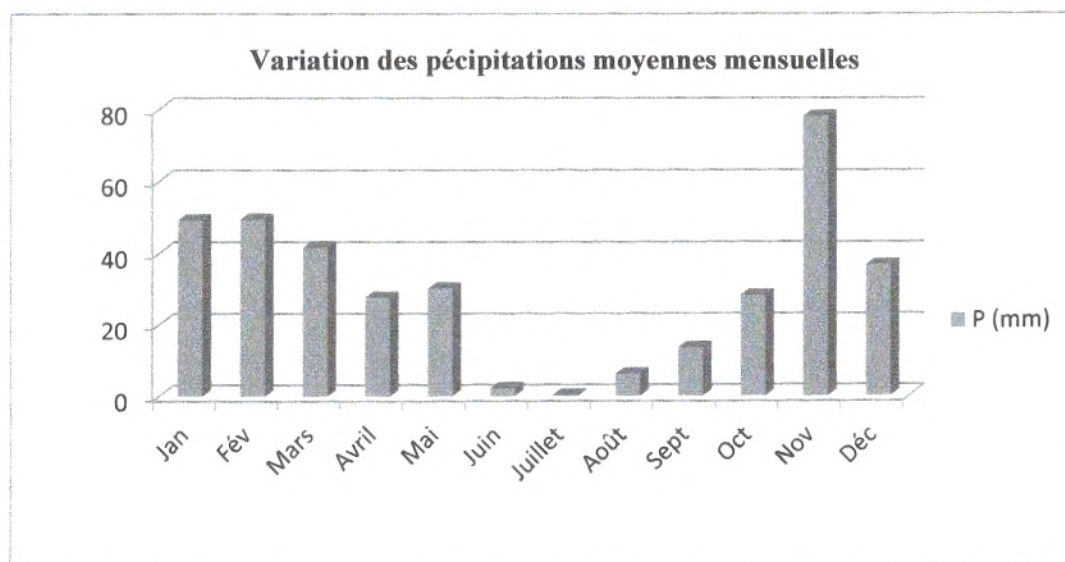
Présentation de la zone d'étude



La pluviométrie moyenne annuelle est de 363 mm avec 78 mm au mois de novembre et 0,3 mm au mois le plus sec juillet.

Tableau 5 : Les moyennes mensuelles des précipitations (2007)

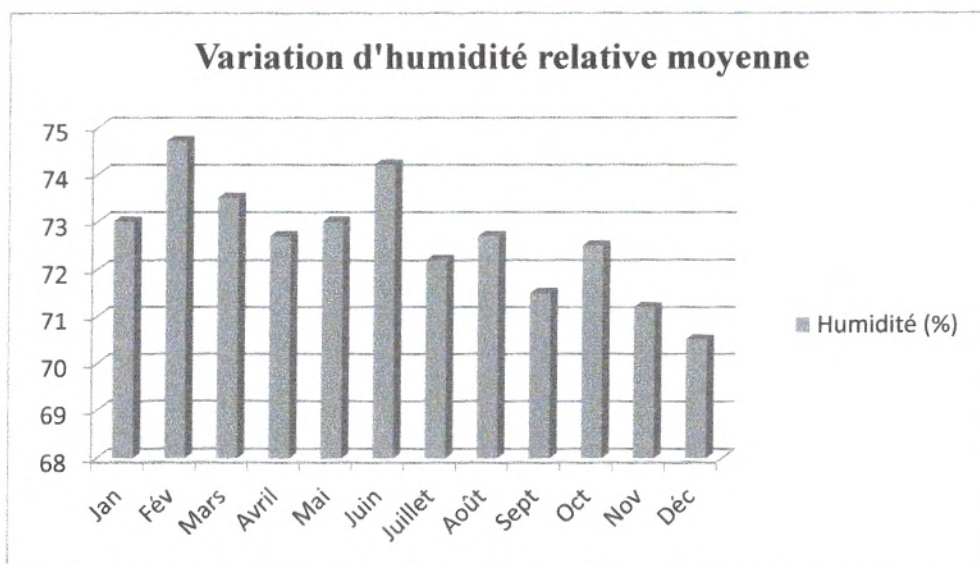
Mois	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Année
P (mm)	49,2	49,4	41,6	27,7	30,2	2,1	0,3	6,1	13,5	28,2	78	36,7	363



L'humidité est assez importante au cours de l'année : elle varie entre 70,5% et 74,7% avec une moyenne de 72,5%.

Tableau 6 : Les humidités moyennes mensuelles en % (2007)

Mois	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Année
Humidité (%)	73	74,7	73,5	72,7	73	74,2	72,2	72,7	71,5	72,5	71,2	70,5	72,5



3.6. Les vents :

La fréquence des vents Nord (19,4%) est supérieure à celle enregistrée au large (6,8%). Une partie des vents Nord ressentis sur la côte est liée aux effets de brise de vents.

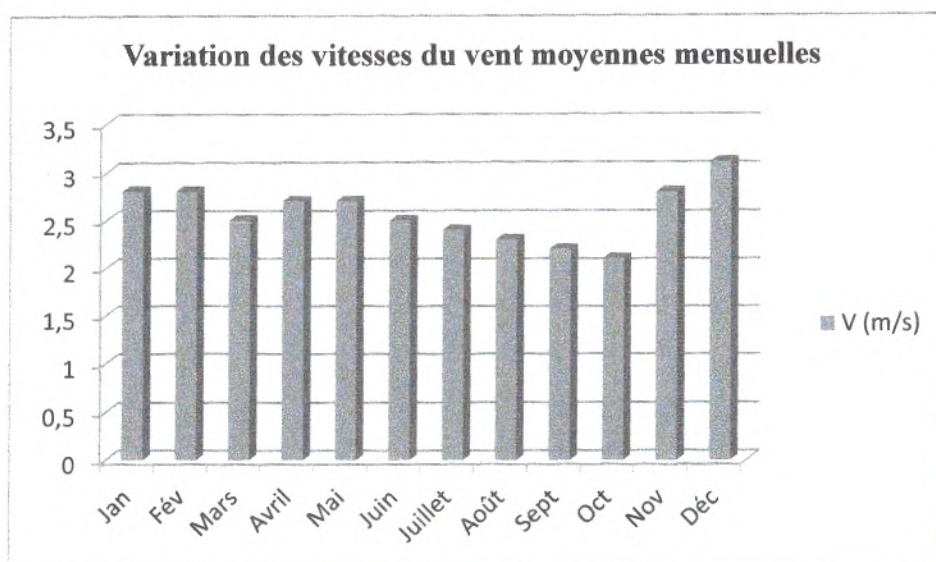
Les mois de juillet et août sont en générale les mois les plus calmes de l'année.

Le sirocco souffle sur cette région souvent en été, son impact est marqué par son pouvoir desséchant. Il souffle en moyenne dix jours par an répartis entre juin, juillet et août.

Les vents dominants prennent des directions SW à 27,5% et Nord à 26,6%.

Tableau 7 : Des vitesses de vent moyennes

Mois	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Année
V (m/s)	2,8	2,8	2,5	2,7	2,7	2,5	2,4	2,3	2,2	2,1	2,8	3,1	2,5



3.7. Les houles : Les zones côtières se caractérisent par :

Un semestre hivernal où les houles dominantes proviennent des secteurs Sud-ouest (25,43%), Ouest (19,74%) et Nord (18,04%)

Des houles provenant des secteurs Ouest, ouest Nord-Ouest et Nord de hauteur supérieure à 4 m ont été enregistrées dans la zone d'étude.

Les houles de Nord-est n'ont aucun effet sur le site.

Un semestre hivernal où les houles dominantes, de hauteur supérieure à 4 m proviennent des secteurs Nord-est (30,42%) de Sud-ouest (14,72%) et Ouest (11,05%)

3.8. Salinité :

Les mesures de courants et les précipitations dans le bassin méditerranéen montrent que les rapports fluviaux et atmosphériques sont insuffisants pour maintenir le taux de salinité et le niveau de la mer, d'après les données de la littérature, il existe d'importantes variations de la salinité entre les différentes masses d'eau qui se superposent dans le bassin algérien (Maillot al 1989).

L'eau atlantique superficielle est représentée par une salinité à 37,10‰.

A 20 m le taux de salinité diminue nettement et atteint une valeur de 36,42 ‰, les eaux de surface algérienne se caractérisent par une salinité avoisinant de 37900 mg/l.

