

Higher National School of Hydraulic

The Library

Digital Repository of ENSH



المدرسة الوطنية العليا للري

المكتبة

المستودع الرقمي للمدرسة العليا للري



The title (العنوان):

Etude des performances de la station de dessalement des eaux de mer par osmose inverse de Fouka (w. Tipaza) .

The paper document Shelf mark (الشفرة) : 1-0020-15

APA Citation (توثيق APA):

Taibi, Sarah (2015). Etude des performances de la station de dessalement des eaux de mer par osmose inverse de Fouka (w. Tipaza)[Mem Ing, ENSH].

The digital repository of the Higher National School for Hydraulics "Digital Repository of ENSH" is a platform for valuing the scientific production of the school's teachers and researchers.

Digital Repository of ENSH aims to limit scientific production, whether published or unpublished (theses, pedagogical publications, periodical articles, books...) and broadcasting it online.

Digital Repository of ENSH is built on the open software platform and is managed by the Library of the National Higher School for Hydraulics.

المستودع الرقمي للمدرسة الوطنية العليا للري هو منصة خاصة بتقييم الإنتاج العلمي لأساتذة و باحثي المدرسة.

يهدف المستودع الرقمي للمدرسة إلى حصر الإنتاج العلمي سواء كان منشورا أو غير منشور (أطروحات، مطبوعات بيداغوجية، مقالات الدوريات، كتب....) و بثه على الخط.

المستودع الرقمي للمدرسة مبني على المنصة المفتوحة و يتم إدارته من طرف مديرة المكتبة للمدرسة العليا للري.

كل الحقوق محفوظة للمدرسة الوطنية العليا للري.



DEPARTEMENT Hydraulique Urbaine

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'Etat en Hydraulique

OPTION : Alimentation en eau potable

THEME :

**ETUDE DES PERFORMANCES DE LA STATION DE
DESSALEMENT DES EAUX DE MER PAR OSMOSE INVERSE
DE FOUKA WILAYA DE TIPAZA**

Présenté par :

M^{lle} : TAIBI Sarah

DEVANT LES MEMBRES DU JURY

Nom et Prénom	Grade	Qualité
M ^r KHODJET-KESBA Omar	Professeur.	Président
M ^r HACHEMI Abdelkader	M.A.A.	Examineur
M ^{me} BERBACHE Sabah	M.A.A.	Examinatrice
M ^r DJELLAB Mohamed	M.C.B.	Examineur
M ^{me} AMMOUR FADILA	M.A.A.	Promotrice

Septembre 2015

Remerciements

*Tout d'abord je tiens à remercier **ALLAH** le tout puissant de m'avoir donné la foi et de
M'avoir permis d'en arriver là.*

*Mes remerciements vont aux membres du jury d'avoir honoré ma
soutenance et pour l'effort fourni afin de juger ce modeste travail.*

*Je tiens à remercier **Mme AMMOUR FADILA** pour son encadrement et
son soutien.*

*Pour la même occasion je tiens à remercier mon maître de stage **Mr KHATEB**
de m'avoir accueillis, suivi et aidé le long de ce travail.*

*J'exprime ma reconnaissance à tous les enseignants qui ont contribué de
prés ou de loin à ce projet de fin d'étude.*



Dédicace

JE DEDIE CE TRAVAILLE A MES CHERS PARENT

MA CHÈRE MÈRE TAOUSSER ABASSIA ET MON CHÈRE PÈRE

BAGHDAD

POUR TOUS LES SACRIFICES QU'ILS ONT CONSENTIS POUR QUE

JE REUSSISE. QUE DIEU ME LES GARDES.

A MES SŒUR WAFAA ET AMANI ET MON FRÈRE YASSER,

A TOUS MA FAMILLE ET A MES AMIS : ADEL, YASSER, ASMAA,

HIND, MERIEM, SABRINA, BOUCHRA ET GOUZLANE.

SARAH....



ملخص

تعتبر الجزائر من بين دول العالم التي تعاني من مشكل نقص المياه حيث أنها تحت عتبة النقص التي اعتمدها البنك الدولي ، ويجب علينا حشد جميع الموارد المائية المتاحة لتأمين إمدادات المياه الصالحة للشرب ,ولذلك كانت عملية تحلية مياه البحر هو الحل المناسب لهذه القضية. يتركز الهدف من عملنا، على تحديد الأعطال في محطة تحلية مياه البحر المتواجدة بفوكا بولاية تيبازة و أيضا تحليل المياه المأخوذة على مراحل مختلفة من عملية تحلية مياه البحر.

Résumé :

L'Algérie se trouve parmi les pays du monde qui sont sous le seuil de pénurie adopté par la banque mondiale, il faut mobiliser toutes les ressources d'eau disponibles pour sécuriser l'alimentation en eau potable. De ce fait, le dessalement des eaux de mer est la solution adéquate de cette problématique. L'objectif de notre travail, est axé, d'une part, sur la localisation des dysfonctionnements dans la station de dessalement d'eau de mer de Fouka Wilaya de Tipaza et d'autre part sur l'analyse des eaux prélevées à partir des différents stades du processus de dessalement.

Abstract :

Algeria is among the countries that suffer the shortage of drinking. We must mobilize all available water resources to secure the supply of drinking water. Therefore, desalination of sea water is the proper solution of the issue. The aim of our work is focused, first, on the location of malfunctions in Fouka seawater, Wilaya of Tipaza desalination plant and also on the analysis of water taken from different stages of desalination process.

SOMMAIRE

INTRODUCTION GÉNÉRALE : Erreur ! Signet non défini.

CHAPITRE I: LES RESSOURCES EN EAU EN ALGERIE

I.1- Introduction : Erreur ! Signet non défini.

I.2- Les ressources hydriques en Algérie : Erreur ! Signet non défini.

I.2.1- Les ressources en eau de surface : **Erreur ! Signet non défini.**

I.2.2- Les ressource en eaux souterraines : **Erreur ! Signet non défini.**

I.2.3- Constat sur la situation actuelle des ressources en eau conventionnelles en Algérie :
..... **Erreur ! Signet non défini.**

I.2.4- Les eaux de mer et les eaux saumâtres : **Erreur ! Signet non défini.**

I.3- L'expérience Algérienne en matière de dessalement : Erreur ! Signet non défini.

I.3.1- Les stations installées par la Compagnie «SONELGAZ»: **Erreur ! Signet non défini.**

I.3.2- Stations installées par la Compagnie «SONATRACH» : .. **Erreur ! Signet non défini.**

I.3.3- Stations installées par d'autres Compagnies:..... **Erreur ! Signet non défini.**

I.3.4- Station expérimentale du Centre de Développement des Energies Renouvelables
CDER : **Erreur ! Signet non défini.**

I.4- Objectifs du programme de dessalement : Erreur ! Signet non défini.

I.5- Le programme de dessalement en Algérie : Erreur ! Signet non défini.

I.5.1- Le programme d'urgence (2002- 2003) : **Erreur ! Signet non défini.**

I.5.2- Transfert des stations monoblocs vers l'Ouest : **Erreur ! Signet non défini.**

I.5.3- Programme de réalisation des usines de dessalement : **Erreur ! Signet non défini.**

I.5.4- Assurer l'autosuffisance en ressources hydriques : **Erreur ! Signet non défini.**

I.6- Conclusion : Erreur ! Signet non défini.

CHAPITRE II: LES DIFFERENTES PROCEDES DE DESSALEMENT

II.1- Introduction : Erreur ! Signet non défini.

II.2- Caractéristiques de l'eau de mer et saumâtres : Erreur ! Signet non défini.

II.2.1- Les eaux de mer : **Erreur ! Signet non défini.**

II.2.2- Les eaux saumâtres : **Erreur ! Signet non défini.**

II.3- L'histoire de dessalement : Erreur ! Signet non défini.

II.4- Les principales technologies de dessalement des eaux : Erreur ! Signet non défini.

II.4.1- Procédés thermique : **Erreur ! Signet non défini.**

II.4.1.1- La distillation : **Erreur ! Signet non défini.**

II.4.1.2- La Congélation : **Erreur ! Signet non défini.**

II.4.2- Les procédés membranaires : **Erreur ! Signet non défini.**

II.4.2.1- L'électrodialyse :	Erreur ! Signet non défini.
II-4-2-2 L'osmose inverse :	Erreur ! Signet non défini.
II.4.3- Les procédés chimiques :	Erreur ! Signet non défini.
II.4.3-1 L'échange d'ions :	Erreur ! Signet non défini.
I.6- Choix d'un procédé de dessalement :	Erreur ! Signet non défini.
I.6.1- Critères économiques :	Erreur ! Signet non défini.
I.6.2- Critères techniques :	Erreur ! Signet non défini.
I.7- Conclusion :	Erreur ! Signet non défini.
CHAPITRE III: L'OSMOSE INVERSE	
III.1- Introduction :	Erreur ! Signet non défini.
III.2- Le principe d'osmose inverse :	Erreur ! Signet non défini.
III.2.1- La pression osmotique :	Erreur ! Signet non défini.
III.2.2- Mécanisme de transfert :	Erreur ! Signet non défini.
III.3- Schéma général d'une installation d'osmose inverse :	Erreur ! Signet non défini.
III.4- Les membrane d'osmose inverse:	Erreur ! Signet non défini.
III.4.1- Les type des membranes:	Erreur ! Signet non défini.
III.4.1.1- Membranes organiques :	Erreur ! Signet non défini.
III.4.1.2- Membranes minérales ou inorganiques :	Erreur ! Signet non défini.
III.4.1.3- Membranes composites :	Erreur ! Signet non défini.
III.4.2- Les critères de choix d'une membrane:	Erreur ! Signet non défini.
III.5- Les Modules :	Erreur ! Signet non défini.
III.5.1- Modules plans :	Erreur ! Signet non défini.
III.5.2- Modules tubulaires :	Erreur ! Signet non défini.
III.4.3- Module spiralé :	Erreur ! Signet non défini.
III.5.3- Module à fibres creuses :	Erreur ! Signet non défini.
III.5.4- Comparaison entre les différents types de modules :	Erreur ! Signet non défini.
III.6- La pompe haute pression :	Erreur ! Signet non défini.
III.7- Le système de récupération d'énergie :	Erreur ! Signet non défini.
III.8- Le post traitement :	Erreur ! Signet non défini.
III.9- Les caractéristiques principales d'une unité d'osmose inverse : ..	Erreur ! Signet non défini.
III.9.1- Définitions:	Erreur ! Signet non défini.
III.9.2- Loi de Fick :	Erreur ! Signet non défini.
III.9.3- Loi de Henry :	Erreur ! Signet non défini.

III.10- Mise en œuvre et performance Erreur ! Signet non défini.

III.10.1- Techniques d'amélioration des performances de procédés :.....**Erreur ! Signet non défini.**

III.10.2- Choix des conditions de fonctionnement : **Erreur ! Signet non défini.**

III.10.2.1- Choix de taux de conversion : **Erreur ! Signet non défini.**

III.10.2.2- Choix de la pression : **Erreur ! Signet non défini.**

III.10.2.3- Importance de prétraitement : **Erreur ! Signet non défini.**

III.10.2.4- Nettoyage : **Erreur ! Signet non défini.**

III.11- Les avantages et les inconvénients de l'osmose inverse :.. Erreur ! Signet non défini.

III.11.1- Les avantages : **Erreur ! Signet non défini.**

III.11.2- Les inconvénients : **Erreur ! Signet non défini.**

III.12- Conclusion : Erreur ! Signet non défini.

CHAPITRE IV : LA DESCRIPTION DE LA ZONE D'ETUDE

IV.1- Introduction : Erreur ! Signet non défini.

IV.2- Localisation de la station : Erreur ! Signet non défini.

IV.3- Capacité de la station et le mode de fonctionnement : Erreur ! Signet non défini.

IV.4- Installation et processus : Erreur ! Signet non défini.

IV.5- Description détaillée de l'usine : Erreur ! Signet non défini.

IV.5.1- La prise d'eau : **Erreur ! Signet non défini.**

IV.5.1.1- Critères de conception des conduites de prise d'eau : **Erreur ! Signet non défini.**

IV.5.1.2- Conception de la prise d'eau: [21]..... **Erreur ! Signet non défini.**

IV.5.1.3- Critères de conception Conduite de prise d'eau :..... **Erreur ! Signet non défini.**

IV.5.1.4- Station de pompage d'eau brute : **Erreur ! Signet non défini.**

IV.5.1.5- Critères de conception des dégrilleurs : [21] **Erreur ! Signet non défini.**

IV.5.2- Le prétraitement d'eau de mer : **Erreur ! Signet non défini.**

IV.5.2.1- La pré-chloration : **Erreur ! Signet non défini.**

IV.5.2.2- Coagulant et polymère : **Erreur ! Signet non défini.**

IV.5.2.3- L'acide sulfurique : **Erreur ! Signet non défini.**

IV.5.2.3- Filtres bicouches gravitaires : **Erreur ! Signet non défini.**

IV.5.2.4- Lavage des filtres : **Erreur ! Signet non défini.**

IV.5.2.5- Filtres à cartouches (microfiltre): **Erreur ! Signet non défini.**

IV.5.3- Le traitement : **Erreur ! Signet non défini.**

IV.5.3.2- Configuration du système d'osmose inverse et taux de récupération : ...**Erreur ! Signet non défini.**

- IV.5.4- Le post-traitement (la reminéralisation) :..... **Erreur ! Signet non défini.**
- IV.5.5- Station de pompage d'eau traitée :..... **Erreur ! Signet non défini.**
- IV.5.6- Laboratoire :..... **Erreur ! Signet non défini.**
- IV.5.7- Salle de contrôle :..... **Erreur ! Signet non défini.**
- IV.6- Conclusion :..... Erreur ! Signet non défini.**

CHAPITRE V: ETUDE DES PERFORMANCES DE LA STATION DE DESSALEMENT DE FOUKA

- V.1- Introduction :..... Erreur ! Signet non défini.**
- V.2- Diagnostique des ouvrages de la station : Erreur ! Signet non défini.**
 - V.2.1- La suppression de la chloration :..... **Erreur ! Signet non défini.**
 - V.2.2- La suppression d'un bassin de coagulation-floculation : . **Erreur ! Signet non défini.**
 - V.2.3- La suppression d'ouvrage de décantation : **Erreur ! Signet non défini.**
 - V.2.4- Les problèmes rencontrés dans la station:..... **Erreur ! Signet non défini.**
- V.3- Etude de performance de la station de dessalement d'eau de mer de Fouka : Erreur ! Signet non défini.**

- V.3.1- Définition des paramètres de qualité :..... **Erreur ! Signet non défini.**
- V.3.2- Etude des performances du prétraitement: **Erreur ! Signet non défini.**
 - V.3.2.1- La température :..... **Erreur ! Signet non défini.**
 - V.3.2.2- Le PH:..... **Erreur ! Signet non défini.**
 - V.3.2.3- La conductivité: **Erreur ! Signet non défini.**
 - V.3.2.4- Le TDS: **Erreur ! Signet non défini.**
 - V.3.2.5- La turbidité: **Erreur ! Signet non défini.**
 - V.3.3.6- Le SDI₅ et SDI₁₅ :..... **Erreur ! Signet non défini.**
- V.3.3- Etude des performances du traitement: **Erreur ! Signet non défini.**
- V.3.4- Etude de qualité d'eau reminéralisé : **Erreur ! Signet non défini.**
- V.4 Les solutions proposées :..... Erreur ! Signet non défini.**
- V.5 Conclusion:..... Erreur ! Signet non défini.**

CHAPITRE VI : L'IMPACT DU DESSALEMENT SUR L'ENVIRONNEMENT

- VI.1- Introduction : Erreur ! Signet non défini.**
- VI.2- Origine et type des rejets : Erreur ! Signet non défini.**
 - VI.2.1- Rejets atmosphériques..... **Erreur ! Signet non défini.**
 - VI.2.2- Les rejets chimiques :..... **Erreur ! Signet non défini.**
 - VI.2.3- La saumure concentrée :..... **Erreur ! Signet non défini.**
- VI.3- Impacts sur l'environnement : Erreur ! Signet non défini.**
 - VI.3.1- Effets dus aux produits de la corrosion :..... **Erreur ! Signet non défini.**

- VI.3.2- Effets dus aux additifs antitartres : **Erreur ! Signet non défini.**
- VI.3.3- Effets des additifs antisalissure : **Erreur ! Signet non défini.**
- VI.3.4- Effets des additifs anti mousses : **Erreur ! Signet non défini.**
- VI.3.5- Effets du concentré (saumure) : **Erreur ! Signet non défini.**
- VI.3.6- Effets sur la faune et la flore marine : **Erreur ! Signet non défini.**
- VI.3.7- Effets du bruit : **Erreur ! Signet non défini.**
- VI.3.8- Evolution des différents impacts de dessalement : **Erreur ! Signet non défini.**

VI.4- Mesures d'atténuations des impacts sur les ressources Marines : Erreur ! Signet non défini.

VI.5- Les mesures prises par la station de Fouka : Erreur ! Signet non défini.

VI.6- Conclusion : Erreur ! Signet non défini.

Conclusion générale : Erreur ! Signet non défini.

Références bibliographiques

Annexe

Liste des tableaux :

CHAPITRE I : LES RESSOURCES EN EAU AN ALGERIE

Tableau I.01 : Les précipitations en Algérie (mm).....	3
Tableau I.02 : Répartition des eaux de surface en Algérie.....	4
Tableau I.03 : Répartition spatiale des eaux souterraines du Nord du pays.....	5
Tableau I.04 : Pourcentages d'exploitation des nappes du sud.....	5
Tableau I.05 : Stations exploitées par SONELGAZ.....	8
Tableau I.06 : Stations exploitées par SONATRACH.....	8
Tableau I.07 : Stations monoblocs construites par Hydro Traitement.....	11
Tableau I.08 : Stations monoblocs construites par LINDE-KCA.....	12
Tableau I.09 : Stations monoblocs délocalisées.....	13
Tableau I.10 : Les neuf stations opérationnelles.	15

CHAPITRE II : LES DIFFERENTES PROCEDES DE DESSALEMENT

Tableau II.01 : La salinité de l'eau de mer et d'océan.....	17
Tableau II.02 : Répartition de la production de l'eau dessalée (l'eau de mer).....	19

CHAPITRE III : L'OSMOSE INVERSE

Tableau III.01 : Avantages et inconvénients des membranes organiques.....	33
Tableau III.02 : Avantages et inconvénients Modules d'osmose inverse.....	38
Tableau III.03 : Interprétation des résultats donnée par les lois de Fick et Henry.....	41

CHAPITRE IV: LA DISCRIPTION DE LA ZONE D'ETUDE

Tableau IV.01 : Capacité de la station.....	46
Tableau IV.02: Causes et conséquences de différents types d'encrassement.....	61
Tableau IV.03: Résumé des caractéristiques des pompes.....	64

CHAPITRE V: ETUDE DES PERFORMANCES DE LA STATION DE DESSALEMENT DE FOUKA

Tableau V.01 : La température d'eau brute et d'eau filtrée.....	76
Tableau V.02 : Le PH d'eau brute et d'eau filtré.....	77
Tableau V.03 : La conductivité d'eau brute et d'eau filtré.....	78
Tableau V.04 : TDS d'eau brute et d'eau filtré.....	79
Tableau V.05 : La turbidité d'eau brute et d'eau filtré.....	80
Tableau V.06 : SDI d'eau brute et d'eau filtré.....	81
Tableau V.07 : La température d'eau filtré et du perméat.....	82
Tableau V.08 : La PH d'eau filtré et du perméat.....	83

Tableau V.09 : La conductivité d'eau filtré et du perméat.....	84
Tableau V.10 : TDS d'eau filtré et du perméat.....	85
Tableau V.11 : La turbidité d'eau filtré et du perméat.....	85
Tableau V.12 : Le calcium dans l'eau filtrée et le perméat.....	86
Tableau V.13 : Le TH d'eau filtré et du perméat.....	87
Tableau V.14 : Les valeurs du Cl ⁻ dans l'eau filtrée et le perméat.....	88
Tableau V.15 : Les valeurs du TAC dans l'eau filtré et le perméat.....	89
Tableau V.16 : La comparaison de l'eau traité à la norme.....	91

CHAPITRE VI : L'IMPACT DU DESSALEMENT SUR L'ENVIRONNEMENT

Tableau VI.01 : Résumé des phases de la production d'eau potable par OI et devenir des Produit..	94
Tableau VI.02 : Les composantes d'eau de mer et le concentrât (cas de la station de Fouka).....	98
Tableau VI.03 : L'évaluation des impacts associés à l'osmose inverse.....	99
Tableau VI.04: Caractéristiques de l'effluent versé par l'émissaire sous-marin de station de dessalement de Fouka.....	102

Liste des figures :

CHAPITRE I : LES RESSOURCE EN EAU EN ALGERIE

Figure I.01 : Les bassins hydrographiques de l'Algérie du Nord.....	3
Figure I.02 : Répartition des stations monobloc.....	11

CHAPITRE II : LES DIFFERENTS PROCEDES DE DESSALEMENT

Figure II.01: Les différents procédés de dessalement.....	20
Figure II.02 : Le principe la distillation a simple effet.	21
Figure II.03 : Le principe de la distillation a effet multiple (MED).....	22
Figure II.04 : Distillation par longs tubes verticaux	22
Figure II.05 : Distillation par détentes successives (MSF).....	23
Figure II.06 : Le principe de l'électrodialyse.....	24
Figure II.07 : Le principe de L'osmose Inverse.....	25
Figure II.08 : Remplacement des cations par H ⁺	26
Figure II.09 : La déminéralisation.....	27

CHAPITRE III : L'OSMOSE INVERSE

Figure III.01 : Schéma de principe d'une unité d'osmose inverse.	31
Figure III.02 : Schéma d'une membrane sélective.....	32
Figure III.03 : Module plan.....	36
Figure III.04 : Schéma de principe d'un module tubulaire.....	36
Figure III.05 : Module à enroulement spiral.....	37
Figure III.06: Modules à fibres creuses.....	37
Figure III.07 : Schéma de récupération directe de l'énergie.....	39
Figure III.08 : Schéma de récupération indirecte de l'énergie.....	39

CHAPITRE IV : LA DESCRIPTION DE LA ZONE D'ETUDE

Figure IV.01 : Photo de la station de Fouka.....	46
Figure IV.02 : les étapes de dessalement.....	47
Figure IV.03 : Tour de captage.....	48
Figure IV.04 : La conduite en PEHD.....	49
Figure IV.05 : Le dégrilleurs et la station de pompage.....	50
Figure IV.06 : Les prises des produits chimiques.....	52
Figure IV.07 : Les filtres gravitaires.....	53
Figure IV.08 : L'unité des filtres à cartouches.....	56
Figure IV.09 : Unité d'osmose inverse.....	58

Figure IV.10 : Système de récupération d'énergie.....	60
Figure IV.11 : Silos de la chaux.	63
Figure IV.12 : CO ₂ fabriqué sur site.....	63
Figure IV-13 : Station de pompage d'eau traitée.....	64
CHAPITRE V : ETUDE DES PERFORMANCES DE LA STATION DE	
DESSALEMENT DE FOUKA	
Figure V.01 : Quelque signe de corrosion au sien de la station.....	69
Figure V.02 : La congélation des tuyaux.....	73
Figure V.03: Fuite dans le système de Production de CO ₂	73
Figure V.04 : La nouvelle conduite d'eau de service.....	73
Figure V.05 : Le réservoir de traitement des effluents.....	74
Figure V.06 : L'évolution de la température d'eau brute et d'eau filtrée.....	76
Figure V.07 : L'évolution du PH d'eau brute et d'eau filtrée.....	77
Figure V.08 : L'évolution de la conductivité d'eau brute et d'eau filtrée.....	78
Figure V.09 : L'évolution du TDS d'eau brute et d'eau filtrée.....	79
Figure V.10 : L'évolution de la turbidité d'eau brute et d'eau filtrée.....	80
Figure V.11 : L'évolution du SDI d'eau brute et d'eau filtrée.....	81
Figure V.12: L'évolution de la température d'eau filtrée et du perméat.....	82
Figure V.13: L'évolution du PH d'eau filtrée et du perméat.....	83
Figure V.14: L'évolution de la conductivité d'eau filtrée et du perméat.....	84
Figure V.15: L'évolution du TDS d'eau filtrée et du perméat.....	85
Figure V-16: L'évolution de la turbidité d'eau filtrée et du perméat.....	86
Figure V.17 : L'évolution du Ca ²⁺ dans l'eau filtrée et le perméat.....	87
Figure V.17 : L'évolution du TH d'eau filtrée et le perméat.....	88
Figure V.18: L'évolution du Cl ⁻ dans l'eau filtrée et le perméat.....	89
Figure V.19: L'évolution du TAC dans l'eau filtrée et le perméat.....	90
Figure V.20: La comparaison de l'eau traitée à la norme.....	91
CHAPITRE VI: L'IMPACT DU DESSALEMENT SUR L'ENVIRONNEMENT	
Figure VI.01 : Etat initial du milieu (pas de rejet de saumure).....	97
FigureVI.02:Etat du milieu après implantation de l'usine de dessalement.....	97
Figure VI.03 : La comparaison entre l'eau de mer et le concentrât.....	98
Figure VI-4: Schéma d'un émissaire de rejet par diffusion.....	101

Liste des planches :

Planche N°01 : Plan de situation de station de dessalement de Fouka w : Tipaza

Planche N°02 : Photo aérienne de station de dessalement de Fouka w : Tipaza.

INTRODUCTION GÉNÉRALE :

Nous sommes aujourd'hui 6 milliards sur la Terre et en 2050. Nous serons 9 milliards concentrés à 70 % dans les villes. La pression sur les ressources planétaires en sera d'autant plus importante alors que nous observons déjà des signes de pénurie avec des tensions fortes sur les marchés des matières premières.

L'intense activité humaine de ces 100 dernières années s'est appuyée sur l'énergie fossile, entraînant un changement climatique qui menace directement notre mode de vie. La double croissance économique et démographique de notre planète a pour conséquence une pression importante sur l'ensemble des ressources naturelles. Jamais les tensions sur les matières premières n'ont été aussi fortes.

Avec plus de 2.4 milliards de personnes vivant près d'une mer, le dessalement de l'eau de mer apparaît comme une alternative, qui alimente déjà plus de 200 millions d'habitants. Plus de 1 % de la production d'eau potable mondiale est produit par dessalement.

L'apport en eau par moyens non conventionnels a été dominé durant ces dernières années par le développement de nouvelles techniques de dessalement des eaux de mer qui sont basées sur les procédés thermiques ou membranaires, ces derniers sont devenus un enjeu économique pour pallier au problème de la disponibilité des ressources en eau et le stress hydrique, comme le cas de l'Algérie.

Face aux aléas climatiques observés ces dernières années, et pour répondre aux besoins de la population qui atteindra 50 millions dans les vingt prochaines années, le gouvernement algérien a mis en place à court et moyen terme une véritable industrie de dessalement des eaux de mer et de déminéralisation des eaux saumâtres, comme moyen de mobilisation d'eau complémentaire, pour faire face aux différents plans de développement : AEP, industrie et agriculture.

À travers ce travail nous allons étudier la performance de la station de dessalement des eaux de mer par osmose inverse de FOUKA (Wilaya de Tipaza) ainsi l'impact de la station sur l'environnement, et proposer par la suite des solutions adéquates aux problèmes rencontrés.

I.1- Introduction :

L'eau est indissociable du développement durable dans la mesure où il doit permettre de répondre aux besoins des générations actuelles sans hypothéquer même à la génération future par des effets peu ou non réversibles. Pour des raisons climatiques, les zones arctiques et tropicales se partagent 98% des eaux qui circulent sur l'ensemble des terres émergées, alors que les zones arides et semi-arides ne disposent que des 2% restants. [1]

L'Algérie qui dispose de ressources naturelles limitées, irrégulières et très inégalement réparties se situe, à l'instar des 17 pays Africains touchés par le stress hydrique, dans la catégorie des pays les plus pauvres en matière de potentialités hydriques car on apprécie la rareté de l'eau dans un pays par rapport à des seuils qui sont estimés dans la littérature de l'eau à 1000 m³/habitant (seuil de tension ou water stress) et 500 m³/habitant (pénurie absolue ou water scarcity). Si en 1962, la disponibilité en eau théorique par habitant et par an était de 1500 m³, elle n'était plus que de 720 m³ en 1990, 680 m³ en 1995, 630 m³ en 1998 et elle ne sera que de 430 m³ en 2020, La disponibilité en eau potable en Algérie en m³/Habitant/An est inférieure au seuil des 500 m³/ha, remarquant donc une forte diminution des ressources hydriques face à un fort développement économique et démographique, ce dernier passe de 32 million d'habitants en 2000 à 40 million d'habitants en 2020 ce qui induit avec autre facteur a un manque terrible en eau spécialement dans le domaine d'alimentation en eau potable car c'est le premier domaine qui fait face à la crise. [2]

I.2- Les ressources hydriques en Algérie :

Le pays est divisé en 5 bassins hydrographiques (figure I.01) regroupant les 17 bassins versant. Les ressources en eau ne sont pas réparties équitablement, que ce soit au niveau de leur répartition géographique, de leur quantité ou de leur nature (eaux de surface ou souterraines).

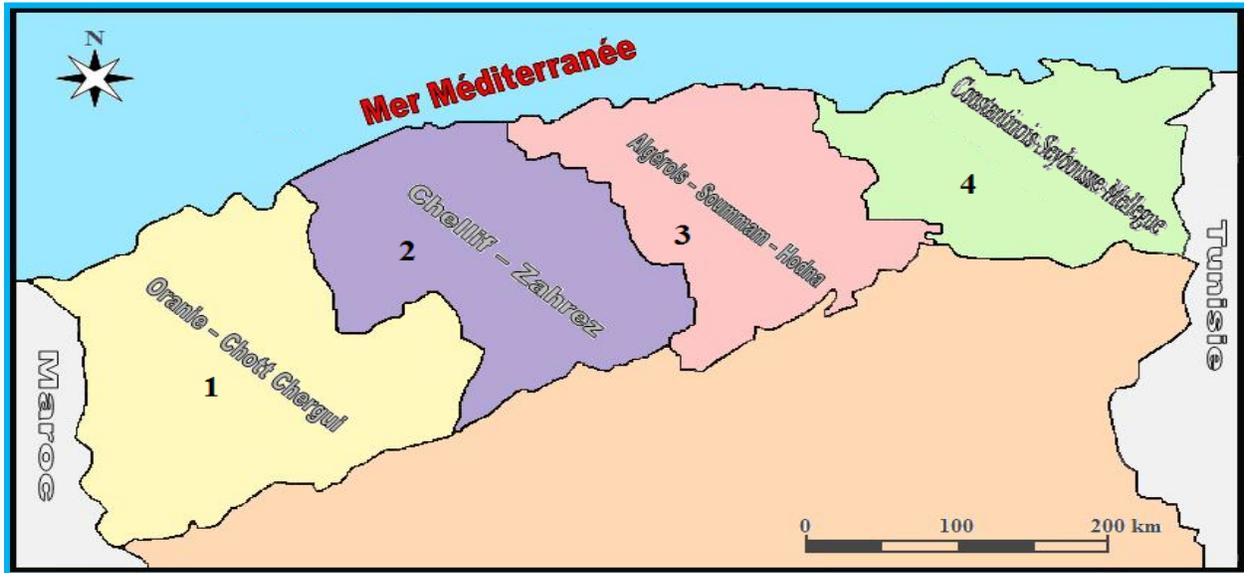


Figure I.01 : Les bassins hydrographiques de l'Algérie du Nord. [3]

La pluviométrie est le paramètre le plus important dans l'évaluation des ressources en eau, Elle varie de plus de 2000 mm/an sur les hauts reliefs en bordure de la mer méditerranéenne, à moins de 100 mm/an au nord du Sahara. Les moyennes annuelles des précipitations suivent une zonalité générale Nord-Sud, qui définit les zones climatiques. Cependant, on note des écarts notables entre l'Est et l'Ouest du pays.

La région Oranaise (Ouest) est en général moins arrosée que le constantinois (Est), comme on peut le constater au Tableau I.01.

Tableau I.01: Les précipitations en Algérie (mm). [4]

	Ouest	Centre	Est
Littoral	400	700	900
Atlas Tellien (Plaines)	500	450	700
Atlas Tellien (Reliefs)	600	700-1000	800-1600
Hauts plateaux Tellien	-	-	400
Atlas Saharien	200	200	400_700
Sahara Septentrional	50	50_150	150

I.2.1- Les ressources en eau de surface :

Les écoulements de surface avaient été estimés pendant la période coloniale à 15 milliards de m³ pour les bassins tributaires de la Méditerranée (123000 km²), c'est-à-dire sans tenir compte des bassins qui dépendent des chotts. Dans les dernières études menées dans le cadre du Plan National de l'eau par l'Agence Nationale des Ressources Hydriques (ANRH) et de la Direction des Grands Aménagements Hydrauliques (DGAIH) et qui intègrent des années de sécheresse, les ressources en eau de surface sont évaluées à 12.4 milliards de m³ répartis par bassin hydrographique selon le tableau suivant :

Tableau I.02: Répartition des eaux de surface en Algérie. [4]

Bassin hydrographique	Oranie Chott Chergui	Chelif Zahrez	Algérois Soummam Hodna	Constantinois Seybouse Mellègue	Sud	Total
Ressources pot. (hm/m³)	1025	1840	4380	4500	600	12,34
Pourcentage (%)	8,7	15,7	37,3	38,3	0,48	100

En 2014 Le secteur des ressources en eau en Algérie dispose de 84 barrages avec une capacité de stockage de 8,9 milliards de mètres cubes. Pour l'heure, l'Algérie dispose de 70 barrages de grande et moyenne envergure, avec une capacité de 7 milliards de mètres cubes.

I.2.2- Les ressources en eaux souterraines :**a) Dans le Nord du pays :**

Les eaux souterraines ont été évaluées par les services techniques de l'ANRH et la DGAIH dans le cadre du Plan nationale de l'eau à environ 1,9 milliard de m³. Ces ressources qui sont relativement plus faciles à mobiliser, sont aujourd'hui exploitées à plus de 90%; beaucoup de nappes sont même dans un état de surexploitation critique. Actuellement, on estime à plus de 12.000 forages, 9.000 sources et 100.000 puits qui sollicitent les nappes pour les besoins de l'agriculture et l'alimentation en eau potable et industrielle. [4]

La répartition par région hydrographique des eaux souterraines du Nord se présente comme suit:

Tableau I.03: Répartition spatiale des eaux souterraines du Nord du pays. [4]

Bassin Hydrographique	Oranise Chott Chergui	Chelif Zahrez	Algéroise Soummam Hodna	Constantinois Seybouse Mellègue	Total
Ressources pot. (hm³/an)	375	231	745	543	1894
Total(%)	19,7	12,2	39,2	28,9	100

b) Dans le Sud du pays :

Le sud algérien correspond à une zone désertique d'environ 2.156.000 km², soit 85% du territoire global du pays, avec une population qui dépasse les trois (03) millions d'habitants. Les précipitations sont rares dans cette région où les pluies torrentielles provoquent des crues violentes et dévastatrices. Le charriage est considérable et l'érosion des berges participe au transport solide dans les cours d'eau avec un débit appréciable.

Ainsi, au niveau de ce grand espace, l'essentiel des ressources en eau est localisé dans deux grands systèmes aquifères : la nappe du Continental Intercalaire (ou Albiennaise), qui est un grand réservoir d'eau fossile s'étendant sur tout le Sahara septentrional, et la nappe du Complexe Terminal, qui est un aquifère peu profond. De plus, on note l'existence d'autres nappes d'une capacité moins importante comme illustrées dans le tableau I.04

Tableau I.04 : Pourcentages d'exploitation des nappes du sud. [4]

Wilaya	Prélèvements possibles (Hm³/an)		
	Continental intercalaire	Complexe Terminal	Totaux
Biskra	24,6	9,3	33,9
El Oued	310,5	713,9	1024,4
Ouragla	507	1446,2	1953,2
Ghrdaia	559	–	559,9
Adrar	1180,1	–	1179,3
Tamanrasset	184,8	–	184,8
Totaux	2766,9	2169,4	4936,3

I.2.3- Constat sur la situation actuelle des ressources en eau conventionnelles en Algérie :

La situation actuelle des ressources en eau Algérienne est encore exacerbée par plusieurs contraintes :

- *Un déséquilibre entre les besoins et les ressources disponibles* : la croissance démographique et le développement économique et social du pays ont induit durant les deux décennies écoulées, un accroissement considérable des besoins en eau potable, industrielle et agricole.
- *Un déséquilibre géographique entre les besoins et les ressources* : la forte concentration des besoins en eau sur la bande littorale (60%) oblige à une réaffectation, par des transferts de ressources en eau assez coûteux financièrement, pour équilibrer les déficits de régions intérieures du pays, notamment toute la zone des Hauts Plateaux.
- *La pollution des nappes et des ressources superficielles* : les rejets domestiques, industriels et agricoles dépassent de loin les capacités des systèmes d'épuration, ce qui réduit considérablement les volumes d'eau susceptibles d'être utilisés.
- *Risque de rupture d'un développement durable* : en sus de la pollution, de sérieux problèmes apparaissent dans les prélèvements effectués dans les nappes souterraines qui dépassent les limites de renouvellement des ressources naturelles et nécessitent de puiser dans les réserves non renouvelables.

La faiblesse des ressources est encore aggravée par :

- la mauvaise répartition spatiale et temporelle de ces ressources ;
- l'érosion des sols et l'envasement des barrages ;
- les pertes dues à la vétusté des réseaux de distribution et à l'insuffisance de la gestion ;
- les coûts sans cesse importants des investissements nécessaires à la mobilisation et au transfert des ressources en eau.

I.2.4- Les eaux de mer et les eaux saumâtres :

A la suite d'une sécheresse chronique vécue par l'Algérie depuis plus de deux décennies et la demande en eau croissante, les pouvoirs publics ont décidé de s'orienter vers une politique de mobilisation des ressources en eau non conventionnelles, à savoir le dessalement d'eau de mer, des eaux saumâtres et le recyclage des eaux usées afin de pouvoir compenser le déficit en eau enregistré.

Avec un littoral de 1200 Km, la ressource est pratiquement inépuisable ; La population ainsi que les industries grandes consommatrices d'eau se trouvent à proximité de la mer, ce qui réduit davantage les prix de revient du m³ d'eau dessalée; Le domaine de dessalement de l'eau de mer a connu ces dernières années une avancée technologique remarquable grâce au développement des différents procédés; La disponibilité de la ressource énergétique ou la combinaison de sa production; Le coût du m³ d'eau dessalée est en nette régression alors que le coût du m³ d'eau conventionnelle est en nette progression .

Ce sont les avantages qui ont rendu le recours à la ressource non conventionnelle de plus en plus favorable.

I.3- L'expérience Algérienne en matière de dessalement :

L'Algérie a déployé des efforts importants pour améliorer ses ressources hydriques et la disponibilité de l'eau, depuis son indépendance. Autant pour son l'industrie, l'agriculture que pour l'alimentation en eau potable des zones urbaines et rurales du pays. Les efforts de la jeune Algérie souveraine ont rapidement focalisé sur la rénovation du réseau de distribution existant, le drainage des eaux de pluie vers les barrages et l'exploitation des nappes phréatiques à un moment où l'option du dessalement n'est encore qu'à ses premiers balbutiements. Dès les premières années de l'indépendance, l'expérience de l'Algérie en matière de dessalement se limite à la réalisation d'unités de déminéralisation des eaux souterraines à très fort taux de salinité, pour des besoins liés à l'industrie pétrolière et la sidérurgie seulement.

Selon une étude du centre de développement des énergies renouvelables, en 1964, trois petites unités de 8m³/j chacune ont été installées dans le complexe de gaz liquéfié d'Arzew, suivies en 1969 d'une unité monobloc de 4560 m³/j. [5]

Les premières installations destinées à fournir de l'eau potable pour la consommation humaine ont été réalisées pour la première fois dans les bases pétrolières du grand sud.

D'autres installations ont été mises en exploitation pour les besoins en eau de haute pureté, employée dans des complexes de production d'électricité (Cap Djinet à l'est d'Alger) et l'industrie de liquéfaction (Arzew et Skikda).

En 1980, a été inaugurée l'unité de dessalement de Mostaganem par osmose inverse d'une capacité de 57600 m³/j, classée alors comme la plus importante au monde.

I.3.1- Les stations installées par la Compagnie «SONELGAZ»:

Pour des besoins de production d'énergie électrique et compte tenu de l'insuffisance et de la qualité des eaux distribuées dans les réseaux d'AEP, SONELGAZ a doté chacune de ces nouvelles centrales à vapeur, d'unité de dessalement d'eau de mer pour produire de l'eau nécessaire à l'alimentation des chaudières (Tableau I.05).

Tableau I.05 : Stations exploitées par SONELGAZ. [6]

Centrale	Capacité (m ³ /j)	Technique	Année d'installation
Mers el Hadjadj	1500	Thermo compression	1977
Mers el Hadjadj	2000	MSF	1991
Mers el Hadjadj	500	Thermo compression	1989
Cap Djinet	2000	MSF	1985
Djijel	2000	MSF	1992
Djijel	500	Osmose inverse	1992

I.3.2- Stations installées par la Compagnie «SONATRACH» :

La plus grande expérience dans le domaine du dessalement, ainsi que le plus grand nombre de stations installées revient à la Compagnie «SONATRACH», 31 centrales ont été construites pendant 18 ans : de 1964 à 1982. C'est l'équivalent de 107.401 m³/j produits par les différentes techniques et dont la qualité de l'eau d'alimentation a été très diversifiée (eau de mer, eau chargée de barrage, eau saumâtre souterraine comme illustre le tableau I.06).

Tableau I.06: Stations exploitées par SONATRACH. [6]

Centrale	Capacité (m ³ /j)	Technique	Mise en service
Arzew	576	Multi effets	1964
Arzew	4560	MSF	1969
Skikda	1440	MSF	1971
Skikda	720	MSF	1971
Skikda	1440	Echangeurs d'ions	1971

Suite de Tableau I.06: Stations exploitées par SONATRACH. [6]

Centrale	Capacité (m ³ /j)	Technique	Mise en service
Annaba	960	Electrodialyse	1971
Annaba	3600	Electrodialyse	1973
Ghazaouat	840	MSF (5 étages)	1974
Arzew	3888	Echangeurs d'ions	1975
Arzew	960	Echangeurs d'ions	1975
Hassi Messaoud	1000	Osmose d'inverse	1975
Hassi Messaoud	110	Echangeurs d'ions	1976
Gassi Touil	55	Osmose d'inverse	1977
Arzew	350	MSF (6 étages)	1978
Annaba	14180	Osmose d'inverse	1978
Hassi Messaoud	350	Electrodialyse	1978
Bel Abbes	1500	Echangeurs d'ions	1978
Haoud Berkaoui	55	Echangeurs d'ions	1979
Hassi Messaoud	300	Electrodialyse	1979
Rhourd El Baguel	25	Electrodialyse	1979
Arzew	960	MSF (5 étages)	1979
Annaba	144	Echangeurs d'ions	1979
Annaba	576	Echangeurs d'ions	1979
Bassi-Rmel	792	Osmose d'inverse	1979
Annaba	6240	Echangeurs d'ions	1980
Ghardaia	960	Osmose d'inverse	1980
Arzew	960	MSF (6 étages)	1980
Mostaganem	57600	Osmose d'inverse	1980
Rhourd El Baguel	300	Electrodialyse	1981
Annaba	1800	Echangeurs d'ions	1981
Reghaia	160	Echangeurs d'ions	1982

I.3.3- Stations installées par d'autres Compagnies:

Des petites stations sont aussi construites pour répondre aux besoins de certaines industries :

- La compagnie Tongo (Rouiba) : procédé par échange d'ions, avec une capacité de $1500\text{m}^3/\text{j}$.
- La brasserie bovaroise (Annaba): procédé par Osmose Inverse, avec une capacité de $3500\text{m}^3/\text{j}$. [6]

I.3.4- Station expérimentale du Centre de Développement des Energies Renouvelables CDER :

C'est la Station expérimentale de Hassi- khebbi (1975), d'une capacité de $20,4\text{m}^3/\text{j}$ dont le procédé est l'osmose inverse, et fonctionnant à l'énergie solaire. Cette station est destinée au dessalement des eaux saumâtres souterraines pour l'alimentation en eau potable la localité de Hassi Khebbi comptant 800 Habitants. [5]

I.4- Objectifs du programme de dessalement :

Le dessalement des eaux de mer en Algérie devient une solution avantageuse, certes onéreuse mais néanmoins une alternative qui confère surtout à la disponibilité de cette ressource un caractère de pérennité certaine. Elle est rendue possible grâce à l'embellie du marché pétrolier, dont l'Algérie tire l'essentiel de ses revenus.

La réalisation de la station de dessalement de l'eau de mer, permettra non seulement de satisfaire les besoins de la population mais aussi de libérer d'importantes quantités d'eau des barrages pour les besoins de l'irrigation.

C'est pour cela que dès 2001, les pouvoirs publics décident de placer l'alimentation en eau par le recours à l'eau de mer, en tête des priorités du plan de relance économique, doté alors de 7 milliards de dollars, en faveur notamment de la région de l'Oranie qui accuse un déficit alarmant.

I.5- Le programme de dessalement en Algérie :**I.5.1- Le programme d'urgence (2002- 2003) :**

Au titre du programme d'urgence 2002, (21) stations monoblocs de dessalement d'eau de mer pour une capacité globale de $57\ 500\text{m}^3/\text{j}$ ont été réalisées, dans sept wilayas de la bande côtière(voire figure I.02). [6]

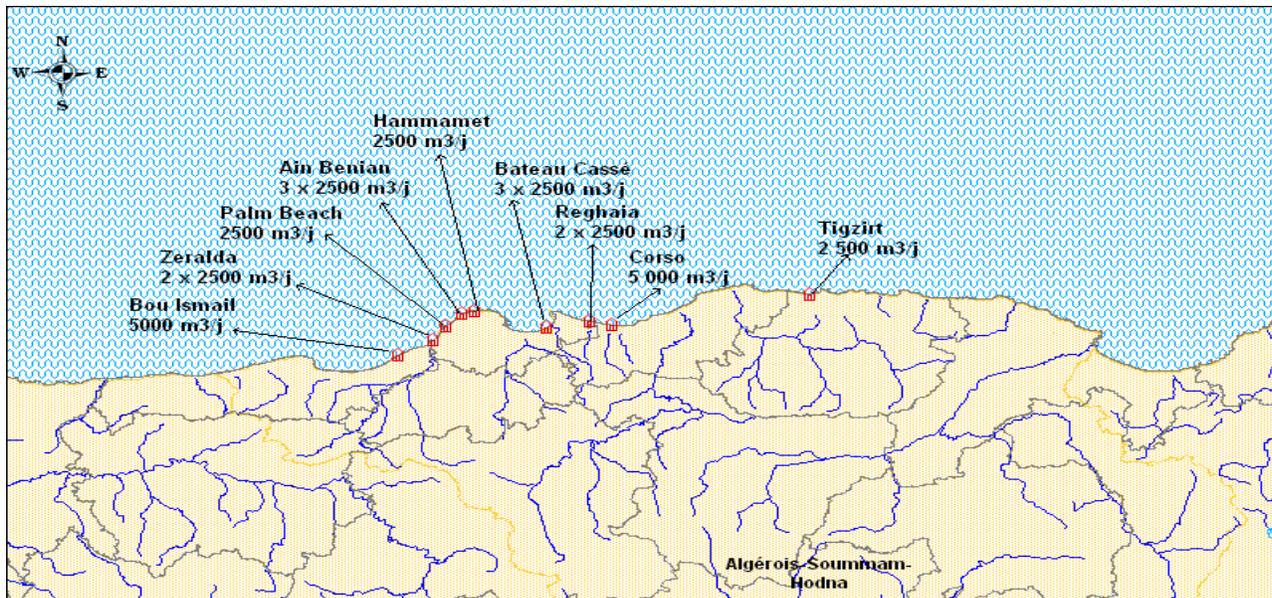


Figure I.02 : Répartition des stations monobloc. [6]

Ce programme d'urgence a été réalisé par deux entreprises : LINKE-KCA (Allemagne) et Hydro Traitement (Algérie).

- Hydro Traitement / Algérie: **13 stations**, d'une capacité de **35 000 m³/j** (Tableau I.07).
- LINDE-KCA / Allemagne: **08 stations**, d'une capacité de **22 500 m³/j** (Tableau I.08).

Tableau I.07: Stations monoblocs construites par Hydro Traitement. [6]

N°	Désignation	Wilaya	Capacité Optimale M3/j	Observation
01	Bousfer 1	Oran	3 000	
02	Bousfer 2	Oran	2 500	
03	Skikda 1	Skikda	2 000	
04	Skikda 3	Skikda	5 000	
05	Tigzirt	Tizi ousou	2 500	
06	Bateau Cassé 1	Alger	2 500	En cours de transfert vers Chatt El Ward (W.Ain Temouchent)

Suite de Tableau I.07: Stations monoblocs construites par Hydro Traitement. [6]

N°	Désignation	Wilaya	Capacité Optimale M3/j	Observation
7	Cap Caxine	Alger	2 500	En cours de transfert vers Chatt El Ward (W.Ain Temouchent)
8	Corso	Boumerdes	5 000	
9	Les Dunes*	Oran	5 000	
10	Bateau Cassé 2	Alger	2 500	En cours de transfert vers Bouzedjar (W.Ain Temouchent)
11	Ain Benian 3	Alger	2 500	En cours de transfert vers Bouzedjar (W.Ain Temouchent)
	Totale		35 000	

Tableau I.08: Stations monoblocs construites par LINDE-KCA. [6]

N°	Désignation	Wilaya	Capacité Optimale M3/j
01	Ain Benian 1	Alger	2 500
02	Ain Benian 2	Alger	2 500
03	Bou Ismail	Tipaza	5 000
04	Palm Beach	Alger	2 500
05	Zeralda 1	Alger	2 500

Suite de Tableau I.08: Stations monoblocs construites par LINDE-KCA. [6]

N°	Désignation	Wilaya	Capacité Optimale M3/j
6	Zeralda 2	Alger	2 500
7	Ghazaouet 1	Tlemcen	2 500
8	Ghazaouet 2	Tlemcen	2 500
	Totale		22 500

I.5.2- Transfert des stations monoblocs vers l'Ouest :

Dans le cadre de ce programme de station monoblocs et suite à la persistance de la sécheresse au niveau de la région ouest du pays, le recours à la délocalisation des stations monoblocs vers d'autres localités où le manque d'eau se fait sentir (priorité à l'alimentation en eau potable) le cas par exemple de la station de Skikda 3 (Est) vers Bousfer (Oran, Ouest), un des avantages de ce type de station (voir tableau I.09).

Tableau I.09: Stations monoblocs délocalisées. [6]

N°	Stations	Capacité	Affectation initiale	Wilaya	Affectation actuelle	Wilaya
1	Skikda 3	3 x 1 000	Ben M'hidi	Skikda	Bousfer	Oran
2	Bateau cassé 3	2 500	Bateau cassé	Alger	Bousfer	Oran
3	Reghaia	2 x 2 500	Reghaia	Alger	Les Dunes/ Ain Turck	Oran
4	Bateau cassé 2	2 500	Bordj El Kifan	Alger	Bouzedjar	Ain Temouchent
5	Ain Benian 3	2 500	Ain Benian	Alger	Bouzedjar	Ain Temouchent
6	Bateau cassé 1	2 500	Bordj El Kifan	Alger	Chett El Ward	Ain Temouchent

Suite de Tableau I.09: Stations monoblocs délocalisées. [6]

N°	Stations	Capacité	Affectation initiale	Wilaya	Affectation actuelle	Wilaya
7	Cap Caxine	2 500	Cap Caxine	Alger	Chett El Ward	Ain Temouchent
8	Corso	5 000	Corso	Alger	Tenes	Chlef

I.5.3- Programme de réalisation des usines de dessalement :

Lancé en 2005, ce plan détaillé porte sur 30 stations monobloc et 13 méga stations dans le nord du pays en vue de produire 2,26 millions de m³/j d'eau dessalée d'ici 2019.

Les 13 méga-stations sont conçues sur le modèle "Build, Own and Operate" (construire, posséder et exploiter), sont alors détenues à 49 % par AEC (Algerian Energy Company : une société dont l'activité est concentrée sur le dessalement d'eau de mer en partenariat avec des investisseurs internationaux créé par Sonatrach et Sonelgaz en mai 2001) et à 51 % par l'investisseur qui exploitera cette usine pendant 25 ans.

Ces projets sont réalisés en partenariat avec notamment des firmes espagnoles (Befesa, Inima Aqualia, Geida), Sud-Africaines (Black and watch), Malaisiennes (Malakof), Singapourienne (Hyflux), et Américaine (Ge Ionics).

Sur les 13 stations prévues par le programme de l'Etat, neuf unités sont opérationnelles (voir tableau I.10), quant aux quatre restantes, deux sont en cours de réalisation, tandis que les travaux n'ont pas encore été lancés dans les deux autres.

L'Algérie peut également s'enorgueillir d'abriter à la fois la plus importante station de dessalement d'eau de mer d'Afrique qui est l'unité d'El Hamma et la plus grande unité de dessalement par osmose inverse au monde, à Magtaa (Oran).

Tableau I.10: Les neuf stations opérationnelles. [6]

Localité	Capacité (m ³ /j)	Date de mise en service
Kahrama (Oran)	90.000	2005
Bousfer	12.480	2005
Hamma (Alger)	200.000	2008
Skikda	100.000	2009
Beni Saf (Ain Temouchent)	200.000	2010
Souk Tleta (Tlemcen)	200.000	2011
Fouka (Tipaza)	120.000	2011
Mostaganem	200.000	2012
El Mektaâ (Oran)	500.000	2012

I.5.4- Assurer l'autosuffisance en ressources hydriques :

Grâce aux progrès réalisés, la consommation moyenne de l'eau en Algérie est passée à 185 litres/jour/habitant actuellement, alors qu'elle était de 90 litres par jour en 2000.

Selon le directeur de l'agence nationale algérienne pour les changements climatiques, M. Kara, "les ressources en eaux devraient atteindre leurs limites à l'horizon 2020-2025, et la crise du climat devrait aggraver la dégradation des ressources naturelles dans les hauts plateaux et les régions steppiques, qui détiennent le potentiel agricole devant assurer la sécurité alimentaire du pays".