A 20m cette salinité diminuait et atteint son seuil le plus bas. Et la salinité décroît entre 50 et 100 m car les courants algériens s'éloignent des côtes 36380 mg/l.

Les principaux sels responsables de la salinité de l'eau sont : Les sels de calcium (Ca^{+2}) de magnésium et de sodium.

La salinité est une mesure biologique importante car le sel se dissout dans les liquides organiques de tous les êtres vivants elle est également importante en océanographie avec la température, elle permet au océanographe de déterminer la densité de l'eau mer.

3.9. Courants :

La valeur moyenne des eaux atlantiques entrainent en méditerranée est en effet de 1 million m^3/s . Ce flux détermine par son importance l'allure de la circulation et l'hydrologie et même des variations de niveau dans toute la méditerranéenne occidentale parmi les principaux qui affectant la circulation générale.

Les vents, l'évaporation et la rotation de la terre qui jouent un rôle important avec les agents atmosphériques (précipitations, température, vents) agissent sur la nature en apportant des modifications mécaniques et physico-chimique.

3.10. Infrastructure touristique :

La zone d'étude apparaît au littoral et de surcroît intégré dans un espace classé ZET (zone d'expansion touristique).

La ZET de Sidi Lahcen

Elle est délimitée :

- Au Nord par la mer méditerranée
- Au sud par le chemin de wilaya CW 108
- A l'Ouest par le puits Bir Zaoui
- A l'Est par l'oued Laarife

D'une superficie de 100 ha, la ZET de Sidi Lahcen n'a fait 'jusqu'à l'heure actuelle d'aucun plan d'aménagement.

3.11. La pêche :

Les activités de pêche sont inexistantes mise à part la pêche touristique (pêche à la ligne).

Chapitre 4 :

Matériels et Méthodes

4.1. Les prélèvements :

Pour le matériel du prélèvement, on a employé des flacons neufs en polyéthylènes.

Les prélèvements ont été faits à partir d'un robinet ou on a laissé l'eau s'écouler pendant 10mn.

Au moment du prélèvement, on a rincé les flacons trois fois avec l'eau à analyser puis on les a remplis jusqu'au bord.

Les analyses sont faites sur place au niveau de laboratoire de la station. Les mesures de la température, conductivité et le pH ont été faites sur place.

Pour les tests de bactériologies les échantillons sont prélevés dans des flacons en polypropylène stérilisé. On laisse l'eau s'écouler pendant 10mn, et on stérilise nos mains et le robinet avec de l'éthanol.

Tout prélèvement doit être accompagné d'une fiche de renseignement sur laquelle est noté :

1. L'origine de l'eau
2. La date et l'heure de prélèvement
3. La température de l'eau
4. Le pH de l'eau

4.2. Analyses physico-chimique :

4.2.1. Température :

La température de l'eau est un paramètre physique très important pour les usages. Elle permet également de corriger les paramètres d'analyse dont les valeurs sont liées à la température.

La température est mesurée in situ par un thermomètre de terrain de la marque IsoLabe avec une précision de $\pm 0.03^{\circ}\text{C}$. Les appareils de mesure de conductivité et du pH possèdent généralement un thermomètre intégré.

4.2.2. Le pH :

Le pH de l'eau a été mesuré par la méthode électrochimique à l'aide d'un pH-mètre de marque HACH sonsION +31 avec une précision de $\pm 0,03$. Il permet de mesurer la différence de potentiel excitant entre une électrode de verre et une électrode de référence.

L'électrode en verre est rincée après chaque manipulation avec l'eau distillée. L'étalonnage de l'appareil est effectué avec des solutions étalons à pH connu (acide pH=4, neutre pH=7, basique pH=10).

4.2.3. La conductivité et solides totaux dissous (TDS) :

La conductivité est mesurée à l'aide d'une conductivité mètre de marque HACH sonsION + EC7 avec une précision de $\pm 0,1\%$. L'étalonnage a été effectué avec des solutions de $147\mu\text{S/cm}$, $1413\mu\text{S/cm}$, 12.88 ms/cm .

4.2.4. La turbidité :

Méthode néphélométrie ; le faisceau lumineux traverse horizontalement la cuvette contenant l'échantillon, une partie de cette lumière est diffusée par effet Tyndall grâce aux particules en suspension.

Le photomultiplicateur d'électron situé à un angle de 90° par rapport au faisceau lumineux capte les photons diffusés et transforme cette énergie lumineuse en signal électrique dont le potentiel est fonction de la turbidité.

Les mesures sont réalisées avec un turbidimètre model OACTON T-100 avec une précision de $\pm 1\%$, étalonné avec des solutions de 0.02NTU, 20NTU, 100NTU, 800NTU.

4.2.5. Le chlore libre (Nao Cl):

Le chlore est injecté dans l'eau à la fin de traitement pour la désinfection. Il est mesuré par un colorimètre de la marque HACH DR/890.

4.2.6. Les cations :

Pour notre étude, l'analyse des cations (sodium, potassium, calcium et magnésium) est faite par méthode chromatographique phase liquide, cette méthode est réalisée à l'aide d'un chromatographe de modèle Metrhome 881 compacte IC cations, en suivant les protocoles définis, l'appareil fonctionne selon un principe dynamique, celui de l'analyse liquide en milieu continu par l'intermédiaire d'une pompe péristaltique, une veine liquide progresse en continu, ce qui permet une polyvalence et une grande souplesse. Toutes les réactions chimiques se déroulent dans la veine en progression. L'analyse des échantillons est faite par séquence, donc une grande cadence de travail. L'appareil est connecté à un ordinateur et un logiciel qui permet d'avoir des résultats directs se forme des courbes. L'étalonnage est fait par des solutions bien définies et précises.

La méthode chromatographique est la plus courante par sa capacité à mesurer de très faibles concentrations.

4.2.7. Les anions :

L'analyse des anions est réalisée par la même méthode que les cations, à l'aide d'un chromatographe de modèle Metrhome 881 compacte IC anions.

4.2.8. Le bore :

Le bore (B) n'existe pas dans la nature à l'état élémentaire, mais sous différentes formes dans les dépôts minéraux et les eaux naturelles (borate de calcium, acide borique ou hydrures de bore).

C'est un élément toxique sous des formes pour l'homme. Il est également analysé, à l'aide d'un chromatographe de modèle Metrhome 881 compacte IC.

4.2.9. L'alcalinité :

L'alcalinité totale est la mesure des carbonates, bicarbonate et hydroxydes dans l'eau, elle est exprimée en tant que concentration équivalente de carbonate de calcium (CaCO_3).

L'alcalinité totale T ou TAC (Titre alcalimétrique Totale) se mesure facilement,

sur 100ml d'échantillon, par addition progressive d'un acide fort HCl de 0.02M, jusqu'au point d'équivalent, ce point est connue par l'utilisation d'un pH mètre, et le dosage sera terminé à pH= 4.5.

Après on peut calculée l'alcalinité selon notre données :

$$\text{TAC, mg/l} = \frac{\text{concentration de 0.02M HCl} \cdot \text{volume de HCl} \cdot 50000}{\text{volume d'échantillon}}$$

4.2.10. Indice de saturation de Langelier (LSI) :

L'indice de saturation de Langelier est un nombre sans dimension permettant de déterminer la stabilité du carbonate de calcium dans l'eau. Il indique si l'eau va précipiter, dissoudre ou être en équilibre avec le carbonate de calcium. En 1936, Wilfred F. Langelier a développé une méthode pour prédire le pH auquel l'eau est saturée en carbonate de calcium (pH_s). Il se calcule en faisant la différence entre le pH de l'eau et le pH de saturation (pH_s). Le LSI est exprimé par la différence entre le pH actuel de l'eau et le pH de saturation :

$$\text{LSI} = \text{pH (mesuré)} - \text{pH}_s$$

- Lorsque le $\text{LSI} > 0$, l'eau est saturée et tend à précipiter et former des dépôts de CaCO_3 .
- Lorsque le $\text{LSI} = 0$, l'eau est saturée (en équilibre) en CaCO_3 . Des dépôts de CaCO_3 ne sont ni déposés ni dissous.
- Lorsque le $\text{LSI} < 0$, l'eau est sous saturée et tend à dissoudre le CaCO_3 solide.