Toutefois, la situation de stress hydrique qui ne semble pas être appelée à s'atténuer en raison des aléas climatiques, fait du dessalement un atout majeur, offrant une large marge de manœuvre dans la politique du gouvernement en ce qui concerne le secteur hydraulique.

Les experts estiment que son avantage est de permettre à la fois la mise à disposition d'une eau d'une pureté recherchée et d'assurer la sécurité d'approvisionnement.

Les prévisions du centre de recherche de dessalement au Moyen Orient révèlent que l'Algérie devrait se classer derrière l'Arabie saoudite, les Emirats Arabes unis et les USA en termes de production d'eau potable à partir de l'eau de mer.

I.6- Conclusion :

Dans ce chapitre on constate qu'il y a vraiment un manque d'eau en Algérie qui n'est pas dû seulement aux facteurs climatologiques mais aussi aux facteurs humains, car la mauvaise gestion du potentiel hydrique en Algérie aggrave la situation. Pour cela il faut des solutions radicales qui résistent à la multitude des facteurs réduisant notre autosuffisance en eau.

Face à ce problème majeur de raréfaction des ressources en eau, le dessalement constitue une option stratégique pour notre pays. Dans cette optique le gouvernement algérien a lancé, à partir de 2001, une véritable industrie du dessalement des eaux de mer et des eaux saumâtres

Actuellement, 14 % du volume distribué provient de l'eau dessalée et à l'horizon 2018, un litre d'eau potable sur 5 consommés par les citoyens algériens proviendra du dessalement d'eau de mer ce qui illustre les efforts du gouvernement Algérien dans le programme du développement durable.

II.1- Introduction :

Le dessalement de l'eau de mer est un enjeu important pour l'avenir des régions arides et semi arides, également appelé dessalage ou désalinisation. Le dessalement est un processus qui permet d'obtenir de l'eau douce (potable ou, plus rarement en raison du coût, utilisable pour l'irrigation) à partir d'une eau saumâtre ou salée (eau de mer notamment).

Il existe aujourd'hui de nombreux procédés de dessalement de l'eau de mer, dont beaucoup ont atteint le stade industriel grâce au développement technologique de ce domaine. Les deux procédés les plus courants à travers le monde sont la distillation et l'osmose inverse.

II.2- Caractéristiques de l'eau de mer et saumâtres :

Le problème de dessalement concerne principalement deux catégories d'eau salée, l'eau de mer et les eaux saumâtres.

II.2.1- Les eaux de mer :

La caractéristique la plus importante des eaux de mer est leur salinité, c'est-à-dire leur teneur globale en sels (chlorures de sodium et de magnésium, sulfates, carbonates).

La salinité des mers ouvertes sur les masses océaniques (Atlantique, Manche, Mer du Nord, pacifique) est de l'ordre est de 35 g.L-1, cette valeur est considérée comme la salinité standard de l'eau de mer. Des variations plus ou moins importantes autour de cette valeur moyenne existent en fonction du bilan précipitation-évaporation.

La salinité peut être très différente dans le cas des mers fermées ou peu ouvertes sur les masses océanique (voir le tableau II.01). [7]

Tableau II.01 : La salinité de l'eau de mer et d'océan. [7]

Mer ou océan	Salinité (mg/l)
Mer Baltique	7000
Mer Caspienne	13500
Mer Noire	20000
Mer Adriatique	25000
Océan Pacifique	33600
Océan Indien	33800
Océan Atlantique	36000

Suite le tableau II.01 : La salinité de l'eau de mer et d'océan. [7]

Mer ou océan	Salinité (mg/l)
Mer Méditerranée	39000
Golfe Arabique	43000
Mer Rouge	43000
Mer Morte	270000

II.2.2- Les eaux saumâtres :

On appelle eau saumâtre une eau saline non potable de salinité inférieure à celle de l'eau de mer. En fin la plupart des eaux saumâtres ont une salinité comprise entre 1 et 10 g de sels par litre. Elles se présentent soit, sous forme d'eaux de surface, soit sous forme mais d'eaux souterraines qui se sont chargées en sels en dissolvant certains sels présents dans les sols qu'elles ont traversés. Leur composition dépend donc de la nature des sols traversés et de la vitesse de circulation dans ces sols. Les principaux sels dissous sont le CaCO_3 , le CaSO_4 , le MgCO_3 et le Na Cl . [7]

II.3- L'histoire de dessalement :

Depuis des temps anciens on avait constaté qu'en portant à ébullition de l'eau saline on obtenait, par condensation de la vapeur, de l'eau douce.

La première application industrielle de l'évaporation-condensation a été faite à bord des navires à vapeur vers 1880. Bien que ce soit en 1920 que la première usine de dessalement par voie thermique fut installée à terre (Jeddah – Arabie Saoudite), ce n'est qu'à partir de 1960 que des usines de grande capacité voient le jour, principalement au Moyen-Orient.

Les usines de dessalement d'eau de mer utilisant le principe de l'osmose inverse apparaissent à la fin des années 1970. Elles sont tout d'abord adaptées aux faibles capacité de production, pour devenir petit à petit compétitives par rapport à la distillation, et ceci même pour les grandes capacités, du fait principalement de la diminution du prix des membranes et de leurs besoins en énergie électrique.

Actuellement, est d'après l'inventaire mondial de l'association internationale de dessalement (IDA), il existe plus de 15000 unités de dessalement dans le monde produisant environ 56 millions de m³/j, dans 120 pays.

Les pays de moyen orient, sont principalement ceux du Golf-Persique, atteignent 12 millions de m³/j : l'Arabie Saoudite dispose de 23.6% du totale elle est suivie par les Etats Unis avec 16.16%, les émirats arabes Unis avec 16.3% et le Koweït 6.4%.

Tableau II.02 : Répartition de la production de l'eau dessalée (l'eau de mer). [6]

	Eau dessalé en Mm³/jour	%
Moyen-Orient	21	50
Amérique de nord	7.56	18
Asie	5.46	13
Europe	5.46	13
Afrique	2.52	6
Total	42	100

II.4- Les principales technologies de dessalement des eaux :

Les technologies actuelles de dessalement des eaux sont classées en trois catégories, selon le principe appliqué :

- Les procédés thermiques faisant intervenir un changement de phases.
- Les procédés utilisant des membranes.
- Les procédés chimiques.

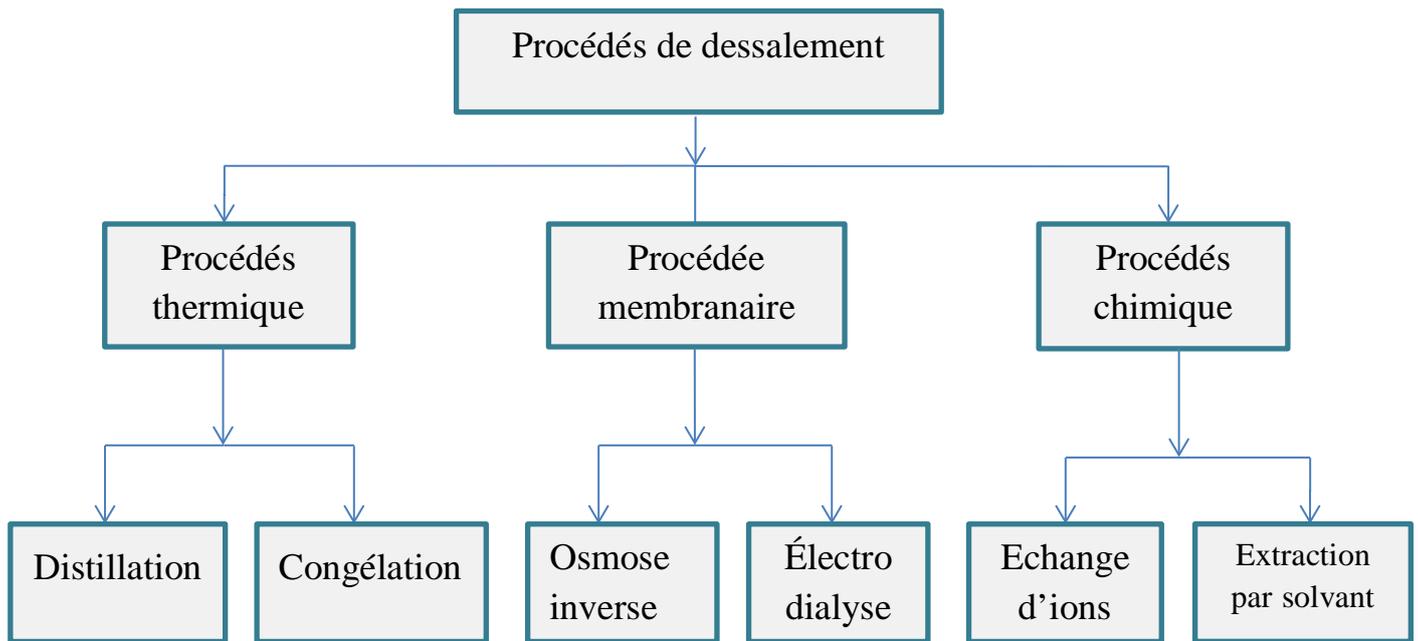


Figure II.01: Les différents procédés de dessalement.

II.4.1- Procédés thermique :

II.4.1.1- La distillation :

L'eau de mer chauffée émet une vapeur d'eau pure qu'il suffit de condenser pour obtenir de l'eau douce. Ce principe de dessalement très simple est utilisé depuis longtemps.

II.4.1.1.1- Distillation à simple effet :

C'est le premier procédé qui a été employé depuis longtemps sur les navires, où les moteurs Diesel émettent une quantité significative de chaleur récupérable. Son principe est simple : il reproduit le cycle naturel de l'eau. Dans une enceinte fermée, un serpentin de réchauffage porte à ébullition l'eau de mer. La vapeur produite se condense au contact d'un deuxième serpentin alimenté par l'eau de mer froide. Un éjecteur (ou une pompe) évacue les gaz incondensables. Un groupe électropompe soutire l'eau condensée ; un deuxième l'eau de mer concentrée ou saumure.

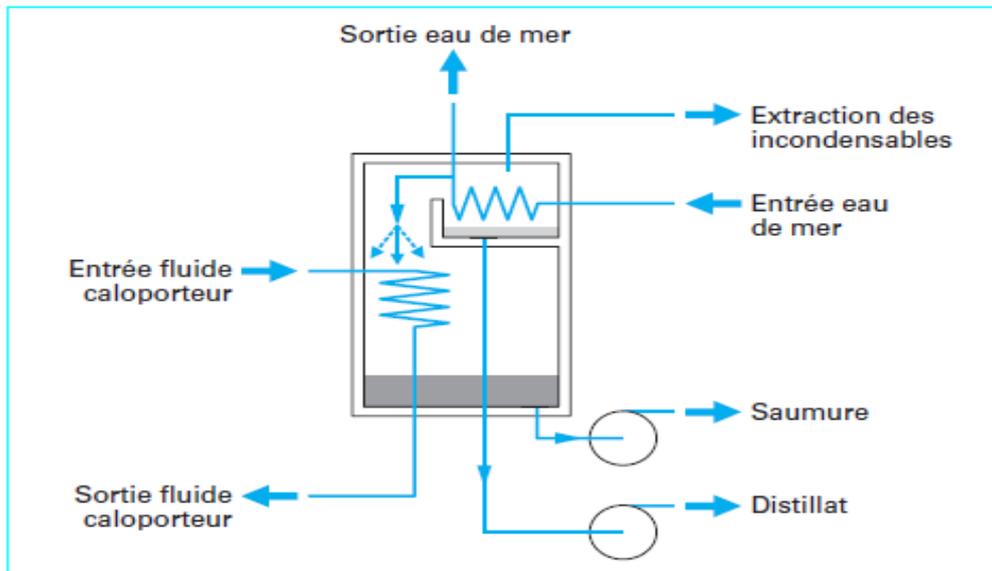


Figure II.02 : Le principe la distillation a simple effet. [8]

II.4.1.1.2- Distillation à effets multiples (Multi Effet Distillation : MED) :

La distillation à multiples effets se base sur la recherche d'une récupération aussi poussée que possible de la chaleur libérée par la condensation et par une évaporation sous pression réduite.

La distillation à multiples effets c'est une installation constituée par la juxtaposition de n cellules fonctionnant selon le principe de l'effet simple (Figure II.02). Le fluide de réchauffage porte à l'ébullition l'eau de mer admise dans la première cellule, qui est aussi la cellule où règne la température la plus haute. La vapeur émise par l'ébullition de l'eau de mer est transférée dans la cellule voisine, où on maintient une pression légèrement inférieure. La température d'ébullition diminuant avec la pression, on vaporise l'eau de mer présente dans la deuxième cellule. C'est le deuxième effet. On peut évidemment répéter l'opération plusieurs fois, la limite basse étant donnée par la température de l'eau de mer froide (Figure II.03).

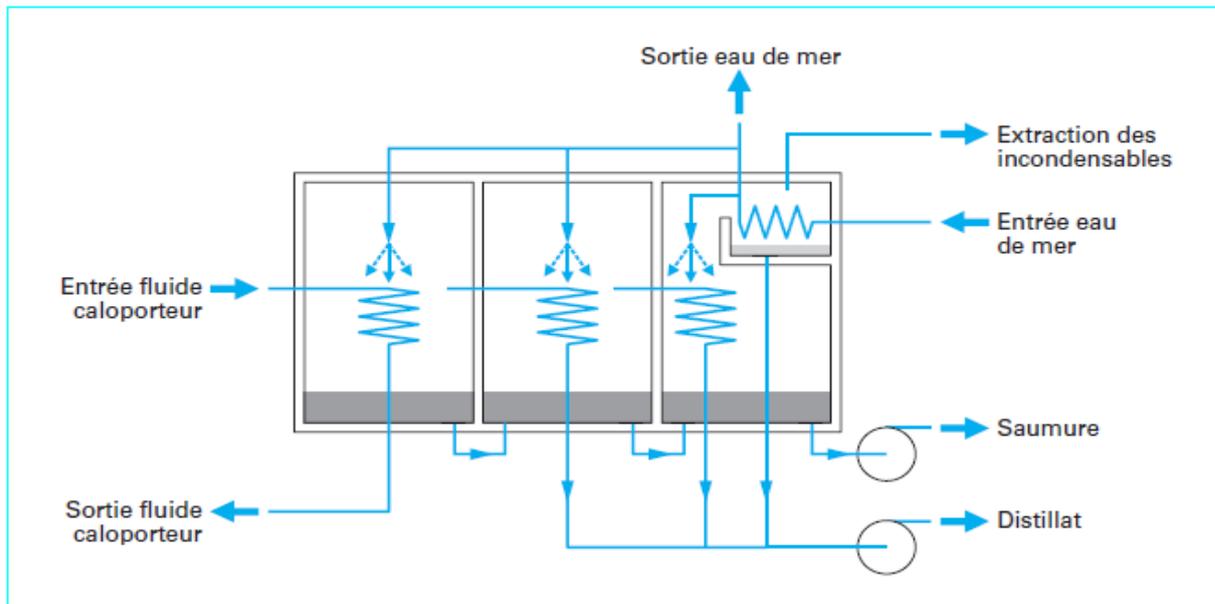


Figure II.03 : Le principe de la distillation à effet multiple (MED). [8]

➤ **Distillation par longs tubes verticaux :**

L'eau de mer admise en A bout en descendant par les tubes B et la vapeur sert de source de chaleur pour l'étage suivant. Seul le premier est alimenté en vapeur spécialement produite. La vapeur en C se condense sur les tubes et l'eau douce est collectée en D. Comme la montre la figure ci-après.

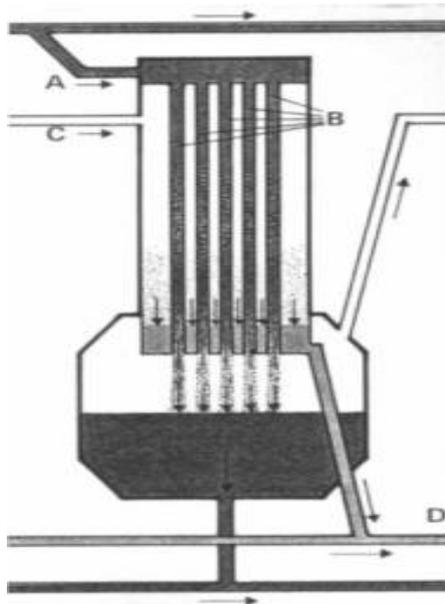


Figure II.04 : Distillation par longs tubes verticaux [9]

➤ **Distillation par longs tubes horizontaux :**

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

II.4.1.1.3- Distillation par détonnes successives ou multi flash (MSF):

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

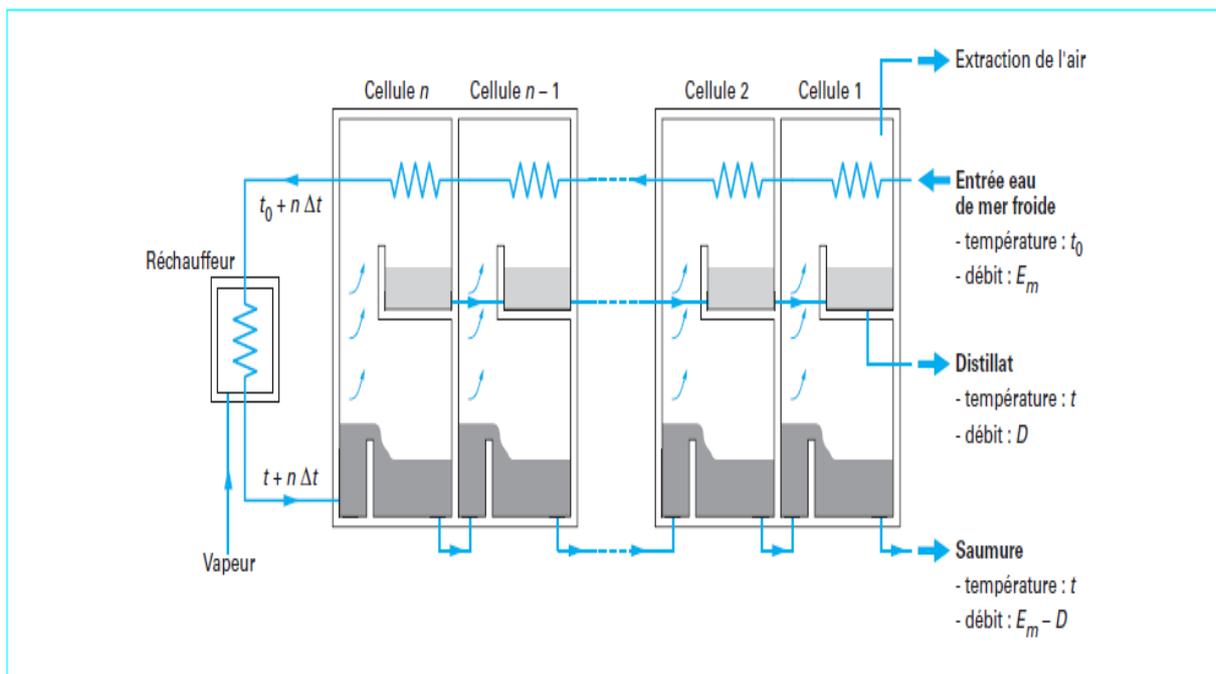


Figure II.05 : Distillation par détonnes successives (MSF) [8]

II.4.1.2- La Congélation :

C'est un procédé physique par changement de phase qui ne nécessite pas l'utilisation de réactifs ou des produits additionnels. Le principe de base de la congélation comme procédé de traitement des eaux est basé sur le fait que, lorsque l'on congèle une solution aqueuse (eau de mer), les cristaux de glace formés sont constitués d'eau pure, le soluté ou polluant restant dans la phase liquide aqueuse.

L'image du procédé de congélation que l'on peut mémoriser est que le cristal de glace en cours de formation ne se « nourrit » que de molécules d'eau pures.

II.4.2- Les procédés membranaires :

II.4.2.1- L'électrodialyse :

L'électrodialyse est un procédé électrochimique qui permet d'extraire les ions contenus dans une solution. L'extraction des ions se fait par migration des ions à travers des membranes sélectives qui sont anioniques (A) ou cationiques (C) sous l'action d'un champ électrique. Ainsi seuls les anions peuvent traverser une membrane anionique et seuls les cations peuvent traverser une membrane cationique.

En plaçant plusieurs membranes en parallèle laissant passer alternativement les ions positifs et les ions négatifs, on peut éliminer certains ions de l'eau.

L'électrodialyse est généralement appliquée dans le dessalement des eaux saumâtres. En effet, il peut obtenir de divers effets de dessalement, Cependant, dans le cas du dessalement profond, le problème d'entartrage hérite le jeu, est relié à la précipitation des sédiments de CaCO_3 , de CaSO_4 et de Mg(OH)_2 sur la surface des membrane.

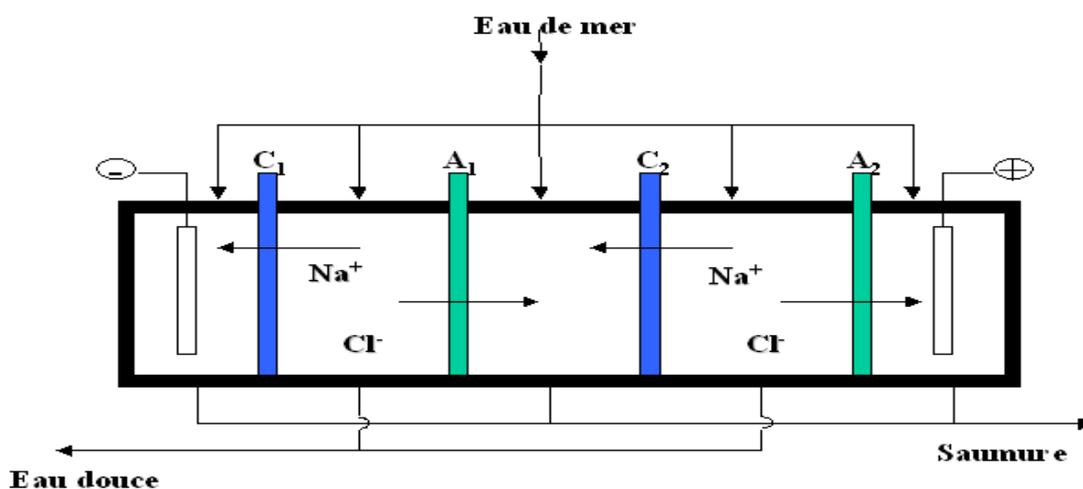


Figure II.06 : Le principe de l'électrodialyse. [9]

II-4-2-2 L'osmose inverse :

Le processus de dessalement par osmose inverse est basé sur l'utilisation de membranes semi-perméables. Ces membranes permettent le passage de l'eau mais ils sont imperméables aux sels. Dans des circonstances normales, lorsqu'une telle membrane est utilisée pour séparer deux solutions à différentes concentrations de sel, l'eau passe de la moins concentrée à la plus concentrée en sel. Ce processus, appelé osmose est un phénomène naturel. Cependant, si l'on exerce une pression suffisante sur la cuve à concentration de sel élevée, il est possible d'inverser la direction de l'eau pure, qui passera de la cote la plus salée à la cote la moins salée. C'est le principe de l'osmose inverse (voir Figure II.07).

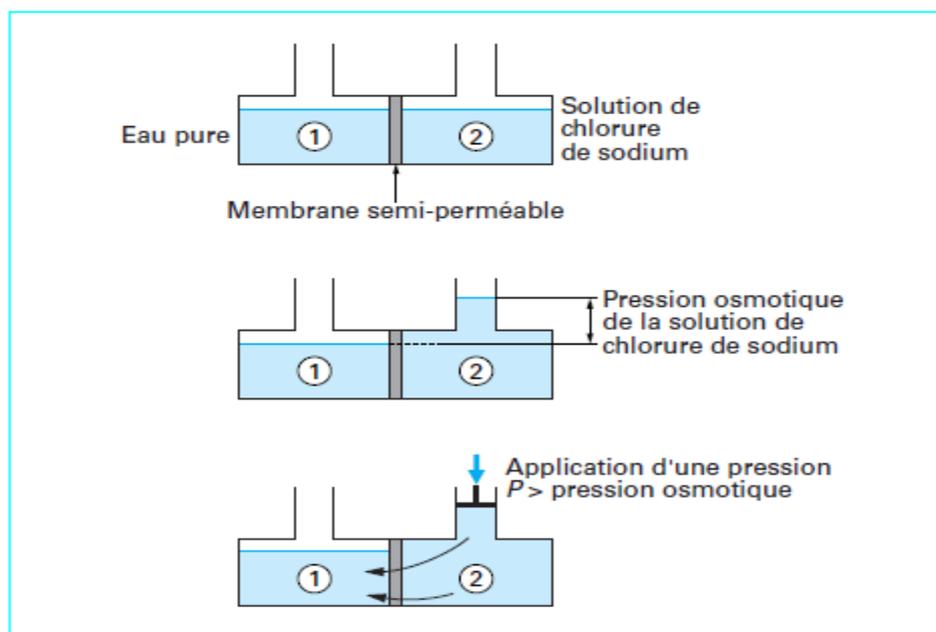


Figure II.07 : Le principe de L'osmose Inverse. [8]

II.4.3- Les procédés chimiques :**II.4.3-1 L'échange d'ions :**

L' 'échange d'ions est un procédé dans lequel les ions d'une certaine charge contenus dans une solution (par exemple des cations) sont éliminés de cette solution par adsorption sur un matériau solide (l'échangeur d'ions), pour être remplacés par une quantité équivalente d'autres ions de même charge émis par le solide. Les ions de charge opposée ne sont pas affectés.

Si on remplace tous les cations dissous dans l'eau par des ions H^+ et tous les anions par des ions OH^- , ceux-ci vont se recombinaison pour former de nouvelles molécules d'eau. Pour y parvenir, il faut avoir une résine échangeuse de cations sous la forme H et une résine

échangeuse d'anions sous la forme OH. Tous les cations et anions de l'eau seront échangés, et le résultat net est une "disparition" complète des contaminants ionisés. La réaction d'échange de cations sera :



Dans ces équations, R' représente la résine échangeuse de cations. L'échange est illustré dans la figure II.08. La résine est initialement sous forme hydrogène (H⁺).

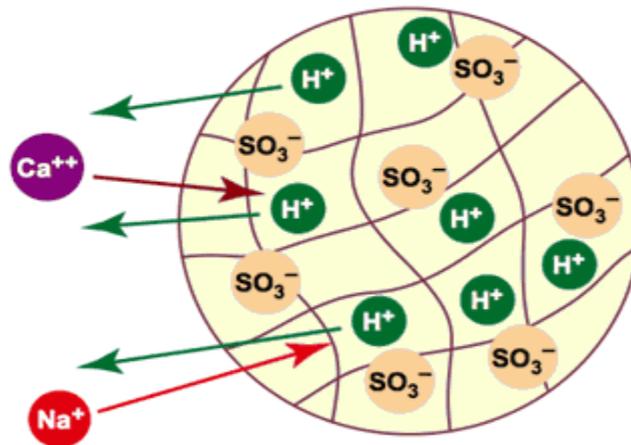


Figure II.08 : Remplacement des cations par H⁺. [10]

De la même façon, une résine échangeuse d'anions sous forme OH⁻ peut éliminer tous les anions :



Où R'' représente la résine échangeuse d'anions. Tous les anions sont remplacés par des ions hydroxyde (OH⁻). À la fin du processus d'échange, les billes de résine ont fixé tous les cations et anions présents dans l'eau et les ont remplacés par des ions H⁺ et OH⁻ ions. Les résines sont presque entièrement saturées (figure II.09).