4.3. Analyses bactériologiques:

La méthode de filtration sur membrane consiste à recueillir, identifier et dénombrer les bactéries recherchées dans un échantillon à la surface d'une membrane filtrante stérile. La méthode consiste à filtrer, à travers une membrane de porosité de $0,45 \mu\text{m}$, un volume déterminé de l'échantillon et d'incuber ensuite cette membrane pendant 24 heures \pm 2 heures à $44,5 \text{ }^\circ\text{C} \pm 0,2 \text{ }^\circ\text{C}$ sur le milieu m-Fc. Dans ces conditions, les coliformes fécaux forment des colonies bleues qui permettent une numération et une identification présomptive.

L'identification des coliformes fécaux à l'espèce *E. coli* est confirmée par une réaction négative à l'épreuve de la cytochrome-oxydase, une réaction positive au test de l'ONPG (ortho-nitrophényl-β-D-galactopyranoside) et une réaction positive à l'épreuve du MUG (4-méthyl-umbélliféryl-β-D-glucoronide).

Le calcul des résultats se fait selon l'équation générale suivante :

$$UFC/100ml = \frac{\text{Nombre de colonies de coliformes fécaux}}{\text{Volume d'échantillon analysé en ml}} \times 100$$

Chapitre 5 :

Résultats et

Interprétations

5.1. Les résultats :

Notre travail au niveau de la station de Souk Tleta nous a permis de suivre les différentes étapes de dessalement, à partir de l'eau de mer jusqu'à l'eau traité. La première partie des analyses s'intéresse à l'eau destinée à la consommation humaine et les résultats sont mentionnés au niveau de tableau 8 et 9. Une deuxième partie pour les différents types de rejets de la station et les résultats sont mentionnés au niveau de tableau 10.

Tableau 8 : Analyses physico-chimiques des différentes étapes de dessalement

Paramètres	Unités	Eau de mer 10/03/2014	Eau filtrée 10/03/2014	Eau osmose 10/03/2014	Eau traitée 10/03/2014
pH et Température	--/°C	8.10@ 16.7°C	8.14@ 18.5 °C	7.64@ 16.7 °C	8.30@ 18.6 °C
Alcalinité	Mg/l	125.39	125.77	2.32	62.11
Bicarbonate (HCO₃)	Mg/l	152.97	153.44	2.83	75.78
Carbonate	Mg/l	1.466	1.610	00	1.131
Conductivities	µs/cm	51700	51900	650	832
TDS	Mg/l	36190	36330	332	424
La dureté	Mg/l	7809	7714	12	82
LSI	0.0-0.4	-	-	-	0.09
Le bore (B)	Mg/l	4.204	-	-	1.024
Sodium (Na⁺)	Mg/l	11174.139	11271.603	112.464	13.102
Potassium (K⁺)	Mg/l	385.199	383.978	4.590	5.685
Calcium (Ca⁺²)	Mg/l	453.141	450.762	0.967	30.762
Magnésium (Mg⁺²)	Mg/l	1621.644	1599.176	2.226	2.593
Bromate (BrO₃⁻²)	ppb	-	-	<10	<10
Chlorures (Cl⁻)	Mg/l	20272.557	20105.564	182.904	219.974
Nitrite (NO₂⁻)	Mg/l	138.123	138.510	<0.5	<0.5
Nitrate (NO₃⁻)	Mg/l	140.785	140.553	<0.5	<0.5
Sulfate (SO₄⁻²)	Mg/l	2111.446	2112.827	3.327	3.306

Chlore libre	--	-	0.00	0.00	0.46
Turbidité	NTU	3.12	0.41	0.09	0.10
TSS	--	3	-	-	-

Tableau 8 : (suite)

Paramètres	Unités	Eau de mer 15/03/2014	Eau filtrée 15/03/2014	Eau osmose 15/03/2014	Eau traitée 15/03/2014
pH et Température	--/°C	8.12@ 16.5°C	8.12@ 16.7 °C	6.73@ 17.4 °C	8.29@ 18.1°C
Alcalinité	Mg/l	125.77	125.58	2.71	63.94
Bicarbonate (HCO₃⁻)	Mg/l	153.44	153.21	3.30	78.01
Carbonate	Mg/l	1.539	1.451	0.00	0.931
Conductivité	µs/cm	51800	52300	634	823
TDS	Mg/l	36260	36610	323	420
La dureté	Mg/l	7846	7665	11	87
LSI	0.0-0.4	--	--	--	0.08
Le bore (B)	Mg/l	4.51	-	-	1.027
Sodium (Na⁺)	Mg/l	113090.741	1.1257.087	110.675	131.77
Potassium (K⁺)	Mg/l	385.607	380.141	4.476	5.051
Calcium (Ca⁺²)	Mg/l	455.247	447.483	0.892	31.015
Magnésium (Mg⁺²)	Mg/l	1629.337	1590.089	2.168	2.318
Bromate (BrO₃⁻²)	ppb	-	-	<10	<10
Chlorures (Cl)	Mg/l	19892.733	19869.072	127.035	213.134
Nitrite (NO₂⁻)	Mg/l	140.207	141.843	<0.5	<0.5
Nitrate (NO₃⁻)	Mg/l	145.561	146.905	<0.5	<0.5
Sulfate (So₄⁻²)	Mg/l	2096.452	2101.612	2.535	3.894
Chlore libre	--	--	0.00	0.00	0.34
Turbidité	NTU	6.05	0.45	0.11	0.33
TSS	--	4	-	-	-

Tableau 8 : (suite)

Paramètres	Unités	Eau de mer 20/03/2014	Eau filtrée 20/03/2014	Eau osmose 20/03/2014	Eau traitée 20/03/2014
pH et Température	--/°C	8.13@ 15.9°C	8.13@ 16.3 °C	6.87@ 18.3 °C	8.32@ 18.7°C
Alcalinité	Mg/l	124.81	124.23	2.71	65.21
Bicarbonate (HCO ₃ ⁻)	Mg/l	152.26	151.96	3.3	79.55
Carbonate	Mg/l	1.635	1.296	0.00	1.226
Conductivité	µs/cm	51400	51600	610	850
TDS	Mg/l	35980	36120	311	434
La dureté	Mg/l	7760	7728	11	88
LSI	0.0-0.4	-	-	-	0.14
Le bore (B)	Mg/l	4.363	-	-	1.04
Sodium (Na ⁺)	Mg/l	11408.095	11328.317	103.492	129.214
Potassium (K ⁺)	Mg/l	387.137	388.996	4.389	5.394
Calcium (Ca ⁺²)	Mg/l	470.381	470.010	0.900	31.671
Magnésium (Mg ⁺²)	Mg/l	1599.096	1591.523	2.158	2.210
Bromate (BrO ₃ ⁻)	Mg/l	--	--	<10	<10
Chlorures (Cl)	Mg/l	20016.594	19961.137	172.037	206.451
Nitrite (NO ₂ ⁻)	Mg/l	134.829	135.182	<0.5	<0.5
Nitrate (NO ₃ ⁻)	Mg/l	138.784	137.934	<0.5	<0.5
Sulfate (So ₄ ⁻²)	Mg/l	2104.369	2099.967	3.130	3.521
Chlore libre	--	--	0.0	0.0	0.39
Turbidité	NTU	6.25	0.64	0.08	0.34
TSS		5	--	--	--

Tableau 9 : Analyses organoleptiques et bactériologiques pour l'eau traitée.

Paramètres / L'eau traitée	Normes	10/03/2014	15/03/2014	20/03/2014
Couleur	20	0.00	0.00	0.00
Odeur	3	0.00	0.00	0.00
Coliformes totaux (n/1000ml)	<10	0.00	0.00	0.00
Coliformes fécaux (n/1000ml)	absence	absence	absence	absence
Streptocoques fécaux (n/50ml)	absence	absence	absence	absence

Tableau 10 : Analyses physico-chimiques de différents types de rejets sur différentes étapes.

Paramètres	Unités	Saumure 28/03/2014	Neutralisation 28/03/2014	Rejets 28/03/2014
pH et Température	--/°C	8.13@ 15.9°C	9.83 @ 21.4 °C	7.88 @ 20.9 °C
Alcalinité	Mg/l	225.52	201.61	240.02
Bicarbonate (HCO ₃ ⁻)	Mg/l	275.14	245.97	292.82
Carbonate	Mg/l	1.873	72.846	1.233
Conductivité	µs/cm	64300	44700	71000
TDS	Mg/l	48225	33525	53250
La dureté	Mg/l	13806	9770	10588
Le bore (B)	Mg/l	3.6	3.67	4.05
Sodium (Na ⁺)	Mg/l	20404.126	14830.126	24953.730
Potassium (K ⁺)	Mg/l	957.578	755.436	932..770
Calcium (Ca ⁺²)	Mg/l	821.152	1121.982	1266.260
Magnésium (Mg ⁺²)	Mg/l	2854.765	1692.231	1809.313
Chlorures (Cl)	Mg/l	36533.851	30923.781	53710.506
Nitrite (NO ₂ ⁻)	Mg/l	238.843	190.774	186.051

Nitrate (NO₃⁻)	Mg/l	221.406	177.241	231.501
Sulfate (So₄⁻²)	Mg/l	3860.095	3285.618	5476.016
Chlore libre	--	0.00	1.9	0.00
Turbidité	NTU	2.3	236	41.5

Tableau 10 : (suite)

Paramètres	Unités	Saumure 30/03/2014	Neutralisation 30/03/2014	Rejets 30/03/2014
pH et Température	--/°C	8.10 @ 17.5 °C	9.75 @ 20.6 °C	8.08 @ 21.7°C
Alcalinité	Mg/l	220.81	192.01	233.29
Bicarbonate (HCO₃⁻)	Mg/l	269.39	234.25	284.62
Carbonate	Mg/l	2.304	23.581	2.123
Conductivité	µs/cm	61800	35600	68500
TDS	Mg/l	46350	26700	51375
La dureté	Mg/l	8958	9058	10183
Le bore (B)	Mg/l	3.7	3.85	4.51
Sodium (Na⁺)	Mg/l	18504.346	1550.220	22844.563
Potassium (K⁺)	Mg/l	925.463	478.463	946.591
Calcium (Ca⁺²)	Mg/l	800.910	1010.192	1190.334
Magnésium (Mg⁺²)	Mg/l	1689.696	1583.302	1750.976
Chlorures (Cl)	Mg/l	33920.971	30894.967	50780.733
Nitrite (NO₂⁻)	Mg/l	230.753	180.180	180.970
Nitrate (NO₃⁻)	Mg/l	215.115	175.340	230.222
Sulfate (So₄⁻²)	Mg/l	3331.329	3056.511	4512.321
Chlore libre	--	0.00	--	--
Turbidité	NTU	1.9	51.5	17.6

Remarque : Les rejets représentent l'ensemble de la saumure et les produits de nettoyages neutralisés.

5.2. Interprétations des résultats :

De la source jusqu'à son arrivée aux usagers, l'eau peut subir de très nombreuses modifications de sa qualité intrinsèque.

Une bonne connaissance des facteurs qui peuvent influencer la qualité de l'eau dans le réseau est indispensable pour les services d'exploitation afin d'anticiper et d'éviter des problèmes potentiels tels que les risques sanitaires. Les facteurs susceptibles de provoquer la dégradation de la qualité de l'eau sont :

5.2.1. La température :

Une température élevée peut favoriser des goûts désagréables. De plus, elle accélère la corrosion, influence la croissance bactérienne, dissipe l'effet du désinfectant résiduel et modifie la valeur du pH. Pour notre résultats, on ne remarque pas ce problème, les températures ne dépassent pas les 25°C de puis la source jusqu'à la fin de traitement. Pour la station, elle infecte aussi la performance et l'efficacité des membranes d'ultrafiltrations et les membranes d'osmose inverse. Plus les températures sont élevées, plus il y a le passage des matières en suspensions et les éléments dissous.

5.2.2. Le pH :

Est un élément qui peut varier facilement le long de procédé et la distribution du fait de l'évolution de la concentration de CO₂ dissous. Ainsi, une aération dans un réservoir peut rendre une eau dure et incrustante par une perte de CO₂, ce qui risque d'obturer les conduites par dépôt de tartre. Inversement, une eau chargée de CO₂ agressif (avec un pH bas) a tendance à attaquer les matériaux avec des conséquences importantes : dissolution des ciments, attaque des métaux ferreux (corrosion), etc.

Dans notre cas le pH de l'eau de mer est presque constant ne varie pas (pH= 8,10 ; pH=8,14), après le traitement par osmose inverse il diminue a des valeurs agressives, (pH=6,6 et pH=6,9), mais qui reste dans les normes algériennes. La partie finale qui est la reminéralisation par la chaux permet d'augmenter le pH a des valeurs voisinages de 8.3 et qui sont toujours dans les normes.

5.2.3. Les chlorures :

La réglementation internationale fixe la norme des chlorures de 25 mg/l comme valeur idéale, et 200mg/l comme concentration à risque. La présence des chlorures dans l'eau de mer est très élevée, elles arrivent à des valeurs de 20000mg/l. Après l'étape d'osmose inverse, les valeurs diminues jusqu'à les 200mg/l et qui reste dans les normes .La réglementation algérienne pour les chlorures a fixé la norme de 200 à 500 mg/l.

5.2.4. Le calcium :

Il est présent dans l'eau de mer avec des tenures très élevés, plus de 400mg/l, mais après l'étape d'osmose inverse, il est presque éliminé, reste que des traces 0.9mg/l. C'est un élément dépend de la reminéralisations de l'eau par la chaux, pour arriver à des valeurs, environ de 30mg/l, mais cette valeur reste un peu plus loin des normes qui sont de 200mg/l.

5.2.5. L'alcalinité, la dureté, et bicarbonate :

A cause de la présence de calcium et magnésium dans l'eau de mer avec des valeurs très élevées, ces paramètres nous donne des résultats remarquables aussi, l'alcalinité ≥ 125 mg/l, la dureté ≥ 7800 mg/l, la même chose pour les bicarbonates ≥ 150 mg/l.

Après l'osmose inverse, ces valeurs sont remarquablement diminuées. Pour l'eau traitée, ces éléments sont contrôlés par l'injection de CO₂ et la reminéralisations par la chaux.

5.2.6. Conductivité et TDS :

La conductivité est un paramètre qui a une relation directe avec la minéralisation qui elle-même est en relation directe avec le TDS de l'eau. Elle peut entrainer cependant, selon le cas, un gout salé et même une accélération de la corrosion au niveau des dépôts dans la canalisation.

Les différentes mesures de la conductivité dans l'eau de mer ont données des résultats allant majoritairement de 52000 μ s/cm. Après le passage de l'eau de mer prétraiter dans l'unité d'OI, la conductivité a baissé pour atteindre une valeur moyenne égale à 330 μ s/cm. Mais la norme Algérienne concernant la conductivité est de l'ordre de 2800 μ s/cm. Alors pour être dans la norme, l'ajout de la chaux jouent un rôle pour atteindre finalement des valeurs tournant approximativement autour de 420 μ s/cm.

5.2.7. LSI :

C'est un indice qui tient compte à la fois de la température, du pH, de l'alcalinité et de calcium. L'indice de Langelier est une évaluation globale de la qualité de l'eau pour déterminer si l'eau est corrosive ou s'il y aura formation de tartre. On pourra déterminer si l'eau est balancé ou non chimiquement.

Élevé : Il y aura formation de tartre, l'eau sera brouillée et le chlore sera moins efficace.

Faible : L'eau sera corrosive et le chlore sera moins efficace.

Selon nous résultats, on peut conclure que l'eau est balancée car l'indice se situe entre 0.0 et 0.4.

5.2.8. Sodium, Potassium, Magnésium, et Sulfate :

Sachant que Na^{+2} , K^{+} , Mg^{+2} et So_4^{-2} sont des substances minérales essentielles pour l'organisme humain.

Alors on doit toujours avoir une eau riche en ces éléments (ne dépassant pas la norme). Notre eau de mer contient des concentrations de $\text{Na}^{+2} = 1130\text{mg/l}$, $\text{K}^{+} = 380\text{mg/l}$ et $\text{Mg}^{+2} = 1600\text{mg/l}$, et un $\text{So}_4^{-2} = 2110\text{mg/l}$.

Après le traitement par l'osmose inverse, l'eau obtenue présentent les valeurs de $\text{Na}^{+2} = 110\text{mg/l}$ et des valeurs très faibles de, K^{+} , Mg^{+2} et So_4^{-2} entre 2 et 5mg/l. Ces différentes valeurs font de cette eau trop douce, d'où la nécessité de la reminéraliser. Cette opération a été effectuée au niveau du poste traitement par le rajout de la chaux.

Ces valeurs sont bien loin de la concentration dans notre eau traitée, ce qui nous conduit à dire que la reminéralisations n'est pas fait correctement.