Ces ions H⁺ et OH⁻ se recombinent instantanément pour créer de nouvelles molécules d'eau :



Les contaminants ionisés ont été fixés sur les deux résines (Na, Ca et Mg sur l'échangeur de cations, Cl, SO₄ et HCO₃ sur l'échangeur d'anions) et l'eau a été complètement déminéralisée et sa salinité est réduite à presque rien.

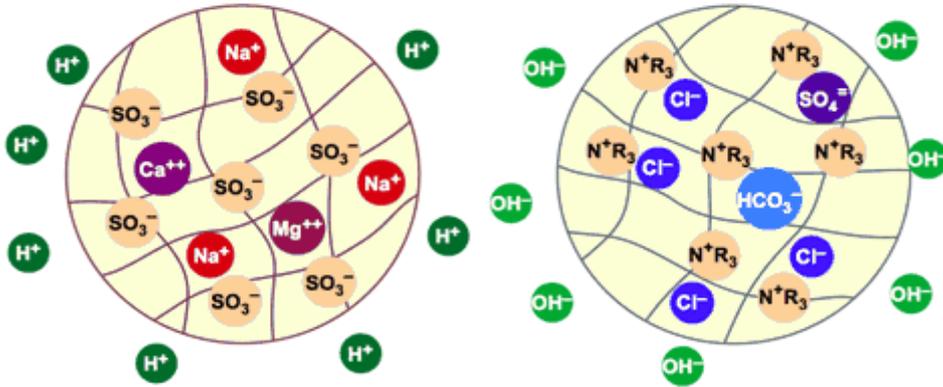


Figure II.09 : La déminéralisation. [10]

Les billes de résine sont saturées des ions H⁺ et OH⁻ ont été relâchés dans l'eau.

I.6- Choix d'un procédé de dessalement :

Les facteurs à prendre en compte dans le choix d'un procédé de dessalement sont de deux Ordres:

- Technique.
- Economique.

I.6.1- Critères économiques :

- Coût de l'énergie : dépend de sa nature (énergie renouvelable, gaz, fuel), et de sa disponibilité locale (pays importateur, ou producteur.....).
- Coût des produits chimiques : selon qu'ils sont disponibles localement, ou importantes.
- Fluctuation des monnaies : particulièrement pour les unités d'osmose inverse, provenant de manière quasi-exclusive des USA, et dont le coût dépend donc de la fluctuation du Dollar.

I.6.2- Critères techniques :

- Salinité de l'eau à traiter : elle varie de 7g/kg dans la mer Baltique à 270g/kg dans la mer morte. En générale, les procédés de distillation permet de traiter des eaux de fortes concentration, et les procédés à membranes sont généralement appliqués aux eaux saumâtres.

- Composition chimique de l'eau à traiter (particulièrement dans le cas des eaux saumâtres (teneur en sulfate, en carbonates).
- Caractéristiques physiques de l'eau (turbidité, matières en suspension,...) déterminent le type de prétraitement à utiliser, particulièrement dans les procédés à membranes, vue la fragilité de celle-ci.
- Salinité de l'eau produite : selon l'usage qui en sera fait, elle peut varier de 300 à 500 ppm pour l'approvisionnement en eau potable à 15-30 ppm pour l'alimentation en eau industrielle.
- Capacité nécessaire : la taille de l'installation peut aller de quelques m/jours à quelques centaines de milliers de m/jours.
- Source d'énergie disponible : gaz, pétrole, électricité, énergie renouvelable, énergie nucléaire, énergie récupérée....
- Degré d'automatisation et de contrôle : la mise en place de mesure et/ou d'enregistrement du PH, de la sélectivité de l'eau produite, de la température..., peut augmenter sensiblement les prix d'investissement des unités.

I.7- Conclusion :

Le dessalement d'eau de mer est devenu ces dernières années une alternative éminente pour parer à la crise de l'eau potable dans le monde. Les améliorations faites ces dernières décennies ont fait des procédés de dessalement des techniques remarquablement viables et efficaces, dans la production d'une eau pure à des prix raisonnables.

À l'instar des procédés thermiques qui étaient la seule option perpétuelle pour dessaler l'eau de mer pendant plusieurs années, le procédé MSF et le procédé MED sont des technologies utilisées à une échelle commerciale et elles ont montré leur efficacité et leur compétitivité. Néanmoins, avec l'avènement des technologies membranaires, l'osmose inverse commence à gagner de la place sur le marché du dessalement.

III.1- Introduction :

A l'heure actuelle, la qualité d'eau produite mondialement par osmose inverse est supérieure à celle produite par distillation. Entre 1990 et 2001, la part de marché de l'osmose inverse a augmenté de 40 à 53%. L'intérêt de l'osmose inverse est le coût de l'eau produite qui est à peu près de 0,5 – 0,7 \$US.m⁻³, alors qu'il se situe entre 1,0 – 1,4 \$US.m⁻³ pour le procédé thermique (Van der Bruggen et Vandecasteele, 2002), grâce à la consommation énergétique moindre du procédé. De plus, en ce qui concerne l'aspect environnemental, les émissions de pollutions atmosphériques (SOx et NOx) sont également réduites en osmose inverse du fait de cette plus faible consommation d'énergie par rapport au dessalement thermique. [11]

C'est pourquoi, les spécialistes du dessalement s'accordent à dire que l'osmose inverse devrait continuer à s'imposer sur le marché avec des prévisions à 2020 de 70 % pour l'osmose inverse contre 20 % pour le dessalement thermique et 10 % pour les autres procédés.

III.2- Le principe d'osmose inverse :

L'osmose est le transfert de solvant à travers une membrane sous l'effet d'un gradient de concentration. Si on considère un système à deux compartiments séparés par une membrane semi-sélective et contenant deux solutions de concentrations différentes, l'osmose se traduit par un flux d'eau dirigée de la solution diluée vers la solution concentrée.

Si on applique une pression sur la solution concentrée, la quantité d'eau transférée par osmose va diminuer. Avec une pression suffisamment forte, le flux d'eau va même s'annuler: cette pression est nommée la pression osmotique p . Si on dépasse la valeur de la pression osmotique, on observe un flux d'eau dirigé en sens inverse du flux osmotique: c'est le phénomène d'osmose inverse.

III.2.1- La pression osmotique :

La pression osmotique peut être calculée en assimilant le comportement des molécules du soluté à celles de molécules gazeuses. Dans le cas d'une solution diluée, on peut appliquer la loi des gaz parfait. [12]

$$\pi V = nRt$$

III.01

Avec

π : pression osmotique.

V : volume de la solution.

n : nombre de moles de soluté.

R : constante des gaz parfaits.

T : température absolue

La loi de Van't Hoff exprime que la pression osmotique exercée par le soluté est égale à la pression que ce corps aurait exercé dans l'état gazeux parfait dans le même volume V et à la même température T. Si le soluté est dissocié en i ions, la pression osmotique sera i fois supérieure.

La pression osmotique d'une solution est proportionnelle à la concentration en soluté selon la relation:

$$\pi = i \cdot C \cdot R \cdot T \quad \text{III.02}$$

i : est le nombre d'espèces d'ions constituant le soluté

C : la concentration molaire du soluté (mol. m^{-3})

T : la température (K)

R : la constante des gaz parfaits ($8,31 \text{ j. mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)

π : est exprimée en bar.

A noter que cette relation est valable pour des solutions diluées.

III.2.2- Mécanisme de transfert :

Dans le cas de l'osmose inverse, les transferts de solvant et de soluté au travers d'une membrane semi-perméable se font par solubilisation-diffusion ; toutes les espèces moléculaires (soluté et solvant) se dissolvent dans la membrane et diffusent à l'intérieur de celle-ci sous l'action d'un gradient de concentration et de pression.

En absence de colmatage, le flux de solvant (ici l'eau) à travers la membrane est exprimé par l'équation suivante :

$$J = \frac{\Delta P - \Delta \pi}{\mu R_m} \quad \text{III.03}$$

Avec :

J : Flux d'eau à travers la membrane ($\text{L. h}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$)

ΔP : Différence de pression de part et d'autre de la membrane (Pa)

$\Delta \Pi$: Différence de pression osmotique de part et d'autre de la membrane (Pa)

μ : Viscosité dynamique de l'eau (Pa.s)

R_m : Résistance de la membrane (m-1)

III.3- Schéma général d'une installation d'osmose inverse :

Les principaux constituants d'une installation d'osmose inverse sont les suivants (figure n°1) :

- La pompe haute pression.
- La membrane proprement dite.
- Le module.
- Éventuellement un système de récupération d'énergie.

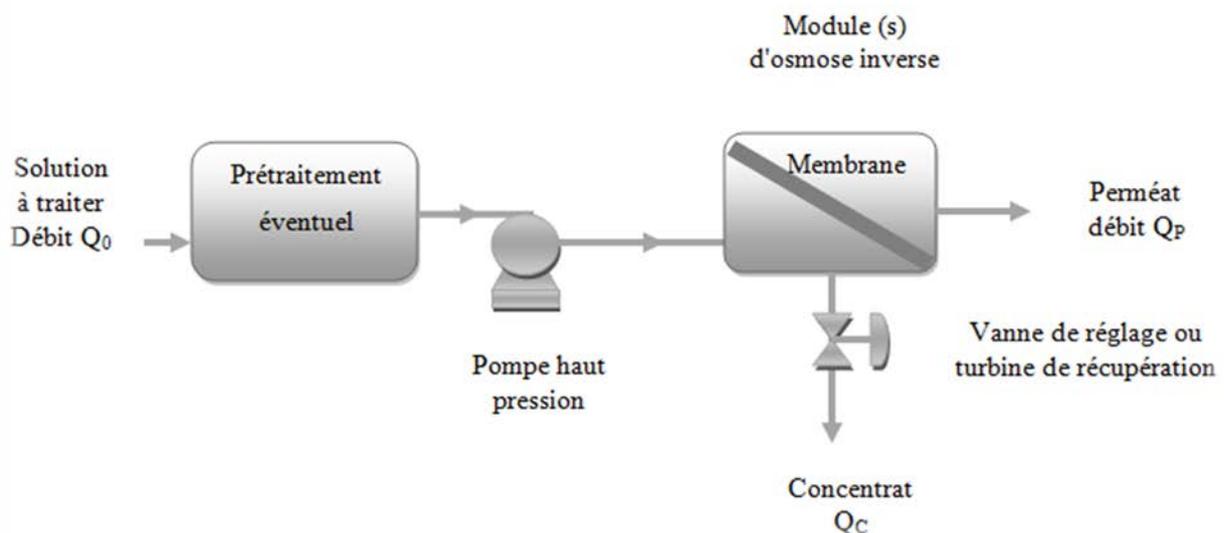


Figure III.01 : Schéma de principe d'une unité d'osmose inverse. [7]

L'écoulement du fluide sur la membrane est continu et tangentiel, la solution à traiter (débit Q_0) se divise au niveau de la membrane en deux parties de concentration différentes :

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

L'objectif de l'écoulement tangentiel est d'éviter, autant que faire se peut, l'accumulation continue sur la membrane des espèces (particules, molécules, ions) retenues par cette dernière. [7]

III.4- Les membrane d'osmose inverse:

Il existe une grande diversité de membrane, Elles sont classées en familles, selon leur nature chimique, leur structure et leur forme physique liée à leur mode de fabrication.

Une membrane est une interface physique, de faible épaisseur, qui contrôle le transfert d'espèces chimique entre les deux milieux qu'elle sépare. Cette interface put être homogène au niveau moléculaire, uniforme en composition et structure, ou elle peut être chimiquement et physiquement hétérogène.

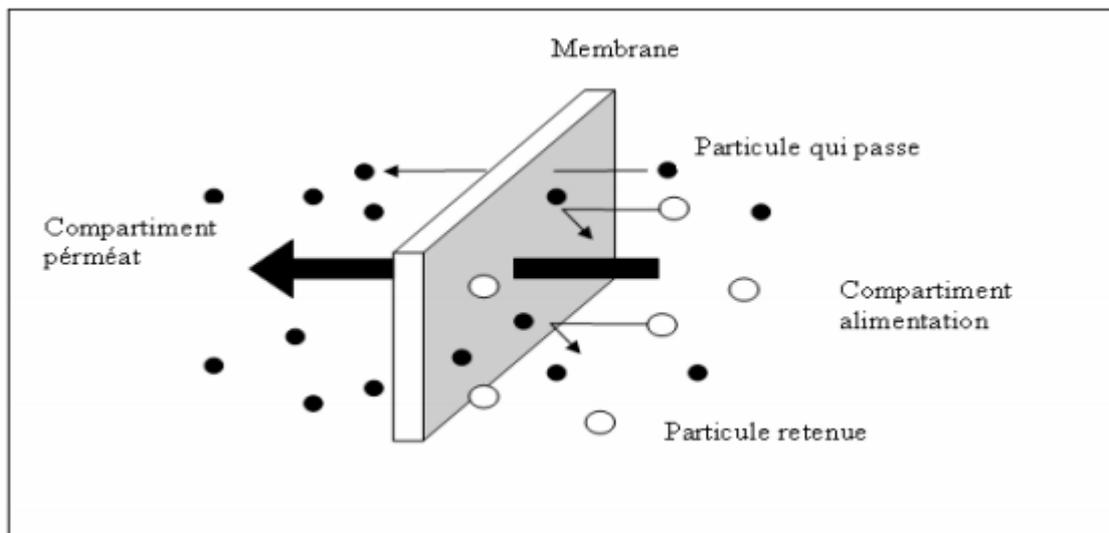


Figure III.02 : Schéma d'une membrane sélective. [13]

III.4.1- Les type des membranes:

Les membranes peuvent être classées suivant le critère adopté en plusieurs catégories.

La structure des matériaux permet de distinguer trois types de membranes :

- Isotropes, où les propriétés structurelles sont constantes sur toute l'épaisseur de la cartouche ;
- Anisotropes, où les propriétés structurelles varient sur l'épaisseur de la cartouche, de la surface vers l'intérieur de la membrane ;
- Liquides.

Selon la nature des matériaux constitutifs des membranes on parle également de :

III.4.1.1- Membranes organiques :

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

- **Membranes en acétate de cellulose :**

Ce sont des matériaux possédant de bonnes propriétés de perméabilité mais qui souffrent sensibilité à l'hydrolyse chimique leur utilisation est limitée à une gamme de Ph de 3 à 7 et à des applications pour le quelles la température n'excède pas 50°C. [13]

➤ **Membrane en polyamides :**

Parmi les polymères les plus utilisés on rencontre, entre autres, les poly sulfones, polyamides aromatique, poly imides, polythersulfones, polycarbonates, ainsi que des polymères fluorés.

Les membranes polymériques, possédant des résistances chimiques et thermique supérieures aux membranes cellulosique. [15]

➤ **Membrane en poly sulfone :**

Caractérisées par un groupement -SO₂- relativement stable relié à deux noyaux benzéniques.

➤ **Membrane en matériaux acryliques :**

- Poly (acide acrylique).
- Poly acrylonitrile (pan).

➤ **Membranes en matériaux fluorés :**

- Poly (fluorure de vénylidéne) ou PVDF,
- Poly (tétrafluoroéthylène) ou PTFE.

Tableau III.01 : Avantages et inconvénients des membranes organiques. [14]

	Avantage	Inconvénients
Acétate de cellulose	Perméabilité élevée Sélectivité élevée Mise en œuvre assez aisée Adsorption des protéines faible Colmatage moindre	Sensible à la température Sensible au pH Sensible au chlore Sensible au compactage Sensible au microorganisme
Type polyamide	Bonne stabilité thermique, chimique et mécanique	Grande stabilité au chlore Faible perméabilité Phénomène d'adsorption

Type poly sulfone	Bonne stabilité thermique et au pH Résistance au chlore 5mg/l fonctionnement normale 50mg/l stockage 200mg/l traitement de choc	Sensible au compactage Adsorption
Matériaux acrylique	Bonne stabilité thermique, chimique Stockage à sec possible	Faible résistance mécanique Pores de diamètre assez élevée
Matériaux fluorés	Bonne stabilité thermique, chimique	Faible perméabilité Microfiltration uniquement

III.4.1.2- Membranes minérales ou inorganiques :

Différents matériaux minéraux peuvent être utilisés pour la fabrication ces membranes. Si les céramiques composent la majorité de membranes minérales, on trouve également du carbone poreux, des métaux ou du verre. Bien souvent, il s'agit de membranes composites où le matériau composant le support est différent.

Ces membranes sont d'une manière générale plus résistante mécaniquement, chimiquement et thermiquement, que leurs concurrentes organiques. Les membranes céramique ne sont par ailleurs pas sensibles aux agents oxydants ce qui facilite grandement leur nettoyage par voie chimique. Enfin, elles peuvent être stérilisées à la vapeur sans altération de leur structure (Grégorio et Pierre, 2007).

III.4.1.3- Membranes composites :

Elles sont caractérisées par une structure asymétrique dont la peau est beaucoup plus fine que celle des membranes classiques non composites et par une superposition de plusieurs couches différenciées soit par leur nature chimique, soit par leur état physique. Elles peuvent être organiques (superposition de polymères organiques différents), organo-minérales ou minérales (association de carbone ou d'alumine comme support et de métaux tels la zircon, l'alumine et le titane) (Jean. M et Catherine. J, 2002)

➤ **Avantage :**

- Perméabilité et sélectivité élevées ;

- Stables à des valeurs de PH de 2 à 11 ;
- Bonne tenue à des températures de 40° à 60°C suivant la pression.

➤ **Inconvénient :**

- Mauvaise tenue au chlore.

III.4.2- Les critères de choix d'une membrane:

Les qualités recherchées pour une membrane eau de mer sont les suivantes.

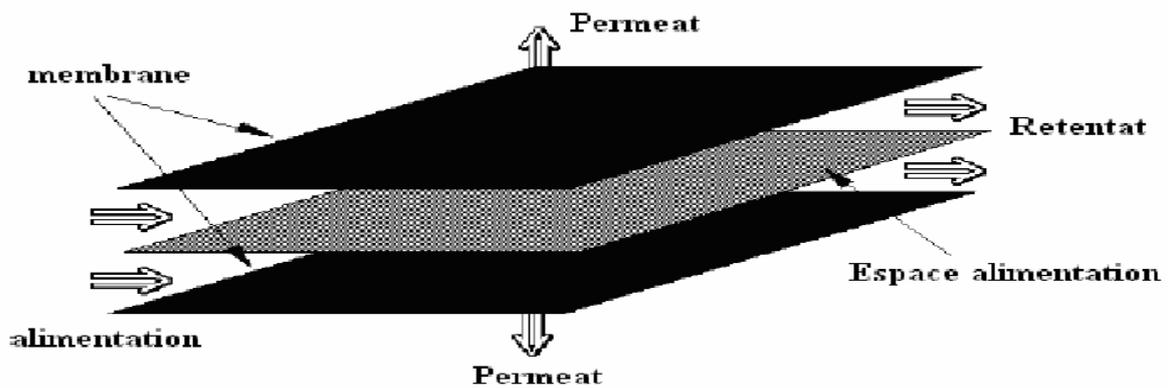
- **Un rejet de sel élevé :** Par le choix des membranes capable de rejeter 99 % des sels, actuellement, les fabricants proposent des membranes affichant des rejets de sel entre 99,0 % et 99,8 %. Le rejet de sel est défini dans des conditions dites « standard », selon les fabricants : teneur en NaCl, pression de travail, température, pH, conversion.
- **La meilleure résistance à la compaction :** La membrane est soumise à de fortes pressions plus de 50 bars qui accélèrent le phénomène de compaction.
- **La meilleure stabilité chimique:** Aujourd'hui, une bonne membrane accepte en fonctionnement continu une eau dont le pH se situe entre 3 et 10. Cette fourchette est largement suffisante car le pH de l'eau de mer prétraitée est de l'ordre de 7. On s'intéressera plus à la fourchette de pH acceptable pendant le lavage ; plus large est cette fourchette, plus grande est la liste des solutions de lavage compatibles et finalement, l'exploitant disposera de moyens plus rapides pour laver les membranes.

III.5- Les Modules :

Les membranes les plus répandues sont assemblées sous forme de modules regroupant généralement plusieurs membranes. Actuellement, quatre principaux types de modules sont commercialisés, il s'agit des modules spiraux (les plus utilisés), les modules tubulaires et les modules fibres creuses.

III.5.1- Modules plans :

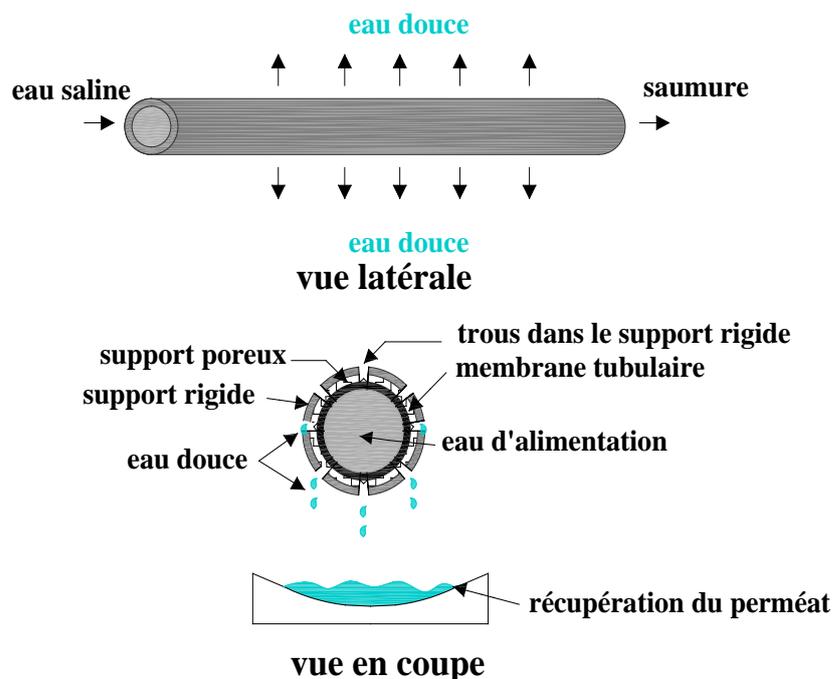
Ils sont constitués d'un empilement de plaques chacune équipée sur ses deux faces d'une grille de drainage faisant office d'espace filtrant, et d'une feuille poreuse soutenant la membrane. [13]



Figures III.03 : Module plan. [14]

III.5.2- Modules tubulaires :

Ils sont constitués d'un tube poreux sur lequel la membrane est fixée, le liquide à traiter, pompé à une extrémité du tube, est forcé au travers de celui-ci et de la membrane. Le retentât est recueilli à l'autre extrémité du tube tandis que le perméat qui s'écoule à la surface extérieure de la membrane est récolté dans un tube extérieur concentrique. (Werner et al, 2010).



Figures III.04 : Schéma de principe d'un module tubulaire. [13]

III.4.3- Module spiralé :

C'est une membrane plane qui est enroulée sur elle-même autour d'un tube poreux qui recueille le filtrat. On obtient ainsi un cylindre multi couches où le perméat s'écoule selon un

chemin spiralé vers le tube poreux tandis que l'alimentation circule axialement dans les canaux. On retrouve souvent dans les installations d'osmose inverse des modules spirales.

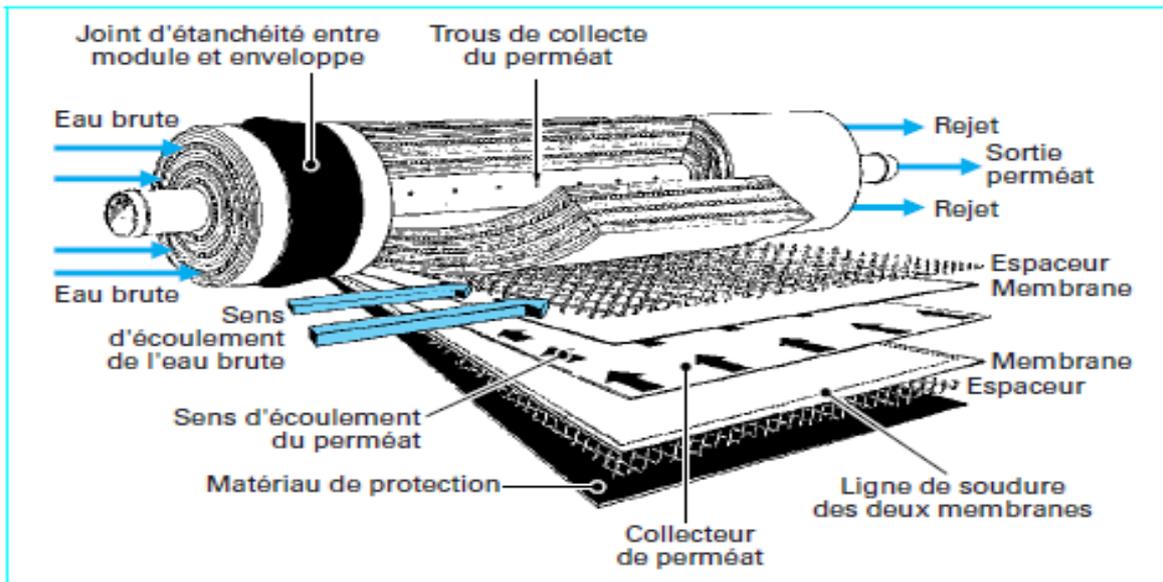


Figure III.05 : Module à enroulement spiral. [8]

III.5.3- Module à fibres creuses :

Dans ce cas la membrane est sous forme de tube très fins (diamètre intérieur de 0,005 mm à 1mm).ces tubes dont le nombre peut varier entre 50 et plus de 1000 sont contenus dans une cartouche.

Le produit à traiter est introduit à une extrémité de la cartouche et réparti dans les fibres creuses à l'aide d'un distributeur. Le retentât est collecté à l'autre extrémité et le perméat est recueilli dans la cartouche.