5.2.9. Le bore :

La directive européenne 98/83/CE du 3 novembre 1998 et sa transposition en droit français par le décret n°2001-1220 du 20 décembre 2001, codifié en 2003 dans le code de la santé publique et les normes algériennes fixe comme limite de qualité une concentration en bore de 1mg/l dans les eaux destinées à la consommation humaine. L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) indique, comme valeur-guide, une concentration en bore égale à 0,5 mg/L, mais signale que cette valeur n'est que provisoire, car il est difficile, dans les régions où la concentration en bore est importante, d'obtenir cette valeur avec les traitements

disponibles d'élimination du bore.

5.2.10. Les nitrites, nitrates et bromates :

La présence de ces éléments dans les eaux de consommation est indésirable et considéré comme des éléments polluants. L'existence de ces éléments est favorisée par une utilisation intense des engrais chimiques avec une concentration plus grande et des détergents de nettoyage qui sont transportées et versées directement dans la mer par ruissèlement ou par réseaux d'assainissement. La norme algérienne pour la potabilité de l'eau concernant, les nitrites est donnée au maximum à 3mg/l, les nitrates 50mg/l. Pour l'eau traité la teneur en nitrites et nitrates est inférieure de 0.5 mg/l et elle est inférieure de 10ppb pour les bromates, ces teneurs sont inférieurs à la norme donc cette eau conforme à la norme.

5.2.11. La turbidité :

Une turbidité élevée induit un ralentissement des bactéricides et une corrosion importante.

La valeur de la turbidité de l'eau de mer est inférieure de 8 NTU, cette valeur est idéale pour le fonctionnement de la station. Grâce à l'ultrafiltration, la turbidité s'est réduite à une valeur moyenne égale à 0.5 NTU qui est inférieur à la norme établie.

Et logiquement avec l'osmose inverse la turbidité avoisine une valeur de 0.1NTU, mais le rajout de la chaux l'ont fait augmenter à la valeur tournée de 0.3NTU.

5.2.12. Chlore libre (CL_{resd}) :

Le chlore est l'un des réactifs le plus utilisé lors de la désinfection. En distribution, la teneur résiduelle en chlore constitué un indicateur de non contamination du réseau après le traitement et un témoin de l'efficacité de traitement bactéricide.

Il ne devrait pas dans les conditions normales d'exploitation, subsister plus de 0,6mg/l à 1mg/l de chlore libre (HOCl, OCl⁻) dans l'eau de consommation. Cependant, les résultats retrouvés concernant l'eau traitée donnent une valeur maximale égale à 0,5mg/l (<1 mg/l), seulement c'est tout à fait supérieur à 0,2 mg/l ce qui reflète présence d'un problème organoleptique dans l'eau traité mais cette valeur peut se diminuer à cause de la corrosion des tuyaux de distribution de l'eau potable pour suivre les normes.

5.2.13. Les facteurs biologiques :

L'eau produite dans la station passe par différentes étapes et traitements qui ne permettent pas la croissance facile des bactéries et micro-organismes et ça qui est présentée pas les résultats des tests bactériologiques.

5.2.14. Le temps de séjours et la vitesse d'écoulement :

La conservation de la qualité de l'eau est facilitée par la réduction du temps de séjour dans le réseau. Les stagnations d'eau favorisant corrosion, dépôts et apparition des micro-organismes heureusement ce problème n'est pas présent dans ce cas, car l'eau ne reste pas stockée dans les réservoirs plus de 3 heures.

5.2.15. Les rejets :

D'après nos analyses des rejets, en résulte donc, dans tous les cas, un effluent concentré qui a une composition chimique de concentration de 1.3 à 2 fois plus élevée que l'eau d'alimentation, avec en plus les produits chimiques utilisés au cours des phases de prétraitement et de post-traitement ainsi que lors du lavage.

Toute une série de produits chimiques et d'additifs servent lors de dessalement, à prévenir ou combattre l'entartrage ou la prolifération des microorganismes dans les circuits.

Les constituants présents dans les eaux résiduaires rejetées dépendent dans une large mesure de la qualité de l'eau d'alimentation, de la qualité de l'eau douce produite et de la technique de dessalement adoptée. Cependant, les rejets ne comprennent pas seulement l'effluent de saumure concentrée, mais les désinfectants et les agents anti-salissures (anti-fouling) et ils finissent par modifier relativement la composition de la saumure concentrée. Ces produits chimiques peuvent différer en fonction des principaux procédés de dessalement.

Exemple sur les produits chimiques utilisés par la station de Souk Tleta et la quantité utilisé par année. Cette quantité se diffère selon le fonctionnement de la station et les étapes de dessalement.

Tableau 11 : Des produits chimiques utilisés.

Produits chimiques	Consommation T/AN	Objets
Antitartre	189	Prévient la formation de tartre sur les membranes
Bisulfite de sodium	55	Elimine le chlore et protège les membranes (OI sensibles au chlore)
Hydroxyde de sodium	3701	Ajustement de pH
Hypochlorite de sodium	2047	Désinfection, prévient l'encrassement biologique et élimine les microorganismes qui se nourrissent des membranes (UF)
Acide chlorhydrique	223	Nettoyage des membranes
Dioxyde de carbone	5530	Ajustement de pH
La chaux	4312	Reminéralisations de l'eau

Le nettoyage et le stockage des membranes peuvent engendrer des eaux potentiellement dangereuses. Les membranes doivent être nettoyées en fonction de la qualité de l'eau d'alimentation et du fonctionnement de l'usine. Les formulations utilisées pour le nettoyage des membranes sont habituellement des solutions alcalines ou acides aqueuses. De plus, une solution chimique de préservation (généralement à base de bisulfite de sodium) est utilisée pour le stockage des membranes.

➤ Agents antitartres :

Les dépôts de tartre se forment sur les surfaces du matériel de dessalement industriel. La présence de tartre entraîne inévitablement des difficultés d'exploitation et/ou une perte de rendement.

Les poly-phosphates, qui retardent les dépôts de tartre sont un agent antitartre précoce, peu onéreux, mais d'une efficacité restreinte. Ces poly-phosphates sont utiles pour empêcher la dureté (calcaire) présente dans l'eau de se déposer sur les parois des membranes.

➤ Agent anti-salissures :

Les salissures (fouling) constituent un processus à phases multiples dans lequel interviennent de nombreux groupes d'organismes. Elle commence par l'absorption de substances polymères de l'eau non traitée sur les surfaces solides, ce qui permet la formation d'un film précurseur pour la colonisation par des bactéries. À ce premiers biofilm adhèrent des périphytes, puis des micro-algues, des protozoaires et des champignons et enfin des débris, détritus et particules inorganiques.

Depuis longtemps, les composés de chlore sont utilisés pour désinfecter les systèmes d'apport d'eau de mer, afin de prévenir les salissures. Ce chlore doit être éliminé en amont des membranes d'osmose inverse.

Il est utilisé aussi pour le nettoyage des membranes d'ultras filtration.

Chapitre 6 :

Impacts de station

de dessalement sur

l'environnement

6.1. Introduction :

Les impacts potentiels, pendant la phase d'exploitation de la station de dessalement commence dès que la mise en service les ouvrages réalisés.

Les impacts des rejets saumures d'une usine de dessalement sur le milieu marin dépendent des propriétés physiques et chimiques des rejets et de la susceptibilité des écosystèmes côtiers à ces rejets en fonction de leurs caractéristiques hydrographiques (océanographiques) et biologiques. Par conséquent, une bonne connaissance à la fois des propriétés de l'effluent et du milieu récepteur est nécessaire afin d'évaluer les impacts potentiels de la station de dessalement sur l'environnement marin.

L'étude d'impact sur l'environnement d'une usine de dessalement doit se focaliser sur les deux aspects les plus critiques : le rejet des saumures sur l'écosystème marin et l'accroissement de la consommation énergétique par rapport aux autres alternatives de ressource en eau potable.

En ce qui concerne l'impact des saumures, il faut souligner que la salinité des saumures est très élevée. Cette différence de salinité avec l'eau de mer explique le comportement du rejet hyper salin, la masse d'eau très dense forme une couche ou un panache sur le fond marin et se déplace suivant les lignes de pente maximales. Le degré de stratification est tellement élevé que la dilution de cette masse d'eau avec la couche d'eau supérieure de salinité ambiante est très difficile.