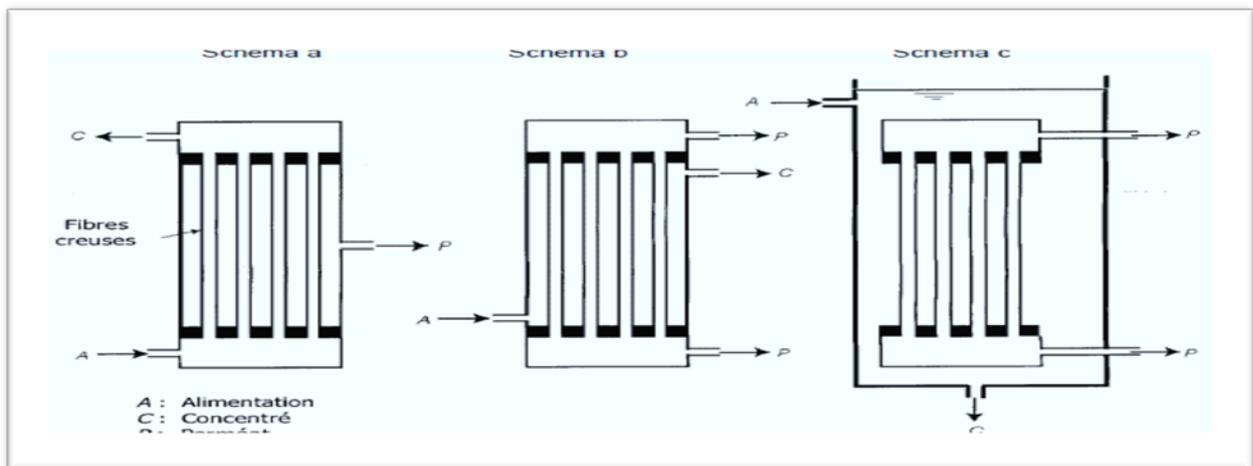


Figure III.06: Modules à fibres creuses. [13]

III.5.4- Comparaison entre les différents types de modules :

Chaque type des modules cité à des avantages et des inconvénients (voir tableau III.02)

Tableau III.2 : Avantages et inconvénients Modules d'osmose inverse. [7]

Modules	Avantages	Inconvénients
Modules plans	Système souple et modulable Visualisation du perméat Changement facile des membranes	Système peu compact (100 à 400 m ² /m ³) Investissement relativement élevé
Modules tubulaires	Technologie simple Peu traités tous types de fluides (chargés, visqueux) Facilité de nettoyage	Consommation d'énergie élevée Coût élevé Faible compacité (10 et 300 m ² /m ³)
Modules spiralés	Compacité élevée (300 à 1000 m ² /m ³) Faible volume mort Coût d'investissement relativement faible	Sensible au colmatage Difficulté de nettoyage
Modules à fibres creuses :	Compacité élevée (15000 m ² /m ³) Faible volume mort Faible consommation énergétique Possibilité de nettoyage à contre-courant	Sensibilité de colmatage dû au faible diamètre des fibres Fragiles (Canaux fins)

III.6- La pompe haute pression :

Le cœur du système d'osmose inverse est la pompe haute pression d'alimentation des membranes, elle joue un rôle très important car elle est liée directement à la consommation d'énergie par son rendement. De ce fait, il convient d'effectuer les bons choix par une parfaite connaissance des équipements existants sur le marché et de leurs spécificités au niveau de leur principe de fonctionnement, de leur conception, des gammes de débit et de pression, des rendements, de la métallurgie et des caractéristiques dimensionnelles.

III.7- Le système de récupération d'énergie :

Dans le système d'osmose inverse le concentrât est rejeté sous haute pression arrivant jusqu'à 65 bars, c'est pourquoi il est important de récupérer de l'énergie du débit de concentrât ; il existe actuellement deux systèmes de récupération de l'énergie hydraulique :

➤ Récupération indirecte :

La puissance hydraulique du concentrât sert à soulager le moteur de la pompe haute pression et ceci par l'intermédiaire d'une turbine.

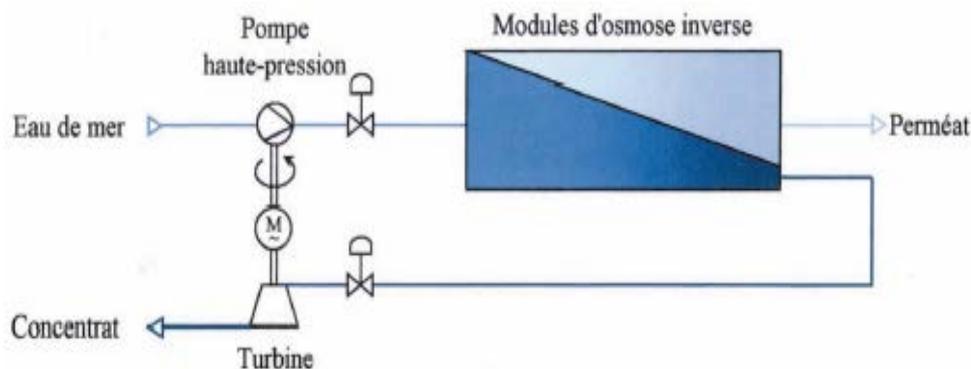


Figure III.07 : Schéma de récupération directe de l'énergie. [17]

➤ Récupération indirecte :

La puissance hydraulique est transférée directement dans le circuit d'alimentation, Le flux du concentrât provenant des membranes est dirigé à travers l'échangeur de pression, où il transfère directement de l'énergie à une partie du flux d'alimentation avec un maximum d'efficacité, pour cela il existe une pompe de surpression destinée à compenser les pertes de charge induites dans les échangeurs de pression comme le montre la figure suivante :

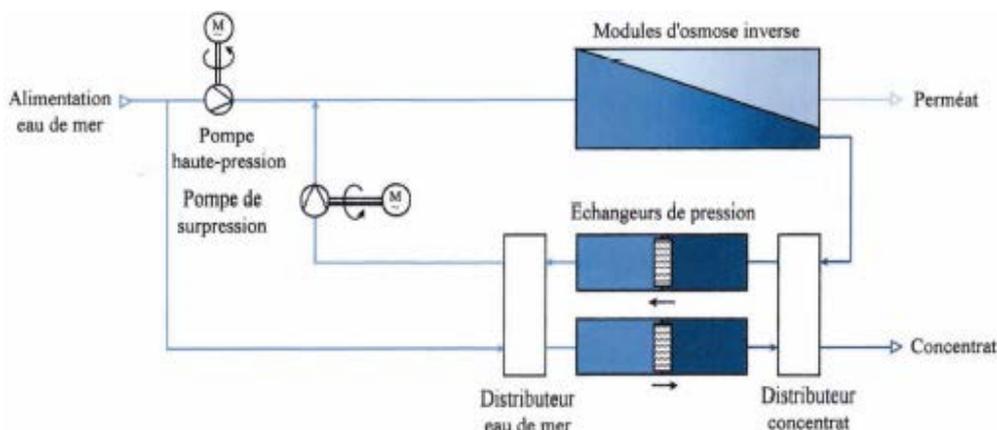


Figure III.08 : Schéma de récupération indirecte de l'énergie. [17]

III.8- Le post traitement :

L'eau de mer étant constituée à 85 % de chlorure de sodium, il convient de reminéraliser le perméat pour porter son TH calcique et son TAC 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 le perméat, 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 de son stockage. [18]

III.9- Les caractéristiques principales d'une unité d'osmose inverse :**III.9.1- Définitions:**

Les éléments de base pour le fonctionnement d'une unité d'osmose inverse sont caractérisés par les paramètres suivants:

- **Le taux de conversion Y:** Le taux de conversion Y est, par définition, la fraction du débit du liquide qui traverse la membrane :

$$Y = \frac{Q_p}{Q_0} \quad \text{III.04}$$

Q_p : débit de perméat.

Q_0 : débit de l'eau à traiter.

Le choix de Y (exprimé souvent en %) résulte d'un compromis entre des considérations économiques et des impératifs techniques.

Ce paramètre s'exprime aussi sous la forme du facteur de conversion Fc:

$$Fc = \frac{100}{100-Y} \quad \text{III.05}$$

Si Y= 66 %, FC= 3, les sels seront donc concentrés trois fois en admettant qu'ils sont entièrement retenus par la membrane.

- **Le passage de sels PS :** se caractérise par le rapport entre la concentration côté production et la concentration côté alimentation :

$$PS = 100 \cdot \frac{c_p}{c_a} \quad \text{III.06}$$

- **Le rejet de sels :** qui est le rapport entre la concentration côté rejet et la concentration côté alimentation :

$$RS = 100 \cdot \frac{Cr}{Ca} = 100 - PS \quad \text{III.07}$$

Les lois de Fick et de Henry permettent de relativiser les interactions entre ces paramètres. [13]

III.9.2- Loi de Fick :

Elle précise les paramètres influençant la production d'une membrane d'osmose : [8]

$$Qm = Kp \cdot \frac{s}{e} (\Delta P - \Delta \pi) Kt \cdot Kc \quad \text{III.08}$$

Avec : Q_m : débit d'eau traversant la membrane.

K_p : coefficient de perméabilité à l'eau de la membrane.

S : surface de la membrane.

E : épaisseur de la membrane.

ΔP : différence de pression motrice.

Δp : différence de pression osmotique.

K_t : coefficient lié à la viscosité de l'eau, donc à sa température.

K_c : coefficient de compaction (= vieillissement de la membrane avec le temps de fonctionnement).

III.9.3- Loi de Henry :

Cette loi précise les paramètres influents la rétention des sels par une membrane d'osmose inverse : [8]

$$Qs = Ks \left(\frac{s}{e} \right) \Delta C \cdot Ks \cdot Kc \quad \text{III.09}$$

Avec:

Q_s : flux de sels à travers la membrane.

K_s : coefficient de passage de sels.

ΔC : différence de concentration.

Le tableau suivant résume les interprétations des résultats donné par les lois de Fick et Henry

Tableau III.03: Interprétation des résultats donnée par les lois de Fick et Henry. [8]

Caractéristiques	Débit produit (Q_p)	Salinité produite (C_p)
Pression $\Delta P \uparrow$	\uparrow	\downarrow
Température $t \uparrow$	\uparrow	\leftrightarrow
Salinité $C_A \uparrow$	\downarrow	\uparrow
Conversion $Y \uparrow$	\downarrow	\uparrow

III.10- Mise en œuvre et performance

III.10.1- Techniques d'amélioration des performances de procédés :

Une variété de techniques ont été développées afin de surmonter les problèmes de polarisation de concentration et de l'encrassement responsable de la baisse de performance induite dans les applications de filtration membranaire.

Il s'agit notamment:

- Choix des conditions de fonctionnement (pression, température.....)
- Des méthodes physiques telles que le lessivage de la surface de la membrane,
- Des méthodes hydrodynamiques, en l'occurrence l'introduction des espaceurs.

III.10.2- Choix des conditions de fonctionnement :

La performance des procédés d'osmose inverse est reliée à plusieurs variables qui sont :

III.10.2.1- Choix de taux de conversion :

Sur le plan économique, il est intéressant de choisir une conversion Y élevée pour diminuer simultanément la quantité d'eau brute à pomper (investissement plus faible pour les pompes, filtres...etc. et énergie consommée plus faible) et les rejets à éliminer. Ce dernier point est important puisque le rejet dans le milieu naturel d'une eau saumure concentrée n'est pas toujours possible et son retraitement par lagunage ou même par distillation est alors indispensable.

Sur le plan technique, un taux de conversion élevé a pour conséquence une augmentation de la concentration en sels pouvant dépasser la limite de solubilité de certains d'entre eux entraînant l'entartrage des modules. Une autre conséquence est l'augmentation de la salinité de l'eau produite. En pratique, avec un prétraitement correct, le taux de conversion atteint 60 % en eau de mer et 90 % pour les eaux saumâtres.

III.10.2.2- Choix de la pression :

Le choix repose sur des considérations techniques et économiques :

- **Considérations techniques :**
 - La pression de fonctionnement doit être supérieure à la pression osmotique ;

- La sélectivité d'une membrane augmente avec la pression ; celle-ci doit être choisie de manière à obtenir le taux de conversion désiré ;
- Lorsque la pression est élevée, des problèmes de tenue mécaniques se posent pour les membranes (compactage) et les modules, actuellement la pression maximale est d'environ 7 Mpa.

Il existe une pression au-delà de laquelle le flux de perméat n'augmente plus et cela pour une vitesse de circulation donnée il en résulte le phénomène de polarisation, il est donc impératif de choisir une pression inférieure à cette valeur limite. [13]

➤ **Considérations économiques :**

Le choix de la pression de fonctionnement doit être compris entre le coût de la consommation énergétique et le coût réservé à la surface membranaire.

Lorsque la pression augmente, la consommation d'énergie devient importante, tandis que la surface membranaire nécessaire devient plus faible pour la production donnée.

III.10.2.3- Importance de prétraitement :

Le choix du prétraitement est fondamental dans une filière incluant des membranes haute pression (osmose inverse ou nano filtration) car il permet de protéger la membrane vis-à-vis du colmatage minéral, organique ou bactérien qui engendrerait rapidement un dysfonctionnement de l'étape membranaire, s'il s'avérait insuffisant.

Le prétraitement est destiné à:

- réduire très fortement la turbidité de l'eau brute ainsi que les matières en suspension qui y sont associées,
- éliminer toute forme d'hydrocarbures présents dans l'eau brute,
- éliminer les algues lors de leur développement saisonnier,
- réduire très fortement le pouvoir colmatant de l'eau en traitant par adsorption, absorption ou précipitation toutes les substances minérales ou organique qui y prennent part. [19]

III.10.2.4- Nettoyage :

Même avec un prétraitement bien conçu et des conditions opératoires bien choisies, on constate toujours une altération des performances, et des nettoyages chimiques doivent être prévus régulièrement.

III.11- Les avantages et les inconvénients de l'osmose inverse :**III.11.1- Les avantages :**

- Obtention d'une eau très pure après osmose inverse.
- L'eau osmosée est antioxydant, alors que l'eau en bouteille est plus oxydée du fait du délai souvent trop long entre la mise en bouteille et la consommation.
- Le pH légèrement acide de 6,6, idéal pour la digestion, l'assimilation des aliments.
- Le procédé d'OI ne demande pour sa mise en marche ou son arrêt que quelques secondes.
- L'OI peut être schématisée par une pompe à haute pression et un ou plusieurs modules (simplicité de représentation).
- Faible consommation d'énergie, comparée à d'autres procédés.

III.11.2- Les inconvénients :

- Nécessité d'un prétraitement de l'eau brute ;
- Le remplacement des membranes d'OI représente 5% du coût du traitement.
- La séparation membranaire possède un talon d'Achille c'est le « le colmatage » qui est responsable dans trois quart des cas du vieillissement de la membrane.
- La capacité unitaire d'un module d'OI ne dépasse pas 20 m³/j d'eau douce à partir de
- l'eau de mer, et donc une installation de grande capacité sera constituée de plusieurs modules, ce qui entraîne une complexité de l'installation et un coût élevé.
- Impact négatif du rejet de la saumure sur l'environnement.

III.12- Conclusion :

Dans ce chapitre on a détaillé le procédé d'Osmose Inverse car, actuellement c'est le procédé le plus utilisé notamment dans le bassin méditerranéen, aussi bien pour le dessalement des eaux saumâtres que des eaux de mer. C'est aussi la technique retenue par l'Algérie pour ses grandes stations de dessalement, dont celle de Fouka (Wilaya de Tipaza), qui fait l'objet de notre étude.

IV.1- Introduction :

La station de dessalement d'eau de mer de Fouka a été Réalisée par l'entreprise "Myah Tipasa" qui représente un groupement d'entreprises constitué d'AEC (Algerian Energy Company) et de la canadienne "SNC Lavallin"

Cette station est destinée à couvrir les besoins en eau potable de la partie Est de la wilaya de Tipasa et d'une partie de la wilaya d'Alger. Elle utilise la technique d'osmose inverse pour dessaler l'eau de mer. Sa capacité journalière de dessalement est de 120 000 m³, dont 60 000 m³ destinés à Alger, touchera les communes limitrophes de la wilaya de Tipasa, à savoir Zeralda, Mahelma, Staouéli et AïnBenian et 60 000 m³ seront réservés à la wilaya de Tipasa pour alimenter en eau potable les communes de Douaouda, Fouka, Bou Ismail, Ain Tagourait, Attatba et Chaïba.

IV.2- Localisation de la station :

Le site de l'usine de dessalement d'eau de mer de Fouka est localisé dans la wilaya de Tipasa, à 20 km du chef-lieu de wilaya et à environ 35 km à l'Ouest d'Alger. L'usine est située à l'entrée de Fouka et à la sortie de la ville de Douaouda marine. Elle est sillonnée par la route nationale RN°11 en provenance d'Alger et en direction vers Chlef ; et relié à Koléa par le chemin de wilaya N°110 et à Bou-Ismail par le chemin de wilaya N°126.

La commune de Fouka s'étend sur une superficie de 1273 ha et se situe au Nord- Est de la ville de Tipaza. Elle est limitée :

- ✓ Au Nord : la mer Méditerranée ;
- ✓ Au Sud : la commune de Koléa ;
- ✓ A l'Est : la commune de Douaouda ;
- ✓ A l'Ouest : la commune de Bou Ismail ;

L'usine de dessalement s'étend sur une superficie de 4 hectares, et présente une longueur de 300 m et une largeur variant de 70-150 m (voire figure n°1).

Signalons aussi que l'oued Mazafran se situe à environ 4 km du côté Est du site de la station de dessalement.



Figure IV.01 : Photo de la station de Fouka. [20]

IV.3- Capacité de la station et le mode de fonctionnement :

Le mode de fonctionnement de la station de dessalement est l'Osмосe Inverse (OI), elle est composée de six (6) unités (OI) d'une capacité unitaire de 20 000 m³/jour chacune (Il n'y a pas d'unités en réserve).

La capacité de la station de traitement 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 24 h/jour soit 5 000 m³/heure. Il est possible de faire fonctionner l'usine afin de produire les gammes de débits journaliers suivantes :

Tableau IV.01 : Capacité de la station.

Nombre d'unité d'osmose inverse en service	Débit (m ³ /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 %

IV.4- Installation et processus :

Les différentes installations dans l'usine de dessalement de Fouka sont :

1. une prise d'eau de mer;
2. un poste de prétraitement;
3. l'unité d'osmose inverse;
4. un poste de nettoyage en place CIP (cleaning in place);
5. un poste de traitement et de re-minéralisation;
6. un laboratoire d'analyse;
7. une station de contrôle.



Figure IV.02 : les étapes de dessalement.

IV.5- Description détaillée de l'usine :

IV.5.1- La prise d'eau :

IV.5.1.1- Critères de conception des conduites de prise d'eau :

Les têtes des prises d'eau sont en béton armé. Elles reposent sur le fond marin stable et 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 sont prévus pour minimiser l'introduction de gros débris dans la prise d'eau. Ces barreaux sont montés sous la forme de grillages.

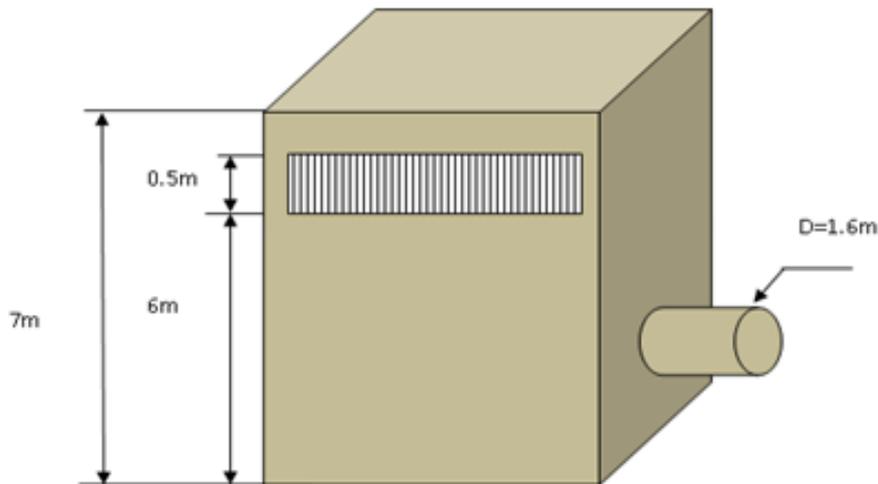


Figure IV.03 : Tour de captage. [17]

IV.5.1.2- Conception de la prise d'eau: [21]

Basées sur deux (2) prises (chacune des deux (2) conduites de prise est munie d'une tête indépendante), les dimensions de chacune seront les suivantes :

Débit d'eau brute instantané	11 404 m ³ /h
Débit par prise	5 702 m ³ /h
Vitesse d'entrée au débit moyen	0,1 m/s
Barreaux	20 mm espacés à 100 mm c/c
Facteur d'encombrement	80 %
Surface requise d'entrée	39,6 m ²
Longueur de grille	20.0 m
Hauteur de grille	2.0 m retenu

IV.5.1.3- Critères de conception Conduite de prise d'eau :

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

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

La conception des conduites d'amenée est aussi basée sur les principes suivants :

- 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 à environ 845 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 fixer 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, (Contrat EPC, Construction d'une usine de dessalement d'eau de mer de Fouka, 2005). [18]



Figure IV.04 : La conduite en PEHD. (Propre Photo)

IV.5.1.4- Station de pompage d'eau brute :

La station de pompage d'eau brute sert à relever les eaux jusqu'aux filtres à sable. Trois (3) dégrilleurs verticaux sont placés à l'entrée de la station pour la protection des pompes. Des vannes murales permettront l'isolation du puits de pompage pour l'entretien. Des vannes d'isolement sont également prévues de chaque côté des dégrilleurs pour isoler chacun d'eux pour entretien. Les pompes de type centrifuge verticales, sont soigneusement choisies pour résister à la forte agressivité de l'eau de mer.

La station de pompage est constituée de 7 pompes, 6 en service et une de réserve, d'une capacité de 1974 m³/h chacune (soit un total de 11 844 m³/h > 11 404 m³/h pour absorber le débit supplémentaire pendant la maturation des filtres à sable). [18]

IV.5.1.5- Critères de conception des dégrilleurs : [21]

Débit (m ³ /h)	11 404
Épaisseur des barreaux (mm)	10
Espacement entre les barreaux (mm)	50
Vitesse à travers les barreaux (m/s)	≈ 1,0
Section équivalente à travers les barreaux (%)	83%



Figure IV.05 : Le dégrilleurs et la station de pompage. (Propre Photo)

IV.5.2- Le prétraitement d'eau de mer :

Le dessalement par osmose inverse nécessite d'abord un prétraitement très poussé de l'eau de mer pour éviter le dépôt de matières en suspension sur les membranes qui conduirait très rapidement à une diminution des débits produits. Ces dernières sont également très sensibles au colmatage par matières colloïdales et les micro-organismes, raison pour laquelle le prétraitement doit garantir une eau dessalée compatible avec les exigences du fabricant des membranes. Ainsi l'eau de mer aspirée doit subir un prétraitement par préchloration, coagulation, acidification, etc...

IV.5.2.1- La pré-chloration :

La préchloration de l'eau de mer est assurée par l'un des produits suivants : le chlore gazeux ; l'hypochlorite de calcium où l'hypochlorite de sodium, ce dernier est utilisée comme traitement de choc de l'eau brute à l'entrée de la station, pour limiter la formation de biofilm dans les conduites de la prise d'eau et les filtres mais surtout pour contrôler le colmatage biologique (biofouling) des membranes.



Toutefois la plupart des membranes utilisées actuellement en OI ne tolèrent pas le chlore ; pour les protéger une solution de bisulfite de sodium est ajoutée.

IV.5.2.2- Coagulant et polymère :

Avec un débit 110 l/hr et une concentration entre 3 et 5 ppm, le chlorure Ferrique est ajouté à l'eau brute en amont des filtres pour agir en tant que coagulant et agglomérer les particules fines. Un polymère pourrait être injecté lorsque l'eau brute sera très turbide. [21]

IV.5.2.3- L'acide sulfurique :

L'injection d'acide sulfurique entre 21 et 50 ppm à l'entrée des filtres, avec un débit de 350 l/hr. [21]

a pour objectifs de :

- Ajuster le pH ;
- Garantir l'effet bactéricide du chlore ;
- Optimiser la performance du coagulant ;
- Eviter la précipitation de CaCO_3 à l'intérieur des membranes.



Figure IV.06 : Les prises des produits chimiques. (Propre Photo)

IV.5.2.3- Filtres bicouches gravitaires :

Au niveau de la filtration gravitaire on utilise des filtres bicouches qui fonctionnent à un niveau et débit constant et ils ont opté pour une installation des filtres bicouches.

Dans les filtres bicouches, la couche supérieure est faite d'un matériel épais et de faible densité (anthracite dans notre cas). C'est dans cette première couche que la majorité des particules est retenue. La couche inférieure inclut un matériel fin et plus épais, constituant un traitement d'affinage. [17]

Les caractéristiques des filtres ouverts sont :

- Nombre d'unités en service : 18
- Nombre d'unités en maturation ou lavage : 2
- Type de filtre : Filtre ouvert
- Largeur: 5 m
- Longueur: 15,5 m
- Hauteur de couche : 1 000 mm
- Surface de filtration: 77,5 m²
- Surface totale: 1 395 m²
- Temps de rétention sur couche pour coagulation: 15 min
- Volume requis : 159 m³
- Hauteur d'eau : 2,1 m

- Perte de charge minimale: 0,32 m
- Perte de charge maximale admise: 2 m

- Les Couches filtrantes : [21]

- **Anthracite**

- Hauteur de couche 400 mm
- Taille effective 1,5 mm
- Coefficient d'uniformité 1,3
- Volume par filtre 31 m³
- Volume total 620 m³
- Densité apparente 0,74
- Poids par filtre 23 t
- Poids total 459 t

- **Sable de silex**

- Hauteur de couche 600 mm
- Taille effective 0,66 mm
- Coefficient d'uniformité 1,57
- Volume par filtre 47 m³
- Volume total 930 m³
- Densité apparente 1,50
- Poids par filtre 70 t
- Poids total 1 395 t

- **Gravier (ou membrane filtrante)**

- Hauteur de couche 100 mm
- Taille effective 2 mm
- Coefficient d'uniformité 1,45
- Volume de sable par filtre 8 m³
- Volume total 155 m³
- Poids de sable par filtre 12 t
- Poids total 233 t

Sachant que les crépines sont remplacées par des faux fonds en plastique renforcé et les bassins de filtration ont été couverts avec des dalles en plastique afin d'éviter le développement des algues.



Figure IV.07 : Les filtres gravitaires. (Propre Photo)

IV.5.2.4- Lavage des filtres :

Le lavage des filtres se fait automatiquement à l'air et à l'eau, pour le lavage des filtres, un réservoir de saumure de 750 m³ est prévu. Ce réservoir a une capacité suffisante pour réaliser un lavage de filtres.

Le lavage des filtres se fait avec de la saumure. Le remplissage du réservoir de saumure se fait grâce à une conduite d'un diamètre de 1 000 mm en GRP provenant du rejet des unités d'osmose.

Le lavage des filtres avec saumure est recommandé pour les raisons suivantes :

- La saumure est un sous-produit qui, dans ce cas, est réutilisée.
- Le lavage avec saumure permet une diminution des besoins en eau filtrée et donc une économie énergétique dans le pompage d'eau de mer.
- Le lavage avec saumure permet un choc osmotique aidant au contrôle de la croissance bactérienne.

La nouveauté dans cette station c'est que dans le système de lavage, les crépines ont été remplacées par des faux fonds en plastique renforcé.

✓ Fréquence de lavage des filtres

- La fréquence de lavage des filtres est en fonction des matières en suspension (MES) contenues dans l'eau brute.
- Les filtres sont conçus en fonction d'une charge massique de 2 kg/m².

- Pour une turbidité de 1,5 NTU (MES = 7,5 mg/l), le lavage s'effectue également aux 24 heures.
- En fonction de MES de l'ordre de 10 à 20 mg/l, les lavages s'effectueront respectivement aux 18 et 10 heures.

Le réservoir d'eau filtrée 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, [17].

IV.5.2.5- Filtres à cartouches (microfiltre):

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.

Le colmatage des cartouches est contrôlé par :

1. La diminution de débit à la sortie.
2. L'augmentation de la pression.
3. Le changement de la couleur des cartouches (du blanc vers le marron).
4. La mesure du SDI en amont et en aval du microfiltre.

Dans ce cas la cartouche du filtre doit être remplacée. La fréquence de remplacement est estimée à environ 4 fois l'an.

Les caractéristiques des filtres à cartouches sont les suivantes :

➤ Nombre de vaisseaux	9 + 1R
➤ Nombre de filtres par vaisseau	360
➤ Nombre total de filtres	3 600
➤ Débit total maximum	11 412 m ³ /h
➤ Débit par vaisseau	1 268 m ³ /h
➤ Salinité	38 000 mg/l
➤ Densité d'eau	1 030 kg/m ³
➤ Température de l'eau	15 – 27 °C
➤ Solides totaux en suspension	< 4 mg/l
➤ Niveau de filtration	5 µm -1µm Nominal
➤ Pression à l'entrée	4 bars

- Perte de charge
 - Minimum 0,5 bar
 - Moyen 1,0 bar
 - Maximum 1,5 bars
- Filtre
 - Diamètre du filtre 1 700 mm
 - Longitude cylindrique 2 000 mm
 - Pression de design 7 bars
 - Composition des filtres Ebonited Carbon Steel
 - Débit par vaisseau 1 268 m³/h
- Cartouches
 - Type Double open ended
 - Longueur unitaire des cartouches 1 500 mm (6 cartouches)
 - Diamètre par cartouche 63 mm
 - Débit par cartouche 3,52 m³/h – 58,7 l/min
 - Débit max. autorisé par cartouche 100 l/min
 - Débit par 10" de cartouche 587 l/h
 - Débit recommandé par 10" de cartouche 600 l/h/10"
 - Composition des cartouches Polypropylène



Figure IV.08 : L'unité des filtres à cartouches. (Propre Photo)

Les paramètres suivants sont mesurés une dernière fois avant l'arrivée de l'eau aux membranes :

- Turbidité
- pH avec alarme de bas et haute niveaux
- Température avec alarme de bas et haute niveaux
- Potentiel redox avec alarme de bas et haute niveaux
- Chlore libre résiduel avec alarme de bas et haute niveaux
- Indice d'encrassement (SDI) (mesures manuelles périodiques)

IV.5.2.6- Le métabisulfite de sodium où Bisulfite sodium :

Compte tenu de la grande sensibilité au chlore, des membranes en polyamide, utilisées dans la station, il est indispensable d'assurer une déchloration de l'eau de mer avant son entrée dans les modules. Pour éliminer le chlore résiduel, le bisulfite de sodium d'une concentration entre 4 et 10 ppm, est injecté à un débit de 200 l/hr.



IV.5.3- Le traitement :

IV.5.3.1- Filières d'osmose inverse :

Après le prétraitement, l'eau est pompée avec des pompes haute pression jusqu'aux modules d'osmose inverse. Six (6) filières d'osmose sont installées (voir figure n°9). Les filières d'osmose sont raccordées à un collecteur commun alimenté par les six (6) pompes haute pression.

Les paramètres de conception adoptés pour les unités d'osmose inverse sont résumés ici :

➤ Nombre de racks en opération	6	
➤ Nombre de racks en stand-by	0	
➤ Taux de conversion	≈ 45 %	Total
➤ Production par racks	842 m ³ /h	121 284 m ³ /jour
➤ Débit d'alimentation par racks	1 870 m ³ /h	269 280 m ³ /jour
➤ Débit de rejet	1 029 m ³ /h	148 133 m ³ /jour
➤ Fluide	Eau de mer	

➤ Salinité	38 000 mg/l
➤ Nombre total de membranes	9 072
➤ Espace libre	10 %
➤ Caractéristiques des membranes :	
▪ Configuration	Spiralée
▪ Matériel	Polyamide
▪ Matériel du tube	Fibre de verre et époxy
▪ Dimensions	D=20cm, longueur=100cm
▪ Pression maximale	70 bar
▪ pH d'opération	2 – 11
▪ Température maximale d'opération	45°
▪ Débit nominal	27,7 m ³ /jour
▪ Réjection de sel	99,6 %
▪ Variation de débit admissible	± 10 %



Figure IV.09 : Unité d'osmose inverse. (Propre Photo)

IV.5.3.2- Configuration du système d'osmose inverse et taux de récupération :

La station d'osmose inverse nécessite seulement une (1) passe afin d'atteindre le taux de solides dissous requis. Le taux de récupération est estimé à 45 %.

La station d'osmose est dotée des équipements suivants :

- Six (6) pompes hautes pression, six (6) dispositifs de récupération d'énergie et six (6) pompes *Booster*.
- Six (6) trains d'osmose inverse 1^{ère} passe;
- Un système de nettoyage et de *flushing*.

Dans les conditions nominales du fonctionnement, la production est assurée par les six (6) filières.

IV.5.3.3- Dimensionnement des pompes hautes pression :

Les pompes HP sont dimensionnées de façon à pouvoir fournir une pression de 67 bars requises par les membranes à 15 °C et pour une salinité de 38 000mg/l. [21]

Pompe à haute pression

✓ Nombre d'unités en opération	6
✓ Nombre d'unités en réserve	0
✓ Variateur de vitesse	NON
➤ Fluide	Eau de mer
➤ Densité	1 030 kg/m ³
➤ Débit de perméat	842 m ³ /h
➤ Perte de <i>leakage</i>	19 m ³ /h
➤ Débit de pompe	860 m ³ /h
➤ Puissance du moteur adoptée	2000 kW

IV.5.3.4- Système de récupération d'énergie :

La récupération d'énergie de saumure produite pendant le procédé d'osmose se fait grâce à des échangeurs de pression.

Système de récupération d'énergie

- ✓ Nombre d'unités en service 6
- ✓ Nombre d'unités en *stand-by* 0



Figure IV.10 : Système de récupération d'énergie. (Propre Photo)

IV.5.3.5- Procédure d'arrêt des filières (rinçage) :

La procédure suivante sera suivie pour arrêter une filière.

✓ **Inversion**

Aussitôt qu'une des filières d'osmose inverse s'arrête, le phénomène naturel d'osmose prend sa place. Ceci signifie que l'écoulement à travers les membranes est inversé et que l'eau traitée migre du côté du perméat vers le côté du concentrât.

Si le volume d'eau nécessaire à cette opération n'est pas disponible, les membranes pourraient être alors asséchées et endommagées.

Pour éviter le phénomène, il faudra évacuer les volumes de saumure à l'intérieur des tubes du système de *flushing* et de lavage.

✓ **Rinçage (*flushing*)**

Pour minimiser la corrosion des équipements (pompes, vannes, tuyaux) exposés à de l'eau salée stagnante et pour éviter les risques d'écrasement des membranes en présence de saumure stagnante, la saumure doit être évacuée des filières lorsqu'elles sont à l'arrêt. Ceci est réalisé par le système de *flushing* et de lavage. Du perméat est pompé des réservoirs de *flushing* jusqu'à la filière d'osmose inverse.

✓ **Arrêt prolongé**

Pour des arrêts prolongés qui excèdent 2 à 3 semaines, il est recommandé de conditionner les membranes d'osmose inverse en les remplissant d'un biocide afin d'éviter la contamination et l'encrassement biologique.

✓ Procédure de lavage des unités de RO

Avec le temps, l'encrassement des membranes réduira le débit à travers celles-ci. Cet encrassement peut être causé par la présence de matière colloïdale, précipitation de fer, croissance biologique, etc.

Afin de bien contrôler cette situation et redonner les propriétés perdues aux membranes, elles doivent être nettoyées selon une cédule déterminée.

Peu importe la qualité de l'eau après prétraitement, un nettoyage périodique des membranes est requis pour redonner la performance maximale aux membranes. Le tableau suivant résume les différents types d'encrassement et leur effet sur la performance de l'unité d'osmose inverse.

Tableau IV.02: Causes et conséquences de différents types d'encrassement. [17]

Types et conséquences de l'encrassement sur la performance de l'usine			
Type d'encrassement	Débit	Passage des sels	Chute de pression
CaCO ₃ autres sels	Faible baisse (< 10 %)	Augmentation de 10 à 25 %	Augmentation lente à modérée 10 à 40 %
Oxydes de métaux et silicates d'hydroxydes	Baisse rapide < 24 h Importante 20 à 40 %	Augmentation rapide < 24 h et importante : 2 fois Limite : < 15 %	Augmentation rapide < 24 h Importante : 2*DP ₀ Limite : < 1,5 bars
Colloïdes organiques et inorganiques	Baisse lente : semaines Très importante 50 %	Augmentation lente jours Importante 2 fois Limite : < 15 %	Augmentation lente jours/semaines Très importante 2 à 4 fois Limite : < 1,5 bars
Bio encrassement	Baisse rapide et très importante : 50 %	Variable	Augmentation rapide : < 24 h Importante : 2*DP ₀ Limite : < 1,5 bars

Il n'est pas possible de déterminer, à priori, le type ou la fréquence de l'encrassement.

Trois (3) types de nettoyage sont généralement réalisés :

- nettoyage à l'acide à cause de l'encrassement avec des sels et des métaux;
- nettoyage aux détergents dans le cas d'encrassement par colloïdes et matières biologiques;
- nettoyage aux biocides dans le cas d'encrassement par bactéries, par levures ou par fungus.

De façon générale, il est recommandé d'effectuer un nettoyage préventif. Un nettoyage doit être entrepris lorsque :

- le débit du perméat a baissé de 10 à 15 % sous le débit nominal à pression normale;
- la pression différentielle entre la pression d'entrée et du concentrât augmente de 30 %;
- le passage de sels augmente de 10 à 15 %.

Les rejets résultant du nettoyage des membranes sont dirigés vers le réservoir de traitement des effluents pour neutralisation avant rejet. [21]

IV.5.4- Le post-traitement (la reminéralisation) :

Le post-traitement est conçu pour rendre le perméat des unités d'osmose (une eau relativement agressive de faible salinité, de très faible dureté et d'alcalinité) moins agressif et plus approprié à la distribution dans le réseau municipal.

Le perméat d'osmose est traité (post-traitement) avant d'être distribué aux consommateurs. 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 goût 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, [22].

- ✓ Le système de reminéralisation se fait avec la chaux (CaOH_2) et le CO_2 .
- ✓ Une désinfection est réalisée avant distribution, un chlore résiduel de 0,5 mg/l est prévu au point de livraison.



Figure IV.11 : Silos de la chaux. (Propre Photo)



Figure IV.12 : CO₂ fabriqué sur site. (Propre Photo)

IV.5.5- Station de pompage d'eau traitée :

- le système de stockage d'eau est constitué d'un bac de stockage d'une capacité de 3 600 m³ en béton armé.
- La station de pompage d'eau traitée permet de refouler l'eau commerciale jusqu'au point de livraison.
- Les six pompes (6 +1R) de la station de pompage fonctionnent avec un débit fixe et/ou variable afin de garantir les fluctuations de débit et de pression.



Figure IV-13 : Station de pompage d'eau traitée. (Propre Photo)

Le tableau suivant résume les caractéristiques des pompes.

Tableau IV.03: Résumé des caractéristiques des pompes, [22]

Description	Ligne 1
Nombre de pompes	6 + 1
Débit des pompes (m ³ /h)	833,3
Pression des pompes (bars)	24
Puissance électrique moteur (kW)	750 kW

IV.5.6- Laboratoire :

Les équipements de laboratoire permettent la mesure des paramètres suivants :

- Calcium, Magnesium, Sodium, Potassium, Ammonium, Barium, Strontium, Aluminium, Fer et Manganèse;
- chlorures, sulfates, phosphate, nitrates, bicarbonate, carbonate, fluor, silice, bore et CO₂ libre;
- fer total en ions et mg équivalent;
- pH;
- dureté totale, dureté calcique;

- alcalinité
- solides totaux dissous;
- coliformes totaux, coliformes fécaux, streptocoques;
- conductivité;
- indice de Langelier;
- index *Stiff Davis*;
- SDI (automatique et manuel);
- Turbidité.

IV.5.7- Salle de contrôle :

La salle de contrôle est munie de deux ordinateurs. L'opération de l'usine est suivie via un système SCADA installé dans les ordinateurs. L'opérateur a accès aux données d'opération telles que: l'état des équipements (ON-OFF-FAILURE) et des valeurs analogiques des différent éléments de l'usine. L'opérateur aura la possibilité de fonctionner/arrêter les pompes via les ordinateurs, [22].

IV.6- Conclusion :

Dans ce chapitre on a détaillé le fonctionnement normale de la station de dessalement d'eau de mer de Fouka afin faire un diagnostic des différentes étapes : prétraitement, unité d'osmose inverse, et poste traitement et relever tous les dysfonctionnements et en fin proposer des solutions pour pallier à ces problèmes.

V.1- Introduction :

Dans ce chapitre on va étudier la performance de la station de dessalement d'eau de mer de Fouka et pour cela on doit faire un diagnostic des différentes étapes : prétraitement, unité d'osmose inverse, et poste traitement pour relever tous les dysfonctionnements, et on a pris aussi des prélèvements et analyser les échantillons : d'eau brute, d'eau douce produite et de saumure afin de s'assurer du bon fonctionnement des différentes phases de traitement. Enfin on va exploiter les résultats des analyses pour mettre en évidence l'impact de la saumure et des autres rejets sur l'écosystème marin et proposer des solutions pour pallier à ces problèmes.

V.2- Diagnostique des ouvrages de la station :

Pour conserver l'efficacité et la durée de vie d'une installation d'osmose inverse, un prétraitement est nécessaire. Les coûts de nettoyage et les temps d'arrêt sont des paramètres à prendre en compte dans la mise en œuvre des installations de dessalement. Pour réaliser un traitement fiable et ininterrompu de l'eau de mer alimentant les installations de dessalement, une approche particulière doit être utilisée et qui dépend beaucoup de la qualité de l'eau à traiter (l'origine, composition, etc...). Pour cela on va faire un diagnostic complet de la station suivant la chaîne de production d'eau afin de relever tous les problèmes rencontrés, les identifier et proposer des solutions à ces problèmes pour augmenter de durée de vie de l'installation.

V.2.1- La suppression de la chloration :

La station de dessalement d'eau de mer de Fouka n'utilise le chlore qu'une à deux fois par an comme un traitement de choc. Or, selon les instructions d'exploitation de l'usine, la préchloration doit se faire deux fois par jour avec une dose de 10ppm et un temps de contact de 30 minutes. Donc il y a presque une suppression de la chloration du prétraitement.

V.2.1-1 Le rôle du chlore :

D'une manière générale, le chlore est l'un des désinfectants les plus utilisés pour la désinfection de l'eau. Il peut être appliqué pour la désactivation de la plupart des organismes et micro-organismes vivants. Dans les processus industriels qui utilisent de l'eau de mer, le chlore (sous la forme d'hypochlorite) est injecté dans les circuits, afin de limiter la prolifération de ces organismes et micro-organismes.

V.2.2.2- Les inconvénients de la suppression de la pré-chloration:

La Préchloration peut avoir plusieurs objectifs :

- l'élimination de la couleur, des odeurs et du goût ;
- l'élimination du fer et du manganèse en les transformant en hydroxydes insolubles ;

- L'oxydation des matières organiques dissoutes;
- Amélioration de la qualité microbiologique ;
- contrôle de la prolifération des algues,

La suppression du chlore à l'entrée de la station peut avoir comme conséquences :

- La formation de biofilm à la surface du filtre à sable car c'est le premier ouvrage qui reçoit l'eau de mer, qui contient divers micro-organismes, bactéries, protozoaires qui contribuent à la formation de ce biofilm en cas d'absence de la chloration.

- Le colmatage biologique dans les membranes ;

- La prolifération des algues qui va affecter la qualité de l'eau ;

- La chloration systématique de l'eau est un des procédés les plus utilisés pour protéger les circuits de l'usine des fixations de moules et d'autres encrassements d'origine biologique (FIQUET, 1977). Dans le cas où il n'y a pas la chloration, les différents ouvrages vont être colmatés par les moules ce qui diminue les diamètres des conduites de prise d'eau et augmente les pertes de charge, ce qui influe sur la quantité d'eau.

Cette chute de performance quantitative et qualitative va influencer sur toute l'usine et elle peut conduire à la fermeture de la station s'il aura un risque pour les membranes.

Les études sur la chloration de l'eau de mer ont montré que celle-ci ne pouvait être assimilée à celle des eaux douces. La différence provient de la présence de bromures dans l'eau de mer (65 mg/l pour une salinité de 35 mg/l) qui sont rapidement oxydés lors de la chloration en brome libre.

V.2.2- La suppression d'un bassin de coagulation-floculation :

Les eaux de mer brutes peuvent connaître une forte variation de leur composition (matière organique, algues) en fonction de paramètres géographiques, saisonniers (température, luminosité), ou encore de la pollution locale (par exemple, aux hydrocarbures). Afin de limiter la vitesse d'encrassement et le colmatage des membranes d'osmose inverse, la chaîne de prétraitement doit être renforcée par des ouvrages de clarification (coagulation-floculation-Décantation).

Dans la station d'eau de mer de Fouka on a opté pour une filtration de contact, ce qui peut influencer négativement sur la performance de la station.

V.2.2.1- Le rôle d'un bassin de coagulation-floculation :

La coagulation et la floculation sont des traitements qui visent à optimiser l'élimination des particules en suspension par les procédés de décantation et de filtration. Ces traitements favorisent l'agrégation des particules colloïdales en larges et denses agrégats. Ils se déroulent en deux étapes principales à savoir la déstabilisation des particules et la collision

des particules déstabilisées pour former des agrégats volumineux. La déstabilisation et l'agrégation sont des phénomènes physicochimiques. La séparation par décantation et filtration mettent en jeu des phénomènes essentiellement physiques.

V.2.2.2- Les inconvénients de la suppression d'un bassin de coagulation-floculation :

Dans la station de dessalement ils font injection du coagulant et du floculant lors de la prise d'eau c'est-à-dire à partir de la crépine des conduites de prise, ce qui implique qu'il n'y a pas vraiment un calcul de temps de contact des produits chimiques avec l'eau de mer car l'eau pompée arrive directement au filtre à sable sans passer par un bassin de coagulation et de floculation ce qui influe négativement sur la qualité des floques formées donc sur la qualité d'eau filtrée car si l'étape de coagulation, floculation n'était pas optimale, il aura des particules qui vont s'échapper même au filtre à sable et qui vont atteindre le filtre à cartouche et le colmater rapidement, et dans le cas d'une forte turbidité il aura un risque d'abord sur le filtre à sable qui va se colmater car il reçoit directement toutes les impuretés d'eau de mer sans aucun ouvrage en amont pour le protéger et dans ce cas on peut aller jusqu'à l'arrêt de la station pour protéger les ouvrages de l'installation.

V.2.3- La suppression d'ouvrage de décantation :

La décantation est une technique de séparation des matières en suspension et des colloïdes rassemblés en floc, après l'étape de coagulation-floculation. [14]

V.2.3.1- Le Principe de la décantation:

Lors de la décantation, les particules, dont la densité est supérieure à l'eau, vont avoir tendance à s'accumuler au fond du décanteur sous l'effet de la pesanteur. Les particules seront éliminées du fond du bassin périodiquement. L'eau clarifiée se situant à la surface du décanteur est ensuite redirigée vers le filtre à sable.

V.2.3.2- Les inconvénients de la suppression du décanteur :

Le bassin de décantation permet de réduire la turbidité d'eau de mer par l'élimination des flocs ainsi formés par l'étape de coagulation, floculation.

En absence du décanteur les flocs formés vont atteindre le filtre à sable ce qui favorise son colmatage et réduit ses performances.

Le renforcement du prétraitement est indispensable puisque la qualité d'eau de mer est variable et la turbidité peut atteindre des valeurs très importantes ; comme ça était le cas en Mai 2012 où la forte turbidité d'eau de mer a eu des conséquences néfastes sur les membranes et sur les performances de la station, d'une manière générale. Ce qui a conduit à l'arrêt total de la station.

V.2.3- Les problèmes rencontrés dans la station:

On rencontre plusieurs problèmes dans le dessalement de l'eau de mer, les problèmes rencontrés au sein de la station de mer de Fouka sont:

V.2.3.1- La corrosion :

La corrosion est la dégradation d'une substance, en particulier un métal ou un alliage, provoquée par l'action chimique d'un liquide ou d'un gaz sur la substance. Le terme corrosion s'applique plus particulièrement à l'action graduelle d'agents naturels, tels que l'air ou l'eau salée sur les métaux. [15]

Au niveau de la station de Fouka on observe la corrosion dans le système d'injection des produits chimiques dans la prise d'eau, dans l'anti-bélier, dans les tuyaux d'eau filtrée et de rétro lavage des filtres, dans l'unité d'osmose inverse et dans les silos de stockage des produits chimiques, les premières causes de la corrosion sont les fuites et le climat humide de la région, seul les armoires électriques échappent à ce problème car ce sont des installations sensibles, qui se trouve dans des chambre isolées avec un système qui garde une température constante sur toute l'année ce qui est impossible de faire avec tous les ouvrages de la station.

Les principales conséquences de la corrosion sont :

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



Figure V.01 : Quelques signes de corrosion au sein de la station. [Propre Photo]

V.2.3.2- Le colmatage des membranes d'osmose inverse:

Le colmatage est généralement le problème majeur des installations membranaires. En effet, il entraîne une perte des performances des membranes due au dépôt de substances à la surface, à l'entrée ou à l'intérieur des pores, un très large spectre d'espèces peut contribuer au colmatage, comme des macromolécules organiques, des substances organiques et inorganiques dissoutes, des particules colloïdales, des particules en suspension et des microorganismes. [13]

Les dépôts qui sont à l'origine du colmatage (fouling) des surfaces d'échange peuvent être classés en trois catégories :

- les dépôts minéraux qui correspondent au phénomène d'entartrage.
- les dépôts organiques (colmatage microbiologique) tels que les matières en suspension, les acides humiques, les micro-organismes ainsi que les produits excrétés par les micro-organismes (polysaccharides).
- les dépôts colloïdaux (colmatage abiotique) tels que la silice et les hydroxydes de fer, de manganèse d'aluminium...

En général, un dépôt est constitué par un mélange de ces différents types auxquels il faut rajouter les produits de corrosion, ainsi que les précipités résultants des réactifs ajoutés (antitartres, floculant)...etc. Selon la possibilité d'enlèvement de ce dépôt on considère deux types de colmatage : le colmatage réversible et irréversible.

La partie du colmatage qui peut être enlevée par lavage est appelée « colmatage réversible ». Le colmatage qui correspond à la perte « définitive » d'une partie de la perméabilité est généralement appelé « colmatage irréversible ». A priori, ce type de colmatage est essentiellement dû à une forte adsorption de substances qui ont une grande affinité pour la membrane. À noter que le caractère réversible du colmatage est très relatif aux moyens qui sont mis en œuvre pour laver les membranes (le nettoyage des membranes).

V.2.3.2.1- L'entartrage :

L'entartrage est un dépôt de sels minéraux qui a tendance à se former sur les surfaces d'échanges. A cause des ions présents dans les eaux salines (calcium, magnésium, bicarbonates et sulfate). Ces dépôts sont constitués principalement par du carbonate de calcium (CaCO_3) ; de l'hydroxyde de magnésium ($\text{Mg}(\text{OH})_2$) et de sulfate de calcium (CaSO_4)....etc. Par la diversité de leurs origines, les dépôts de tartre ont des conséquences considérables sur le fonctionnement des installations de dessalement : [13]

- Réduction de la section de passage ;
- Dégradation des états de surface ;

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

V.2.3.2.2- Le colmatage abiotique et microbiologique :

Il existe deux principales catégories de colmatage : le colmatage microbiologique et le colmatage abiotique. Dans le cas d'un colmatage microbiologique, des microorganismes peuvent s'attacher, croître à la surface des membranes et produire suffisamment de substances polymériques extracellulaires pour faciliter le développement d'un biofilm à la surface des membranes. En plus des microorganismes il y a de nombreux éléments colmatant présents dans les eaux naturelles telles que les particules, les colloïdes, les substances organiques dissoutes et les substances inorganiques peu solubles. Ces agents colmatant sont associés au colmatage abiotique qui peut se manifester de deux façons : par le dépôt de matière à l'intérieur des pores de la membrane et par le dépôt de matière à sa surface. [17]

-Les conséquences du colmatage :

Le colmatage des membranes de dessalement dans ces deux formes microbiologique et abiotique génère plusieurs modifications du fonctionnement du système :

- Le colmatage perturbe l'écoulement le long de la membrane de dessalement, engendre une augmentation de la couche de polarisation à la surface de la membrane. Cette couche de polarisation, zone où les composés retenus par la membrane s'accumulent, engendre une augmentation de la concentration et donc de la pression osmotique à la surface de la membrane et engendre donc une diminution de la pression efficace à la filtration, d'où une baisse de la production. L'augmentation de la couche de polarisation engendre aussi des concentrations en sels plus importantes au voisinage de la membrane de dessalement, et donc une augmentation du risque de précipitation des sels présents en sursaturation. Cela engendre soit une précipitation de sels, donc un colmatage plus rapide des membranes de dessalement, soit une surconsommation de réactifs mis en œuvre pour éviter ou bien retarder cette précipitation.
- Le colmatage engendre aussi une augmentation de la perte de charge entre l'alimentation et le rejet de concentrât, perte de charge qui entraîne une diminution de la pression disponible pour la filtration, d'où une perte de production à pression constante. Au-delà d'une certaine valeur de perte de charge, la résistance des matériaux constitutifs de l'élément membranaire étant dépassée, il peut y avoir des dommages mécaniques irréversibles de l'élément membranaire. [14]

Dans le cas de la station de dessalement d'eau de mer de Fouka le colmatage des membranes en mois de Mai 2015 entraine la séparation entre les membranes dans un même tube de pression ce qui est engendré par l'augmentation de la salinité d'eau produit. Ce problème induit a un arrêt d'une unité d'osmose inverse pendant une semaine pour le nettoyage et la réparation de ces fuites interne dans l'unité.

-Facteurs influençant le colmatage des membranes :

Il est important de bien connaître les facteurs influençant le colmatage afin de développer des stratégies visant à minimiser ce phénomène et ainsi réduire les coûts d'opération et augmenter la durée de vie des membranes. Ces facteurs sont :

-les caractéristiques de la membrane.

-les conditions d'opération du procédé membranaire : Ces conditions sont la vitesse de pénétration, le taux de récupération global, la vitesse d'écoulement tangentielle et la pression d'opération.

-les caractéristiques de l'eau à traiter : le colmatage est aussi dépendant de la nature de l'eau à traiter et de la concentration de ses principaux constituants. En général, plus une eau est chargée en particules et plus elle aura tendance à colmater les membranes.

Le pouvoir colmatant des particules en suspension d'une eau s'exprime en « Silt Density Index » (SDI).

V.2.3.3- Problèmes dans le système de fabrication de CO₂ :

L'eau déminéralisée est une eau agressive qui doit être reminéralisée pour satisfaire aux critères de potabilité, A cette fin, l'usine est équipée d'un système de reminéralisations qui comprend une injection de CO₂ (gaz carbonique) produit in-situ à partir de gaz naturel. Le système de production le CO₂ consiste à bruler le gaz et de joué sur l'état de ce gaz, premièrement il va passer dans un dispositif pour éliminer toutes les impuretés après dans un autre dispositif pour passer de l'état gazeux a l'état liquide et évacuer toute la vapeur d'eau après dans un autre diapositif qui va le transformer en liquide dense (forme de neige), dans le dernier dispositif et à cause de la différence de température à l'intérieur du bâtiment il y a une fuite d'eau utilisée pour le refroidissement et les tuyaux de ce dispositif son congelé (couvert d'une couche épaisse de CO₂ en forme de neige car ce dernier se transforme en glace dès qu'il rencontre l'air) ce qui influence sur la performance du système et augmente la probabilité d'endommagement des tuyaux et par la suite l'arrêt du système.