La saumure est caractérisée par sa forte concentration de substances extraites des eaux marines. Par ailleurs et souvent plus critique, la saumure contient des additifs et des produits de corrosion. Les additifs sont des produits chimiques utilisés pour contrôler l'encrassement de la corrosion qui sont ajoutés au cours du processus de dessalement et déversées dans les eaux côtières. En outre, à côté de la forte salinité et des contaminants, les effluents saumures peuvent aussi montrer une augmentation de la turbidité.

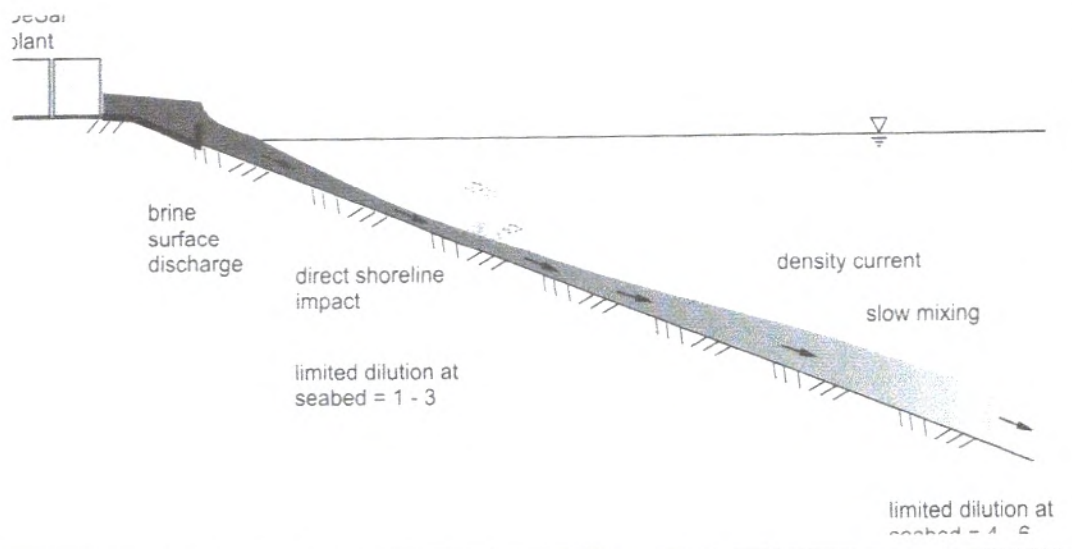


Figure 11 : Schéma de rejet saumure (Bleninger et al.2006)

6.2. Indicateurs de suivi de l'impact environnemental des rejets de station de dessalement :

Le rejet à la mer de la saumure, du fait de sa salinité et de sa concentration en substances chimiques, peut avoir des impacts négatifs sur le milieu marin, spécialement sur les organismes benthoniques (lies au substrat) à caractère sténohalin (ne tolérant pas de brusques variations de la salinité).

Certains critères nécessaires doivent être pris en considération pour apprécier les impacts :

6.2.1. Température :

Le procédé de dessalement peut augmenter la température des rejets saumure au-dessus de celle de l'eau de mer ambiante c'est notamment dans le cas de procédés de distillation. Cependant, d'après la littérature il est souvent difficile de savoir si l'évaluation des plages de température a été basée sur des prédictions du modèle ou des mesures sur le terrain. L'usine de distillation chauffe l'eau d'ambient, une grande partie de cette chaleur est conservée dans la saumure au-dessus d'ambient, tandis que dans le cas d'OI la température des rejets saumure est généralement environnant à celle de l'eau de mer.

A noter que selon certaine littérature le procédé d'OI peut également induire une augmentation de la température et de la salinité. Les mesures sur le terrain de la température des saumures dans une usine d'OI dans les îles Canaries étaient 2°C

au-dessus de la température ambiante. D'autre étude de quelques usines d'OI à signaler une augmentation de la température des rejets saumures de 3 à 9°C par rapport à la température d'eau d'alimentation.

6.2.2 .Salinité :

L'osmose inverse produit des rejets saumures avec une salinité jusqu'à deux fois celle de mer. Cette augmentation de la salinité augmente par conséquent la densité de la saumure et si non dilué, la saumure stratifie au-dessous l'eau de mer moins dense.

D'après l'étude de la station de l'île de Barraow, il n'existe aucune preuve d'importante stratification de la salinité naturelle, en raison du degré élevé de mélange dans l'eau.

Une enquête similaire du taux de dilution a été achevée dans une usine d'OI dans le nord-ouest Méditerranée (Raventos et al. 2006). L'étude sur terrain révèle également la dilution rapide de la saumure, avec une salinité voisine atteint les 10m.

Les mesures de la salinité à une des plus grande usine d'OI en Espagne, ont montré que la salinité d'abord diminue rapidement à proximité de l'exutoire (Fernandez-Torquemada et al. 2005, Del-Pilar-Ruso et col.).

Les mesures des trois installations montrent que en générale, la salinité diminue rapidement à proximité de l'exutoire pour les usines d'OI, même si les diffuseurs utilisés sont simples.

6.2.3. Le pH :

Le processus de chloration de l'usine de dessalement peut légèrement réduire le pH du rejet saumure par rapport à l'eau de mer d'admission. La littérature soutient ce point de vue en affirmant que le pH de la saumure issue d'usine d'OI n'est généralement pas changé ou légèrement inférieure à l'eau d'admission (Hashim et hajjaj 2005 ; Lattermant et Hopner.).

6.2.4. L'oxygène dissous :

La réduction de l'oxygène dissous peut avoir un impact potentiel sur la vie marine (les rejets saumures issues des usines de distillation ont souvent réduit en oxygène dissous.

Une réduction significative de l'oxygène dissous en raison de chauffage est peu probable dans le cas d'usine d'OI, car les températures ne sont que marginalement augmentées.

L'utilisation de produits chimiques telle que le bisulfite de sodium pour empêcher la corrosion et éliminer le chlore résiduel dans l'OI, pourrait réduire l'oxygène dissous dans les rejets saumures. La dilution rapide est susceptible de maintenir des niveaux de concentrations d'oxygène dissous dans les rejets. Un examen des mesures sur terrain a montré que l'effluent de l'usine de dessalement de Perth en Australie est très dilué et n'a pas eu un impact mesurable de l'oxygène dans les eaux profondes de Cockburn Sound (Océanie 2007; Okely et al).

6.2.5. Additifs antitartres :

Aucun impact direct lié à l'utilisation des produits antitartres et séquestrant n'a pu être mis en évidence à travers l'étude bibliographique que nous avons mené.

6.2.6. Anti-salissures :

Le chlore est un oxydant et un biocide efficace, très économique mais qui peut être toxique pour la vie marine même en concentration diluées. Le chlore réagit également avec les composés organiques dans l'eau de mer pour former d'autres composés halogénés tels que sous-produits organiques qui sont nocifs pour la vie marine. Il occasionne des effets biologiques par son action stérilisante intrinsèque et des effets chimiques en halogènes avec les constituants organiques de l'eau de mer.

6.2.7. Anti-mousses :

Les agents anti-mousses sont des détergents. Les détergents ont des effets nocifs sur les organismes en altérant le système membranaire intracellulaire. Les effets sur l'écosystème marin n'ont pas été étudiés, mais d'après la littérature elles pourraient être négligeables.

6.3. Impacts des rejets saumures sur les ressources marines :

Les effets négatifs potentiels des rejets d'usine de dessalement sur les ressources marines sont tempérés par les facteurs suivants :

6.3.1. Facteurs des rejets :

- ❖ Le volume total de la saumure étant libéré : Par exemple, le potentiel de dommages à l'environnement à partir de petites quantités des rejets de saumure peut différer considérablement des impacts potentiels associés à des quantités plus grandes des rejets. Les rejets de grandes quantités de la saumure concentrée exigent un examen plus approfondi des impacts potentiels sur l'environnement que celui des petits volumes.
- ❖ Les constituants de la saumure : Les constituants des rejets saumures peuvent avoir des effets négatifs sur les organismes marins des biocides, métaux de haute concentrations et faible teneur en oxygène. En cas de détection ces constituants doivent être enlevés ou neutralisés avant rejet.
- ❖ Le facteur de dilution de la saumure avant rejet : La forte concentration en sel dans le rejet ainsi que les fluctuations des taux de salinité peuvent tuer les organismes à proximité de l'émissaire qui ne peuvent tolérer ni niveau élevé de salinité ni les fluctuations. En outre, les rejets d'usine sera plus dense que l'eau de mer et pourrait couler au fond ce qui pourrait causer les impacts négatifs pour les communautés benthiques.
- ❖ Les changements de la salinité : Peuvent aussi modifier les schémas de migration des poissons le long de la cote. Si certaines espèces de poissons sens un changement de la salinité ils peuvent éviter la zone de la panache et passer plus au large. Par conséquent, les poissons seraient forcés de nager sur une distance plus longue, ils quittent les zones de plus fortes concentrations en nourriture et ils augmenteront l'exposition aux prédateurs. L'impact potentiel de cette nature est incertain en raison des connaissances limitées sur la migration le long de la cote et l'incertitude quant à la taille du panache.