Figure V.02 : La congélation des tuyaux [Propre Photo]



Figure V.03: Fuite dans le système de Production de CO2 [Propre Photo]

V.2.3.4- Problème du système d'eau de service :

Le système d'eau de service permet de ramener l'eau potable pour le mélange des produits chimiques (la chaux, l'hypochlorite de sodium, le bisulfite de sodium ...etc.), la conduite qui doit ramener l'eau se situe à une profondeur de 1,5m ce qui provoque un problème de localisation de fuite et de réparation, et à cause de l'importance de ces produits dans le fonctionnement de la station : dans le prétraitement, l'osmose inverse et dans la désinfection d'eau potable, ils ont changé la profondeur de la conduite presque sur sol pour faciliter la recherche et la réparation en cas de fuite.



Figure V.04 : La nouvelle conduite d'eau de service. [Propre Photo]

V.2.3.5- Problèmes des rejets de la station :

Tous les rejets de la station sont évacués vers un réservoir d'effluent, où on effectue l'ajustement du PH afin qu'il soit compatible avec l'eau de mer mais même avec l'ajustement du PH, la salinité et la composition chimique de l'effluent qui regroupe tous les rejets et les produits chimiques utilisés représentent un danger pour l'environnement marin de la région de Fouka.



Figure V.05 : Le réservoir de traitement des effluents. [Propre Photo]

V.3- Etude de performance de la station de dessalement d'eau de mer de Fouka :

Pour pouvoir étudier la performance de l'importe quelle étape il faut faire une comparaison entre les analyse d'eau à l'entrée du l'ouvrage et à la sortie en comparant à chaque fois les valeurs mesuré à la norme donné par l'organisation mondial de la santé (OMS).

Les résultats des analyses suivis au cours du dessalement de l'eau de mer s'étend sur une durée de 3 mois, ils sont effectués au niveau de laboratoire de la station de dessalement d'eau de mer de Fouka.

V.3.1- Définition des paramètres de qualité :

Avant de commencer l'étude on va définir chaque paramètre des paramètres utilisé dans les analyses d'eau.

-La température :

La température joue un rôle très important dans le traitement des eaux. Sa variation peut affecter les caractéristiques physico-chimiques de l'eau.

-Le PH:

Le pH correspond à la concentration d'ions hydrogène. Il mesure l'acidité ou la basicité d'une eau. Le pH interfère avec d'autres paramètres de la qualité dans les complexes

réactions chimiques : dureté, alcalinité, turbidité, conductivité c'est pour ça c'est un paramètre très important donnant une idée sur l'équilibre de l'eau ainsi que sur la qualité de l'eau produite, il doit être étroitement surveillé aux cours de toute opération de dessalement.

-La conductivité:

Elle mesure la capacité de l'eau à conduire le courant électrique. La conductivité permet d'apprécier le degré de minéralisation de l'eau dans la mesure où la plupart des matières dissoutes dans l'eau se trouvent sous forme d'ions chargés électriquement. La conductivité varie proportionnellement avec les fluctuations de la température, elle s'exprime en Us/cm.

-Le TDS:

Les solides dans l'eau se trouvent soit en solution ou en suspension, et se distinguent par le passage de l'échantillon de l'eau à travers un filtre de fibres de verre. Par définition, les matières en suspension sont retenues sur le dessus du filtre, et les solides dissous passent à travers le filtre avec de l'eau. Lorsque la partie filtrée de l'échantillon d'eau est placée dans une coupelle, puis évaporé, les solides dissous dans l'eau restent comme résidu dans la capsule d'évaporation. Cette matière est appelée matières totales dissoutes ou TDS.

-La turbidité :

La turbidité donne une idée sur la teneur en matière colloïdale d'origine organique ou minérale, liée à la transparence. Elle s'exprime en Nephometric Turbidity Unit, (NTU).

-Ion Calcium (Ca^{2+}):

Le calcium est un élément principal dans le squelette (99%). Le calcium, élément essentiel de la dureté de l'eau, est un métal alcalino-terreux extrêmement répandu dans la nature et en particulier dans les roches calcaires sous forme de carbonates. Ses sels se rencontrent dans presque toutes les eaux naturelles.

-Standard Density Index (SDI):

C'est le pouvoir colmatant d'un liquide ou indice de colmatage, plus connu sous son abréviation de SDI, est considéré comme l'indicateur le plus classique dans le domaine de la filtration membranaire.

- Le titre hydrotimétrique (TH):

Il mesure la concentration en ions alcalino-terreux, le calcium et magnésium essentiellement, le titre hydrotimétrique de l'eau permet de quantifier une notion qualitative : la dureté de l'eau.

- Le titre alcalimétrique complet (TAC):

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

-Indice de Langelier de saturation (LSI)

La méthode la plus simple pour le calcul de l'agressivité de l'eau est la « méthode de Langelier ». Il a établi un indice, appelé « **indice de saturation** ou **indice de Langelier** ». L'eau est agressive si cet indice est négatif, elle est calcifiante si l'indice est positif et elle est à l'équilibre calcocarbonique si l'indice de saturation est nul.

V.3.2- Etude des performances du prétraitement:

Dans cette étape on va comparer les analyses d'eau brute et l'eau à la sortie des micros filtres, pour étudier les performances du prétraitement.

V.3.2.1- La température :

Tableau V.01 : La température d'eau brute et d'eau filtrée.

Mois	Semaine	Température (C°)		
		Eau brute	Entrée osmose inverse	La Norme
Janvier	S1	16,96	21,1	25
	S2	16,5	21,4	25
	S3	16,17	21,7	25
	S4	15,57	19,5	25
Février	S5	15,83	19,1	25
	S6	15,91	18,3	25
	S7	16,16	17,7	25
	S8	15,3	19,4	25
Mars	S9	15,81	19,3	25
	S10	15,49	19,4	25
	S11	15,7	19,3	25
	S12	15,4	19,7	25

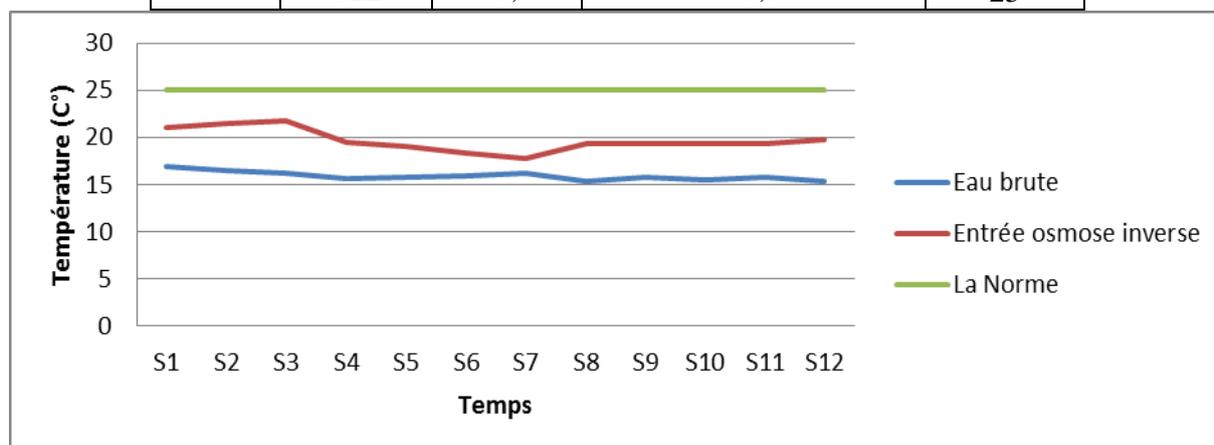


Figure V.06 : L'évolution de la température d'eau brute et d'eau filtrée.

A partir des résultats on note une légère variation des températures des échantillons d'eau de mer au cours de prétraitement, on remarque que la température l'eau d'entrée osmose inverse est un peu plus élevé par rapport à la température d'eau brute ce qui est expliqué par l'agitation des particules d'eau au cours du processus de prétraitement, mais cette variation (augmentation) reste conforme à la norme de l'OMS qui préconise une valeur inférieure à 25C°.

Ainsi, la température de l'eau brute (eau de mer) présente une variation allant de 15,30 C° à 17,50 C°, et l'eau à l'entrée de l'osmose inverse à une température qui varie entre 17,70C° et 21,70C°.

L'eau brute à une température variable selon la saison, selon ces variations, sont une conséquence directe du changement climatique. [15]

V.3.2.2- Le PH:

Tableau V.02 : Le PH d'eau brute et d'eau filtré.

Mois	Semaine	pH		
		Eau brute	Entrée osmose inverse	La Norme
Janvier	S1	8,1	8,09	8,5
	S2	8,05	8,04	8,5
	S3	8,07	7,98	8,5
	S4	8,17	8,1	8,5
Février	S5	8,11	8,05	8,5
	S6	7,87	8,15	8,5
	S7	8,01	8,1	8,5
	S8	7,97	8	8,5
Mars	S9	7,78	8,09	8,5
	S10	8,1	8,1	8,5
	S11	8,17	8	8,5
	S12	8,1	8,04	8,5

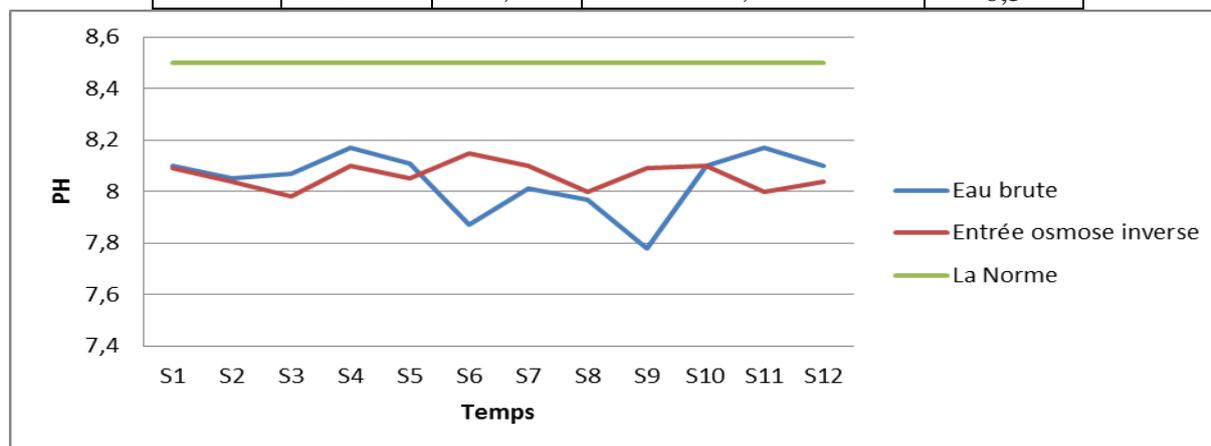


Figure V.07 : L'évolution du PH d'eau brute et d'eau filtrée.

Selon les résultats obtenus, nous remarquons que la variation des valeurs du pH se situe entre 7,78 à 8,17 pour l'eau brute, ainsi le pH est légèrement basique.

Le pH de l'eau à l'entrée de l'osmose inverse reste stable par rapport au pH de l'eau de mer (7,98 à 8,15), et cela est expliqué par l'ajout des produits chimiques de nature acide (l'acide sulfurique H_2SO_4), qui abaissent un peu le pH d'eau de mer jusqu'au PH optimum pour un meilleur comportement du coagulant.

Lorsque la PH d'eau de mer tend vers le PH optimum, il n'injectant pas l'acide sulfurique.

V.3.2.3- La conductivité:

Tableau V.03 : La conductivité d'eau brute et d'eau filtré.

Mois	Semaine	Conductivité ($\mu\text{s/cm}$)		
		Eau brute	Entré osmose inverse	La Norme
Janvier	S1	54750	54700	800
	S2	55700	55600	800
	S3	56200	56000	800
	S4	56400	56000	800
Février	S5	55900	55800	800
	S6	55850	55700	800
	S7	56450	56000	800
	S8	55850	55700	800
Mars	S9	54700	54550	800
	S10	56320	56000	800
	S11	56000	55900	800
	S12	55000	54800	800

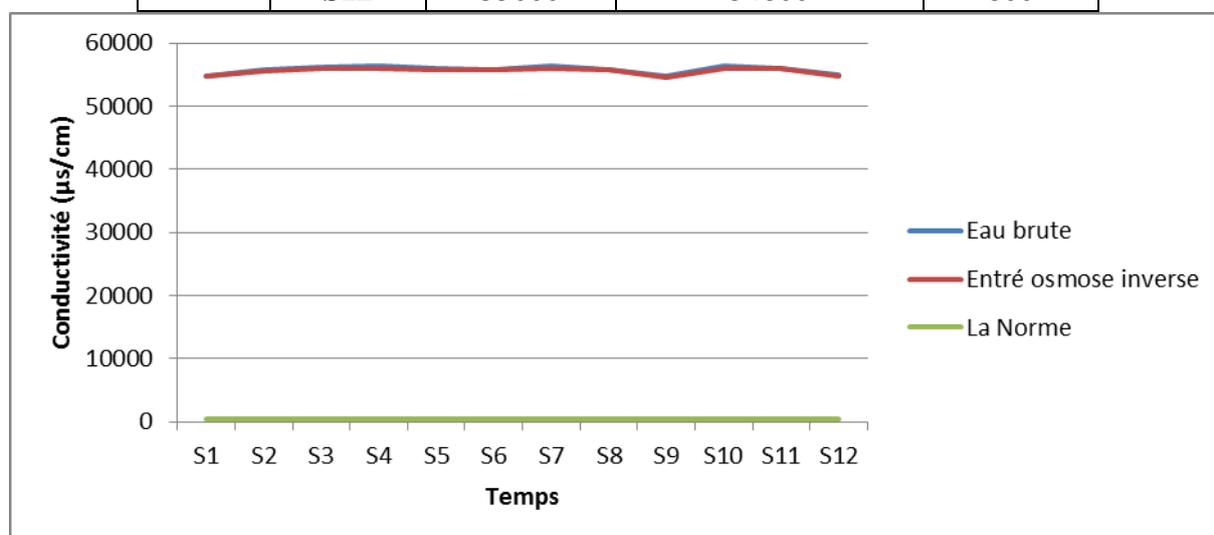


Figure V.08 : L'évolution de la conductivité d'eau brute et d'eau filtré.

A partir des résultats obtenus on constate que les valeurs de la conductivité de l'eau brute sont élevées vu la teneur élevée en sels, elle varie de 54750 $\mu\text{s/cm}$ à 56450 $\mu\text{s/cm}$ au

cours des 3 mois de suivi du processus de dessalement, même chose pour la conductivité d'eau filtrée qui varie de 54550 $\mu\text{s}/\text{cm}$ à 56000 $\mu\text{s}/\text{cm}$.

Les deux courbes d'évolution (voire figure V-8) sont presque confondues et au-dessus de la norme fixée par l'OMS car jusqu'au là l'eau de mer est saline.

V.3.2.4- Le TDS:

Tableau V.4 : TDS d'eau brute et d'eau filtré.

Mois	Semaine	TDS (mg/l)		
		Eau brute	Entrée osmose inverse	La Norme
Janvier	S1	39420	39380	1000
	S2	40104	40032	1000
	S3	40464	40320	1000
	S4	40608	40320	1000
Février	S5	40248	40176	1000
	S6	40212	40104	1000
	S7	40644	40392	1000
	S8	40212	40104	1000
Mars	S9	39384	39276	1000
	S10	40550	40320	1000
	S11	40320	40248	1000
	S12	39600	39456	1000

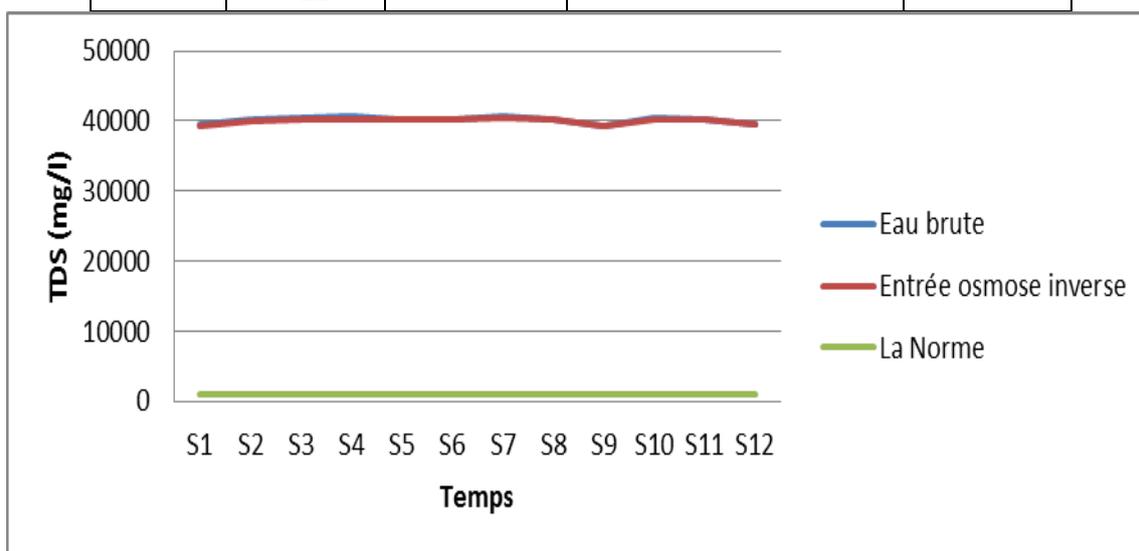


Figure V.9 : L'évolution du TDS d'eau brute et d'eau filtrée.

On remarque que la valeur de TDS de l'eau brute et l'eau filtrée sont presque les mêmes, entre 39384mg/l et 40644 mg/l pour l'eau brute et 39276 mg/l et 40392 mg/l pour l'eau filtrée. Les valeurs sont plus élevées par rapport à la norme fixée par l'OMS car jusqu'à

cette étape, l'eau est saline et on n'a pas encore corrigé ce problème ce qui explique la variation de ces valeurs.

V.3.2.5- La turbidité:

Tableau V.5 : La turbidité d'eau brute et d'eau filtré.

Mois	Semaine	Turbidité (NTU)		
		Eau brute	Entré osmose inverse	La Norme
Janvier	S ₁	0,61	0,14	1
	S ₂	0,42	0,14	1
	S ₃	0,33	0,11	1
	S ₄	0,37	0,17	1
Février	S ₅	0,55	0,13	1
	S ₆	0,42	0,12	1
	S ₇	0,42	0,15	1
	S ₈	0,7	0,11	1
Mars	S ₉	0,42	0,13	1
	S ₁₀	0,33	0,11	1
	S ₁₁	0,4	0,11	1
	S ₁₂	0,33	0,14	1

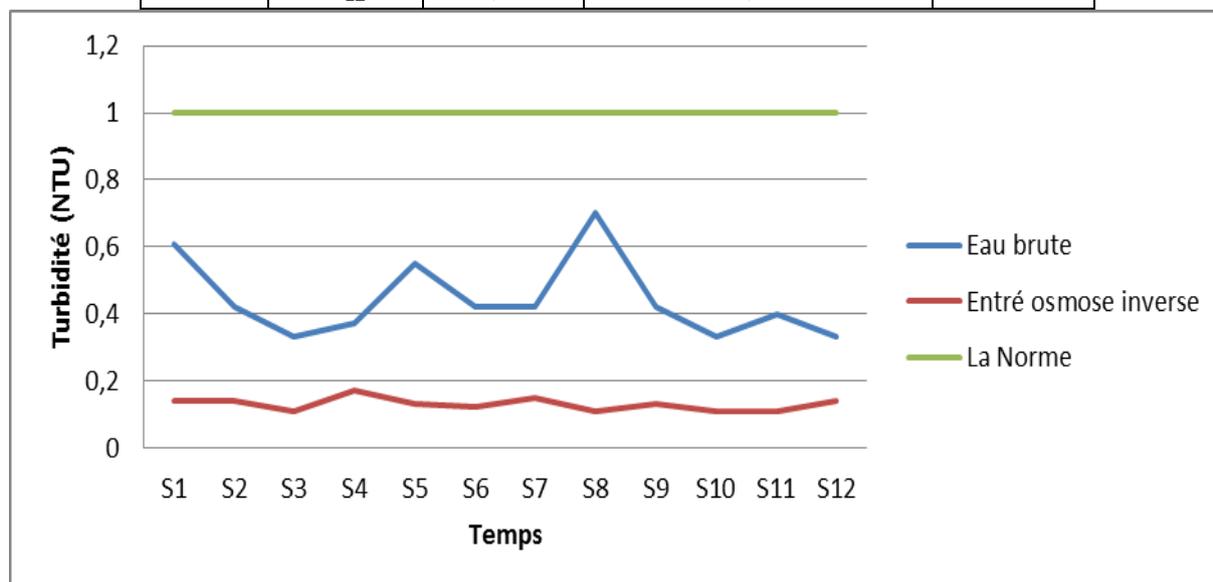


Figure V.10 : L'évolution de la turbidité d'eau brute et d'eau filtrée.

D'après les résultats obtenus, on remarque que les valeurs de la turbidité de l'eau brute varient de 0,33 NTU à 0,7 NTU ceci est due au prélèvement de l'eau brute à 845 m de la station, et à une profondeur de 15m.

Le passage de l'eau brute par les différentes étapes de prétraitement (injection du coagulant, filtration sur filtre à sable et filtre à cartouche) permet de ramener la turbidité à des valeurs inférieures à 0,17NTU.

V.3.2.6- Le SDI₅ et SDI₁₅ :

Tableau V.06 : SDI d'eau brute et d'eau filtré.

Mois	Semaine	SDI ₅ et SDI ₁₅		
		SDI ₅ de l'eau brute	SDI ₁₅ de l'eau filtré	La Norme
Janvier	S1	12,8	1,14	3
	S2	10,2	1,02	3
	S3	10,5	1,07	3
	S4	7,2	1,07	3
Février	S5	12,2	0,91	3
	S6	12,6	1,04	3
	S7	13,6	0,88	3
	S8	11,7	1,07	3
Mars	S9	9,5	1,11	3
	S10	11,41	1,14	3
	S11	12,55	1,04	3
	S12	13,84	1,01	3

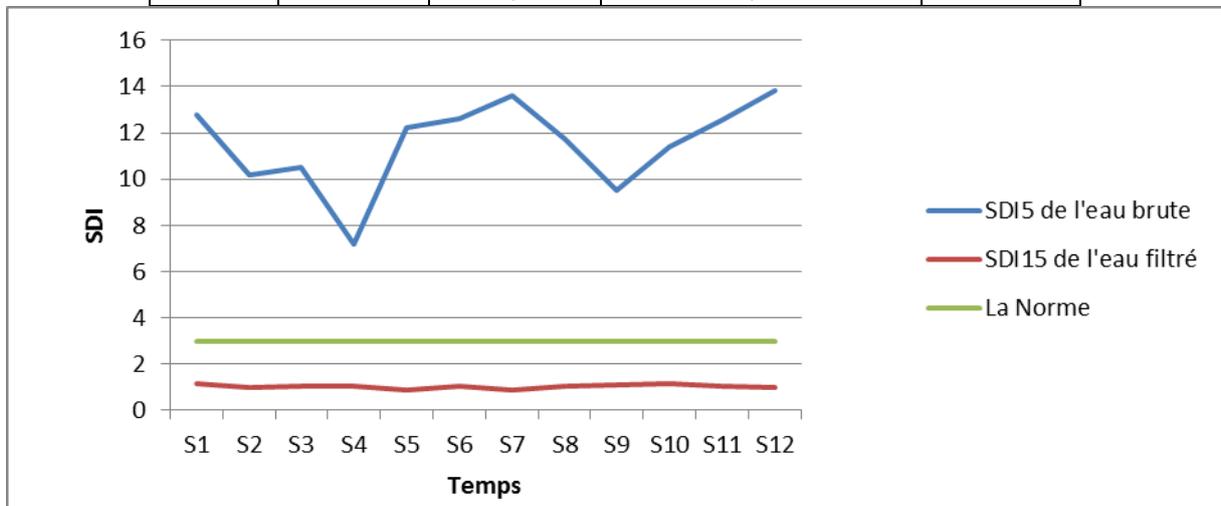


Figure V.11 : L'évolution du SDI d'eau brute et d'eau filtrée.

Les résultats des analyses d'eau de mer montrent des variations de SDI₅ de 7,2 à 13,84, suite à la variation de la qualité de l'eau brute car il y a une relation entre la turbidité et le SDI₅. Le calcul du SDI de l'eau de mer permet de choisir et de déterminer le mode de prétraitement (injection coagulant, floculant, filtration sur filtre à sable et filtre à cartouche) et le SDI₁₅ est déterminé pour l'eau filtrée afin d'établir un suivi des performances des prétraitements adaptés. Les prétraitements de la station de dessalement ont permis de ramener le SDI₁₅ à une valeur inférieure à 3 ce qui est exigé pour assurer la protection des membranes contre l'encrassement rapide, étant donné que toutes les valeurs du SDI₁₅ sont inférieures à ce seuil, cela traduit aussi une performance du prétraitement.

Récapitulation :

On constat que toutes les valeurs du prétraitement sont en dessous de la norme fixée par l’OMS sauf la conductivité et les TDS, ceci est dû à la forte minéralisation de l’eau de mer, qui ne sera réduite qu’après passage sur les membranes d’osmose inverse.

V.3.3- Etude des performances du traitement:

Dans cette étape on va comparer l’eau l’entrée d’osmose inverse et du perméat pour étudier les performances du traitement dans l’usine de dessalement.

V.3.3.1-La température :

Tableau V.07 : La température d’eau filtré et du perméat.

Mois	Semaine	Température (C°)		
		Entrée osmose inverse	Perméat	La Norme
Janvier	S1	21,1	21,4	25
	S2	21,4	21,7	25
	S3	21,7	21,6	25
	S4	19,5	19,6	25
Février	S5	19,1	19,8	25
	S6	18,3	18,8	25
	S7	17,7	18,5	25
	S8	19,4	18,8	25
Mars	S9	19,3	17	25
	S10	19,4	18,6	25
	S11	19,3	18,7	25
	S12	19,7	19,1	25

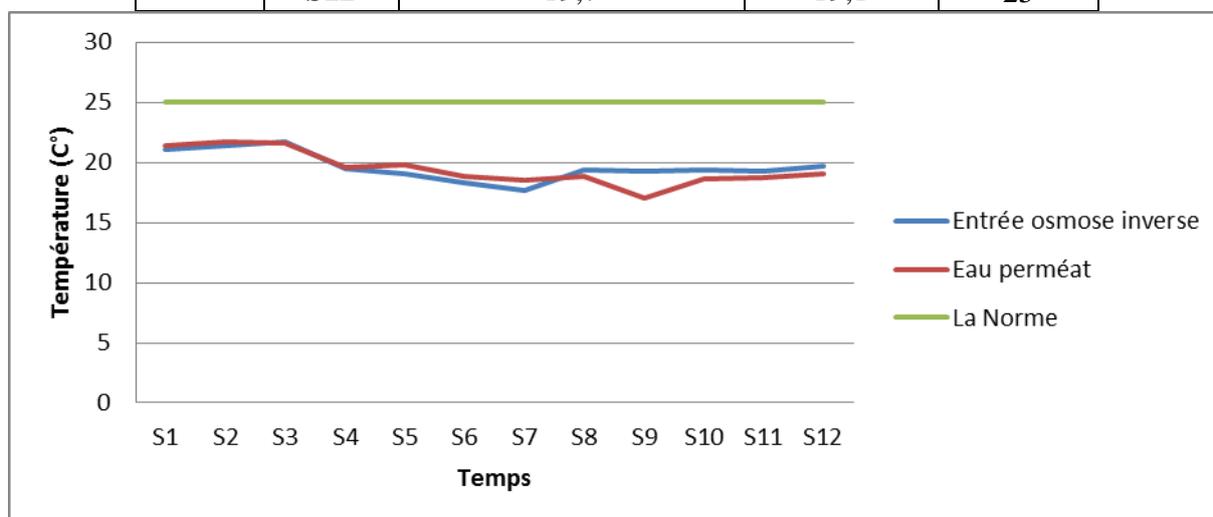


Figure V.12: L’évolution de la température d’eau filtrée et du perméat.