6.3.2. Les effets des rejets :

Les effets de ces rejets sur le milieu marin, comme l'ont démontré de nombreuses études sont les suivants :

❖ Anoxie aux niveaux des fonds marins : La colonne d'eau se trouve divisée en deux, l'eau de mer constitue la couche supérieure et la saumure la couche inférieure. Dans des conditions de calme du milieu récepteur avec un faible renouvellement des algues, la présence d'espèces benthoniques, consommatrices d'oxygène peut conduire à des périodes d'anoxie du fond marin.

Diminution de la lumière : La présence d'un fluide hyper salin modifie le coefficient de réflexion de la lumière filtrée, provoquant la formation d'un brouillard qui rend difficile le passage de la lumière, affectant ainsi la photosynthèse des espèces marines végétales. Cela s'accroît avec la turbulence provoquée par le rejet, principalement s'il est sous forme de jet. La *Posidonie océanique* et autres communautés benthoniques requièrent beaucoup de lumière, ce qui implique de maintenir une haute transparence des eaux.

❖ Affectation des espèces marines : Une réduction significative était détectée dans les communautés des échinodermes (utilisés comme bio-indicateurs pour leur sensibilité) près des zones de rejet : par exemple, effets négatifs sur les échinodermes *Paracentrotus lividus* et *Leptomysis posidoniae*.

Certaines recherches indiquent que la mortalité de nombreuse flore marine et de la faune peut se produire à des concentrations de salinité supérieure à 40 g/l, avec des espèces d'algues particulièrement sensibles aux augmentations au-delà cette limite. Toutefois les fonctions physiologiques (par exemple, la reproduction et la croissance) de nombreuses espèces peuvent être affaiblies à des concentrations beaucoup plus faibles de la salinité que cela. Par conséquent, l'adoption d'une approche concentration conservatrice de la salinité d'environ 2-5g/l au-dessus des concentrations de fond (moyenne de 35g/l) peut entraîner des chroniques et des éventuels effets néfastes sur des espèces plus sensibles. Les impacts écologiques varient avec le site, la taille et la conception de l'usine de dessalement, ainsi que l'écologie et l'hydrodynamique de l'eau réceptrice.

❖ Affection des phanérogames marines : La mer Méditerranée est la zone du monde où le plus grand nombre d'études a été réalisé à ce sujet. Ils ont détectés des effets sur les phanérogames marines. Notamment, en ce qui concerne la *Posidonia océanique*, une augmentation de la mortalité des individus a été détectée, ainsi qu'une apparition de nécrose sur les tissus et une grande chute des feuilles.

Les valeurs limites d'affection sont très variables selon les espèces : La *Posidonia océanique* résiste à une augmentation de 1psu, alors que d'autres espèces résistent jusqu'à une augmentation de plus de 20 psu. D'après la littérature l'intensité des impacts de la saumure varie pour les différentes espèces et dépend également des caractéristiques de rejet. Très peu de données concernant les limites de tolérance à la fluctuation de la salinité.

La salinité accrue affecte les organismes marins par le processus d'osmose. Quand des organismes marins sont exposés à une variation de la salinité (contenu en sels élevé dans le milieu externe que dans les fluides de l'organisme) ils sont soumis à un choc osmotique qui est préjudiciable pour la plupart d'entre eux en fonction de leur tolérance à la salinité (Levinton, 1996).

En ce qui concerne les récifs de corail, les auteurs ont constaté que les coraux *Porites lutea*, *Goniastrea pectinata* et *Galaxea fascicularis* mourait au bout de 24h d'exposition à une salinité de 52,5‰ ; 48% d'entre eux mouraient avant une semaine. La salinité critique se situait entre 40 et 45‰.

Endean (1978) présente les résultats d'une revue de la bibliographie relative aux impacts des rejets de la saumure sur les récifs de corail. L'auteur signale qu'aux îles Vierges, les coraux et autres invertébrés meurent dans un rayon de 200m du point de rejet.

En Floride, les effluents de saumure semblent avoir causé des modifications marquées de la densité des populations de nombreuses espèces dans la zone de rejet. L'article souligne que les dommages étaient provoqués par la salinité élevée des effluents de saumure et la présence de métaux en traces.

Hammond et al (1998) étudient les effets du concentré de l'osmose inverse d'eau de mer sur la communauté benthique dans deux zones : Floride et

Caraïbes (Antigua). Les résultats autorisent à penser qu'il n'y a pas eu de toxicité décelable pour l'herbier *Thalassia testudium* près de l'usine d'Antigua. Le panache du rejet n'affectait pas le taux de broutage d'un grand consommateur d'herbier, le poisson perroquet de mer *Sparisoma radians*. Les résultats indiquent également que le rejet n'avait pas d'effets décelables sur la concentration de chlorophylle (biomasse) et l'abondance numérique de la communauté d'algues microscopiques benthiques de la zone. Il n'a pas été observé d'effets statistiquement significatifs sur la micro-épifaune ou les poissons pélagiques. Les coraux ne présentaient aucune perturbation apparente résultant de l'accroissement maximal de la salinité à 45‰.

Tableau 12 : Effets de la salinité directe sur les espèces marines (source : SEQ Regional Desalination Plant Siting Studies, Février 2008)

Groupe	Sensibilité à la salinité
Phytoplancton	-Espèces hautement spécifiques - Intolérantes de l'hyper-salinité conditions (salinité > fond) -Salinité > 2g/l au-dessus de la salinité du fond, représenté un risque aux espèces sensible
Les mangroves	-Salinité de 40 à 50g/l peut causer la mortalité - Croissance optimale de 5 à 30g/l - Salinités supérieures au fond susceptibles d'affecter négativement les espèces et éventuellement d'autres fonctions
Marais salants (Saltmarsh)	-La croissance optimale est spécifique pour chaque espèce, mais généralement inférieure à l'eau de mer ambiante. - Salinité > maximales du fond susceptibles d'affecter négativement la croissance et éventuellement d'autres fonctions
Herbiers (Seagrass)	- <i>Halophilla ovalis</i> intolérants à la salinité > 45g/l, <i>Zostera</i> intolérante à la salinité >70g/l. - Les effets chroniques et les tolérances des espèces locales sont inconnus.
Les coraux	-Salinité >40g/l, résultats d'impact sur la physiologie des coraux. -Salinité > 2 -5g/l maximum du fond susceptibles d'affecter négativement les fonctions physiologiques de certaines espèces.
Endofaune Benthique	-Très spécifiques. -De nombreuses espèces intolérantes de l'hyper-salinité

	(salinité > au fond). -Salinité >2g/l au-dessus du fond peut représenter espèces à risque aux sensitifs.
Huitres (aquaculture)	-Salinité max des <i>Rock oysters</i> ou <i>Rock huitres</i> est de 36g/. -Salinité max des huitres perlière est inconnue, mais il est susceptible d'être à proximité de la salinité de l'eau de mer maximum.
Poisson	-Les larves et les œufs peuvent être sensibles à la salinité du fond > adultes pensé à être moins sensibles au sel.
Megafauna Marine	-Dugong observés de 40 à 70g/l. -Dugong ressources alimentaires (prairies sous-marines) plus sensibles à la salinité élevée. -La sensibilité à la salinité de la mer des tortues est inconnue.

6.4. Moyens pour réduire l'impact des rejets :

Les moyens à adopter pour mitiger l'impact des rejets saumures peuvent être classés en deux groupes : moyens à mettre en œuvre durant la phase de projet et programmes de vigilance environnementale.

Les moyens à mettre en place de projet peuvent être résumés dans les points suivants :

- ❖ La réalisation d'une cartographie sous-marine des habitats écologiques à protéger dans toute la région, avant d'avoir choisie la parcelle où on situera l'usine de dessalement.
- ❖ La réalisation d'un modèle numérique de propagation de la salinité aidant au dessin du rejet : le modèle en question doit être tridimensionnel, son but étant de pouvoir assurer en phase de projet que le déversement n'affectera pas des zones à intérêt écologique et que la prise d'eau ne captera pas l'eau de rejet. Le résultat du modèle sera le dessin tridimensionnel de l'ouvrage de rejet et de la plume hyper-saline. Le modèle en question sera calibré postérieurement durant la phase d'exploitation de l'usine, à l'aide de mesures in situ de la salinité.

Exemple de modèle de rejet :

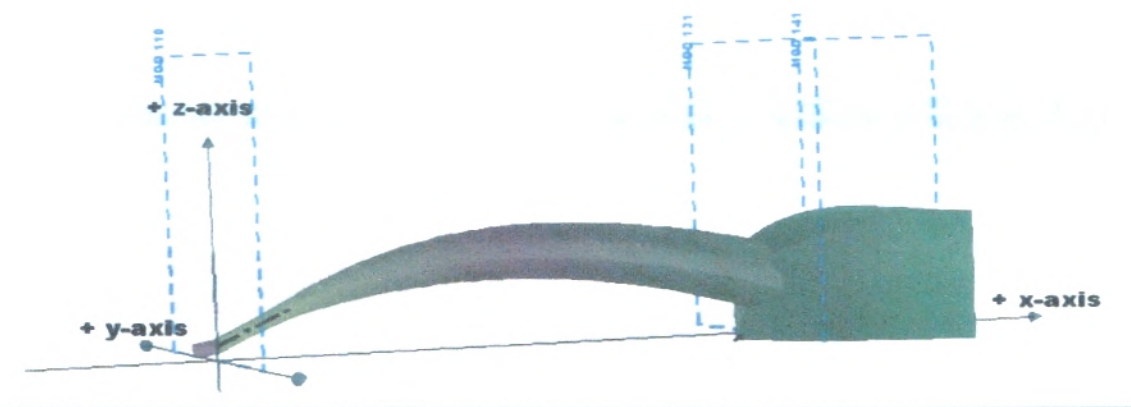


Figure 12 : Modélisation du rejet de la saumure dense avec CORMIX. (Cornell Mixing Zone Expert System).

L'implantation des émissaires permet d'améliorer les conditions de fonctionnement et une meilleure protection de l'environnement.

Pour la station de Souk Tleta, le modèle utilisé est un diffuseur multiport dans une zone côtière de grande profondeur.

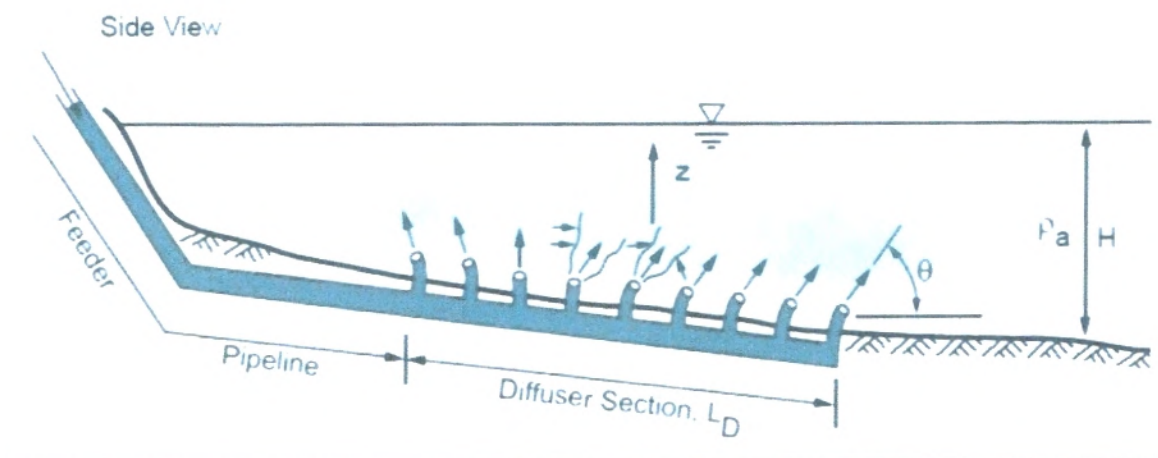


Figure 13: Rejet saumures par émissaire avec multi diffuseur (Bleninger, 2007).

Le rejet par jet du concentrât à travers un émissaire sous-marin est la méthode la plus efficace pour maximiser la dilution dans le domaine proche.

Au moyen de diffuseurs de l'émissaire, on produit un mouvement parabolique du concentrât, caractérisé par la vitesse de décharge et l'ongle de rejet. Au moment de l'impact de jet sur le fond, une couche turbulente se forme et conduit à un mélange et une dilution supplémentaire de la saumure.

6.5. Impact sonore :

Les bâtiments d'osmose inverse utilisent des pompes à haute pression et des échangeurs de pression qui sont bruyants et à l'origine de pollutions sonores. Ces bâtiments doivent être convenablement isolés pour réduire le bruit dans la parcelle de l'usine, ainsi qu'à l'extérieur de celle-ci.

Tableaux 13 : Ambiance sonore

Système concerné	Pompes d'exploitation	Quantité en service	Niveau sonore dBA
Station de pompage de l'eau de mer	Pompes de la chambre d'arrivée	05 + 1 en réserve	88
Station de pompage d'UF	Pompes d'alimentation du système OI	08 +1 en réserve	85,2
Station de pompage d'UF	Pompes d'alimentation du système de récupération d'énergie	06 +1 en réserve	80,6
Bâtiment d'osmose inverse	Pompes d'alimentation Sous pression du système OI	12 +1 en réserve	89
Bâtiment d'osmose inverse	Pompes de suppression du système de récupération d'énergie	12 +1 en réserve	78,5
Bâtiment d'osmose inverse	Système de récupération d'énergie	12 +1 en réserve	95,2
Station de pompage d'eau traitée	Pompes de refoulement de l'eau traitée	12 +2 en réserve	80

6.6. Le cout énergétique pour l'eau :

Energie et eau sont liées. Les besoins en énergie pour l'eau augmentent fortement pour le pompage, les transferts, les traitements et le dessalement. Aujourd'hui, la consommation d'électricité pour l'eau se situe à environ 5 % de la consommation d'électricité dans les pays Nord de Méditerrané et à environ 9 % dans les pays Sud et l'Est de Méditerrané.

Dans la plupart des pays, ces ratios continueront à croître pour faire face à la croissance de la demande : recours à des forages plus profonds, à des transferts plus complexes et à un appel grandissant à l'épuration des eaux usées et au dessalement.

Les besoins en énergie pour l'eau sont sur une pente de doublement en 10 ans. Ils pourraient représenter en 2030, 15 % de la demande globale d'électricité pour les pays Sud et l'Est de Méditerranée contre 5 % pour les pays Nord de Méditerranée et 10 % pour l'ensemble des pays riverains de la Méditerranée.

Pour réduire la consommation d'énergie pour l'eau, quelques champs de recherche apparaissent prometteurs pour l'avenir : Les centrales hybrides, la récupération de l'énergie de la saumure rejetée par les usines de dessalement et l'utilisation des énergies renouvelables pour le dessalement.

Pratiquement toute l'électricité additionnelle produite étant actuellement d'origine thermique, le risque d'une forte augmentation des émissions de gaz à effet de serre et des rejets de saumure sans traitement est grand.

Toutefois, des options à faible émissions de CO₂ sont possibles. Les filières de dessalement les plus économes en énergie doivent être valorisées : Osmose inverse, avec optimisation en combinaison à des centrales thermiques, récupération d'énergies performantes et amélioration des installations existantes. Les énergies renouvelables (éolien, solaire photovoltaïque et solaire à concentration) appliquées au dessalement, sont des pistes d'avenir, même si leur développement reste lié à des questions de financement et de compétitivité. L'énergie nucléaire est une option éventuelle à moyen terme (horizon 2020), mais dont l'adoption renvoie à des considérations techniques et politiques encore largement en débat.

Le dessalement se présente donc comme une option d'adaptation au changement climatique dont l'adoption ne doit pas intervenir en substitution d'autres possibilités « durables », telles que l'utilisation rationnelle de l'eau. Il devrait par ailleurs privilégier la production d'eau potable pour la consommation humaine.

La distillation et le dessalement par osmose inverse (OI) sont les deux procédés les plus courants, bien qu'il existe d'autres procédés tels que le système flash utilisé au Moyen Orient ou l'électrolyse. La technologie de dessalement par osmose inverse gagne des parts de marché et devient dominante. En 1990, l'OI