A partir des résultats on note une légère variation des températures d’eau de mer au cours du traitement mais cette variation reste conforme à la norme de l’OMS qui préconise une valeur inférieure à 25C°.

L'eau à l'entrée de l'osmose inverse à une température qui varie entre 17,70C° et 21,70C°, pour la température de l'eau de perméat on note une variation allant de 17C° à 21,70 C°

V.3.3.2- Le PH :

Tableau V.08 : La PH d'eau filtré et du perméat.

Mois	Semaine	PH		
		Entrée osmose inverse	perméat	La Norme
Janvier	S1	8,09	7,12	8,5
	S2	8,04	7,17	8,5
	S3	7,98	7,99	8,5
	S4	8,1	7,8	8,5
Février	S5	8,05	7,93	8,5
	S6	8,15	7,73	8,5
	S7	8,1	7,51	8,5
	S8	8	7,07	8,5
Mars	S9	8,09	7,12	8,5
	S10	8,1	7,8	8,5
	S11	8	7,79	8,5
	S12	8,04	7,9	8,5

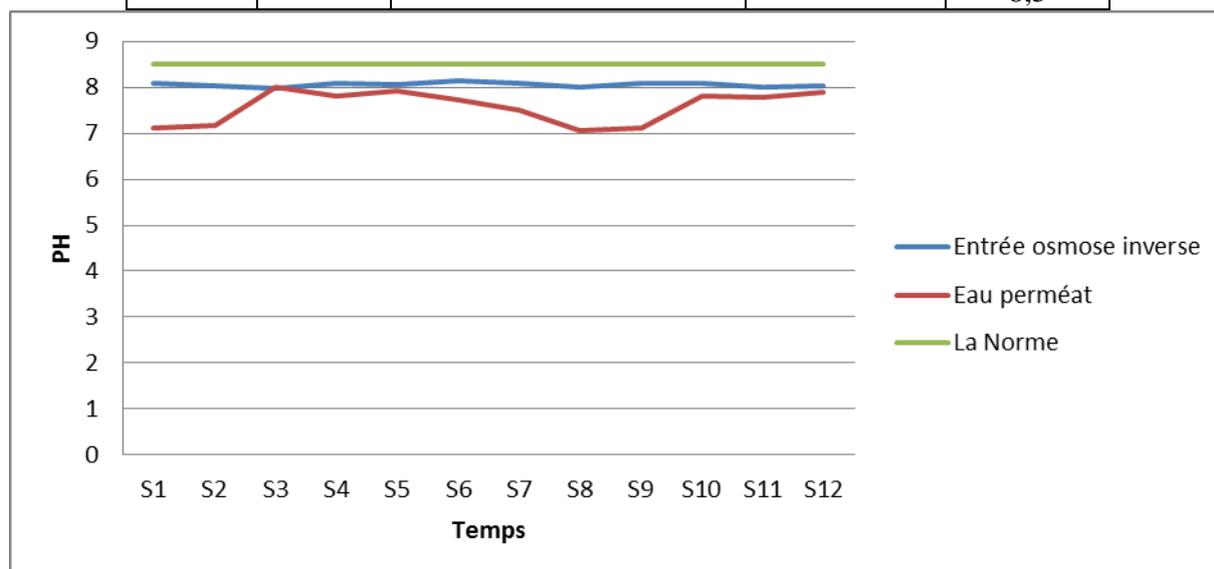


Figure V.13: L'évolution du PH d'eau filtrée et du perméat.

A partir des résultats on remarque qu'après le passage d'eau de mer à travers les membranes d'osmose inverse, on a obtenu une eau avec des valeurs de pH allant de 7,07 à 7,99. Ce qui traduit une baisse de pH dû à la rétention des sels par la membrane.

V.3.3.3- La Conductivité :

Tableau V.09 : La conductivité d'eau filtré et du perméat.

Mois	Semaine	Conductivité ($\mu\text{s}/\text{cm}$)		La Norme
		Entré osmose inverse	perméat	
Janvier	S1	54700	281	800
	S2	55600	267	800
	S3	56000	334	800
	S4	56000	268	800
Février	S5	55800	332	800
	S6	55700	305	800
	S7	56000	474	800
	S8	55700	338	800
Mars	S9	54550	327	800
	S10	56000	299	800
	S11	55900	340	800
	S12	54800	287	800

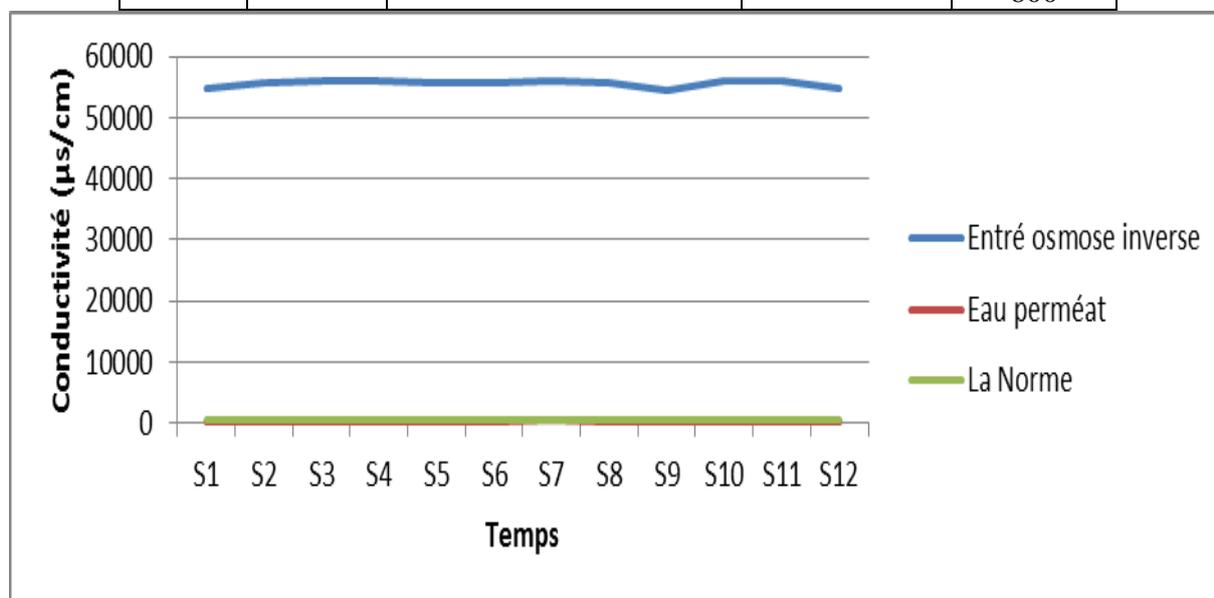


Figure V.14: L'évolution de la conductivité d'eau filtrée et du perméat.

On remarque que la conductivité l'entrée de l'osmose inverse est loin d'être à la norme, due à la présence des sels dans l'eau mais les valeurs de la conductivité du perméat est conforme à la norme du fait que la membrane d'osmose inverse a déminéralisé l'eau. L'intervalle de la conductivité passe de 54550 $\mu\text{s}/\text{cm}$ -56000 $\mu\text{s}/\text{cm}$ pour l'eau d'entrée d'osmose à 276 $\mu\text{s}/\text{cm}$ -447 $\mu\text{s}/\text{cm}$ du perméat.

V.3.3.4- TDS :

Tableau V.10 : TDS d'eau filtré et du perméat.

Mois	Semaine	TDS (mg/l)		
		Entrée osmose inverse	perméat	La Norme
Janvier	S1	39380	154,55	1000
	S2	40032	146,85	1000
	S3	40320	183,7	1000
	S4	40320	143,49	1000
Février	S5	40176	182,6	1000
	S6	40104	167,75	1000
	S7	40392	255	1000
	S8	40104	185,9	1000
Mars	S9	39276	179,85	1000
	S10	40320	164,45	1000
	S11	40248	187	1000
	S12	39456	157,85	1000

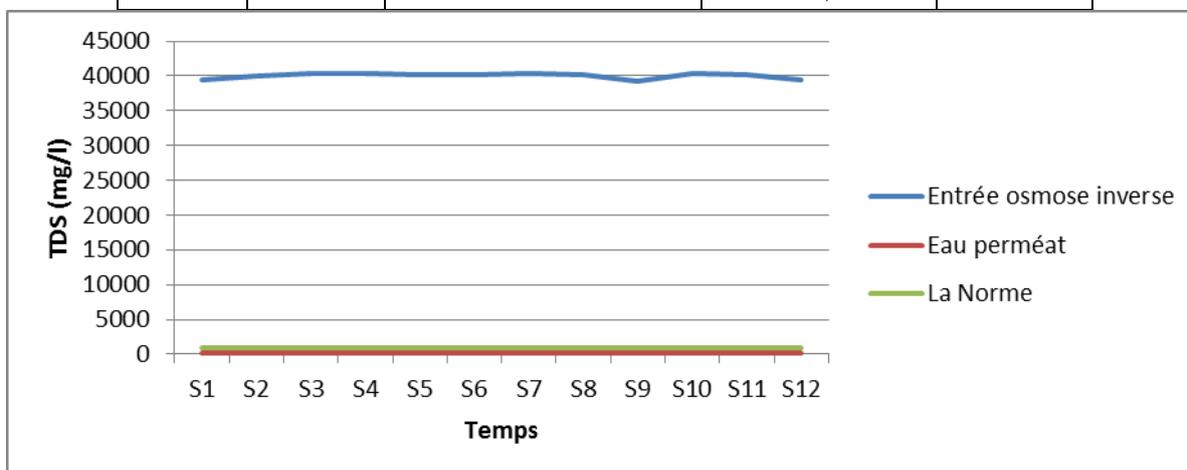


Figure V.15: L'évolution du TDS d'eau filtrée et du perméat.

A partir des résultats on remarque que le perméat varie de 143mg/l à 255mg/l car Le passage de cette eau de mer par l'unité d'osmose inverse, permet l'élimination de plus de 97% des sels ce qui rend la valeur de TDS conforme à la norme fixée par l'OMS.

V.3.3.5- La turbidité :

Tableau V.11 : La turbidité d'eau filtré et du perméat.

Mois	Semaine	Turbidité (NTU)		
		Entré osmose inverse	perméat	La Norme
Janvier	S ₁	0,14	0,12	1
	S ₂	0,14	0,13	1
	S ₃	0,11	0,11	1

Suite de Tableau V.11 : La turbidité d'eau filtrée et du perméat.

Mois	Semaine	Turbidité (NTU)		
		Entré osmose inverse	Perméat	La Norme
Janvier	S ₄	0,17	0,14	1
Février	S ₅	0,13	0,13	1
	S ₆	0,12	0,1	1
	S ₇	0,15	0,12	1
	S ₈	0,11	0,14	1
Mars	S ₉	0,13	0,08	1
	S ₁₀	0,11	0,1	1
	S ₁₁	0,11	0,11	1
	S ₁₂	0,14	0,12	1

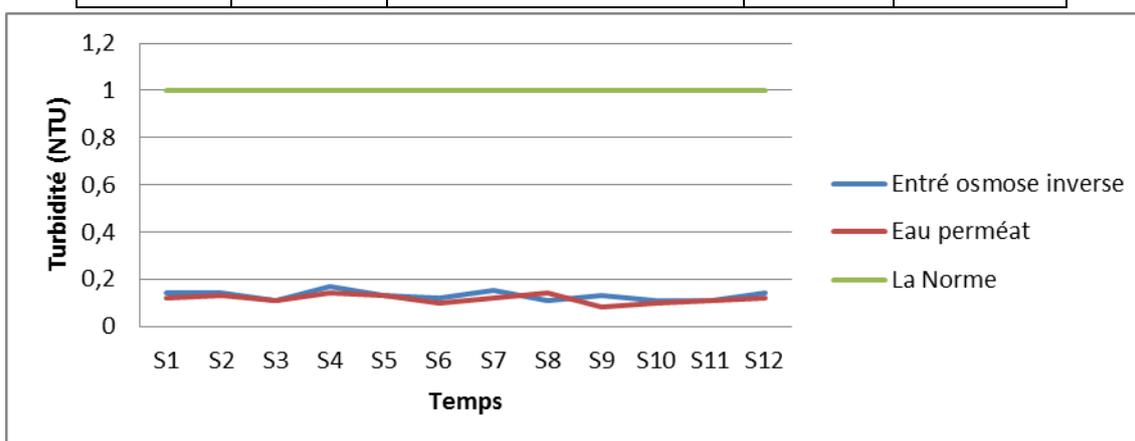


Figure V-16: L'évolution de la turbidité d'eau filtrée et du perméat.

A partir des résultats on note une légère variation de la turbidité d'entrée osmose inverse et du perméat mais elle reste conforme à la norme (< 1NTU).

V.3.3.6- Ion calcium :

Tableau V.12 : Le calcium dans l'eau filtrée et le perméat.

Mois	Semaine	Ca ²⁺ (mg/l CaCO ₃)		
		Entrée osmose inverse	perméat	La Norme
Janvier	S ₁	1202,4	3,005	200
	S ₂	1102,2	6,012	200
	S ₃	1202,4	2,004	200
	S ₄	801,6	2,004	200
Février	S ₅	901,8	7,014	200
	S ₆	1102,2	4,008	200
	S ₇	1102,2	4,008	200
	S ₈	1102,4	2,009	200
Mars	S ₉	901,8	2,004	200
	S ₁₀	1104,8	6,012	200
	S ₁₁	1200,2	7,014	200
	S ₁₂	1202,4	4,008	200

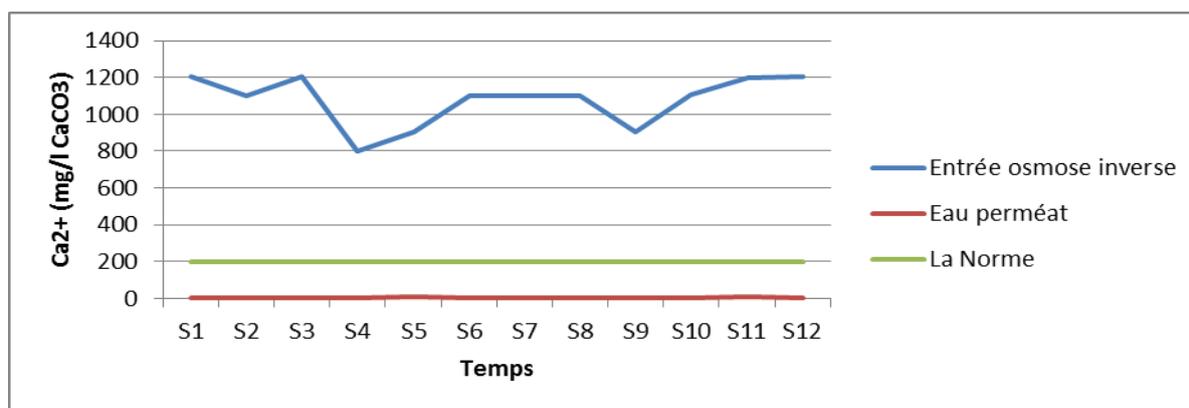


Figure V.17 : L'évolution du Ca²⁺ dans l'eau filtrée et le perméat.

Selon les résultats obtenus, l'eau à l'entrée de l'osmose inverse à une concentration en Ca²⁺ qui varie de 801,6mg/l CaCO₃ à 1202,4 mg/l CaCO₃, cela signifie que cette eau est trop dure. Après le passage de cette eau à travers les membranes d'OI, on a obtenu des valeurs qui évoluent dans un intervalle de 2 à 7,018 mg/l CaCO₃, cela traduit que les membranes d'OI ont une performance d'élimination de 99,42 % de Ca²⁺. En revanche, l'eau produite (le perméat) est pauvre en calcium ce qui peut avoir des conséquences aussi bien sur la santé des consommateurs que sur les infrastructures hydrauliques (réservoirs, conduites, etc.) puisque cette eau n'est pas équilibrée.

Une eau de bonne qualité en terme de minéralisation globale, les concentrations en calcium varient de 100 à 200 mg/l CaCO₃. Ce qui montre le non équilibre du perméat avec les normes, de ce fait il faut ajouter une dernière étape de reminéralisations pour rendre cette eau potable. [17]

V.3.3.7- Le titre hydrométrique :

Tableau V.13 : Le TH d'eau filtré et du perméat.

Mois	Semaine	TH (mg/L CaCo3)		
		Entrée osmose inverse	perméat	La Norme
Janvier	S1	7000	10	100
	S2	7000	14	100
	S3	5750	12	100
	S4	6600	12	100
Février	S5	6600	10	100
	S6	6700	10	100
	S7	7200	12	100
	S8	7000	8	100
Mars	S9	6400	14	100
	S10	6750	10	100
	S11	6600	12	100
	S12	7000	14	100

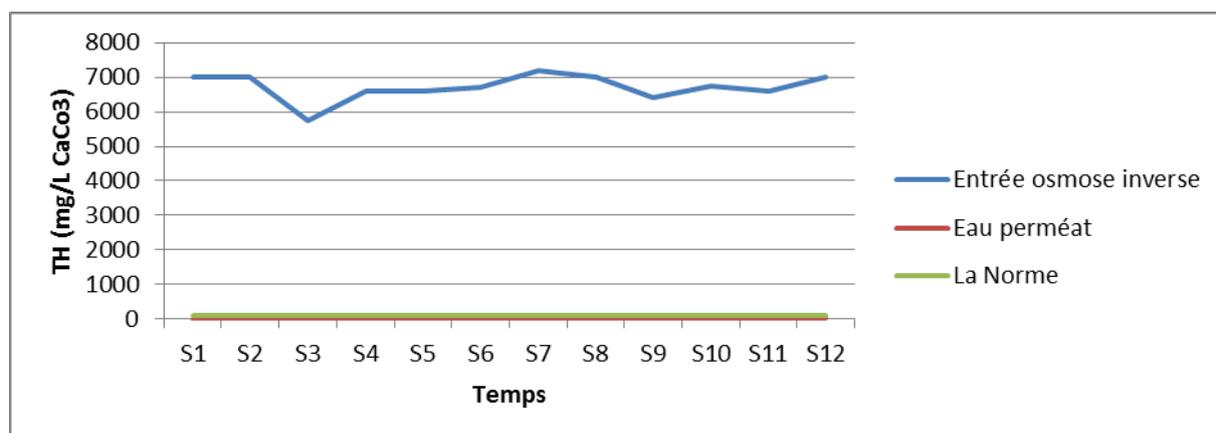


Figure V.17 : L'évolution du TH d'eau filtrée et le perméat.

A partir des résultats obtenus, la dureté totale de l'eau de mer présente des valeurs élevées allant de 5750 à 7200 mg/l CaCO₃, ce qui s'explique par la présence des cations à savoir (magnésium, calcium).

Les deux cations qui sont le magnésium et le calcium, sont très répandus dans l'eau de mer avec une prédominance pour les ions magnésium. La valeur élevée de TH dans l'eau de mer s'explique par sa correspondance à la présence des sels de calcium et magnésium. [16]

Les résultats d'analyses montrent que la dureté de l'eau de perméat présente une variation allant de 8 à 14 mg/l CaCO₃, cette dureté traduit une eau très douce qui risque de causer des problèmes de corrosion dans les réseaux de distribution d'eau potable, si elle est distribuée telle quelle, car cette eau ne peut pas former une couche protectrice de tartre (la couche de Tilman)

V.3.3.8- Les chlorure :

Tableau V.14 : Les valeurs du Cl⁻ dans l'eau filtrée et le perméat.

Mois	Semaine	Cl ⁻ (mg/l)		
		Entrée osmose inverse	perméat	La Norme
Janvier	S1	21545,13	97,14	200
	S2	21400,61	106,35	200
	S3	21002,16	99,26	200
	S4	20900,66	101,39	200
Février	S5	21700,95	101,39	200
	S6	21030,47	93,59	200
	S7	20908,68	125	200
	S8	21697,85	109,904	200
Mars	S9	20988,18	133	200
	S10	21839,05	168	200
	S11	215300,5	134	200
	S12	20554,18	120,35	200

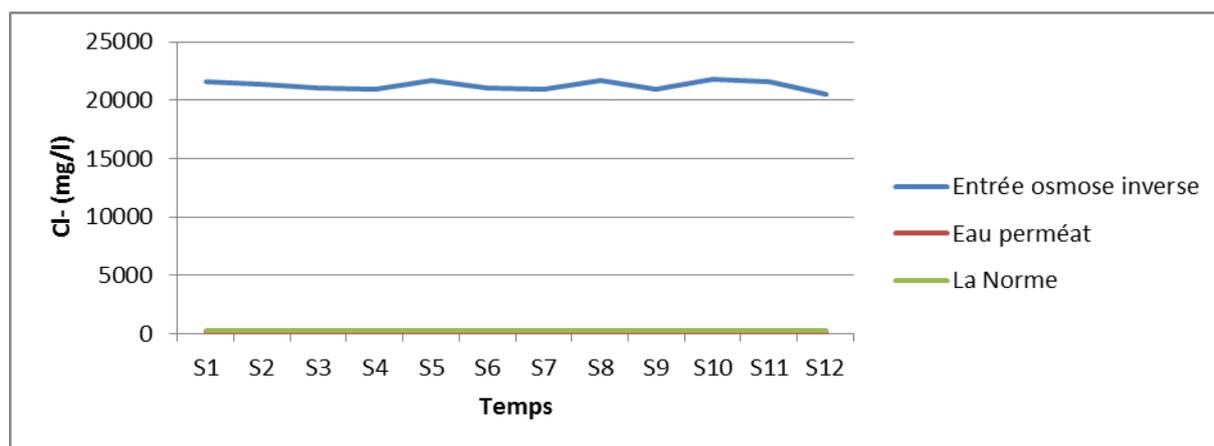


Figure V.18: L'évolution du Cl⁻ dans l'eau filtrée et le perméat.

Les chlorures font parties des sels les plus importants rentrants dans la composition chimique de l'eau de mer, ces ions sont responsables du goût salé de cette eau.

D'après les résultats obtenus, nous remarquons que la concentration en chlorure est élevée, allant de 21700,95mg/l à 20554,18mg/l. Cet ion est lié aux cations majeurs (calcium, magnésium et sodium), ces derniers combinés sont eux qui confèrent à l'eau de mer sa salinité.

Après le passage de cette eau à travers les membranes d'OI, le perméat obtenu a des concentrations en Cl⁻ inférieures à 168mg/l.

La très faible présence de chlorure dans l'eau osmosée est favorisée par la performance des membranes d'OI.

D'après les résultats d'analyses, nous remarquons que la concentration en chlorures d'eau du perméat varie de 93,59 mg/l à 168 mg/l, à partir de la 1^{ère} semaine jusqu'à la 6^{ème} semaine, les variations sont pratiquement stables entre 93,59 mg/l à 101,39mg/l. Mais après la 6^{ème} semaine, les concentrations augmentent jusqu'à 168mg/l, ce qui traduit un début de polarisation des membranes d'OI.

V.3.3.9- TAC :

Tableau V.15 : Les valeurs du TAC dans l'eau filtré et le perméat.

Mois	Semaine	TAC (mg/l CaCO3)		
		Entrée osmose inverse	perméat	La Norme
Janvier	S1	600	5	60
	S2	650	5	60
	S3	800	5	60
	S4	1000	6,5	60
Février	S5	900	6,5	60
	S6	550	4	60
	S7	800	5	60
	S8	700	4,5	60

Suite du Tableau V.14 : Les valeurs du TAC dans l'eau filtré et le perméat.

Mois	Semaine	TAC (mg/l CaCO ₃)		
		Entrée osmose inverse	perméat	La Norme
Mars	S9	1000	6	60
	S10	900	6,5	60
	S11	850	5,5	60
	S12	750	4,5	60

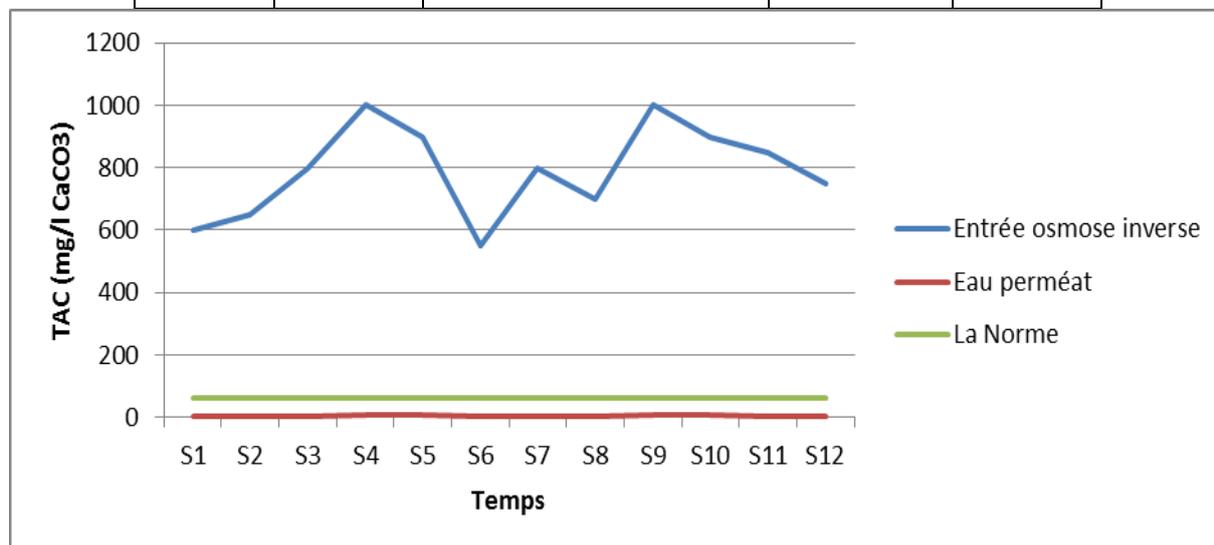


Figure V.19: L'évolution du TAC dans l'eau filtrée et le perméat.

D'après les résultats obtenus, nous observons une forte alcalinité de l'eau à l'entrée de l'osmose inverse, allant de 550 à 1000 mg/l CaCO₃ ce qui est caractérisé par la présence d'une forte teneur en ions bicarbonates, carbonates et hydroxydes.

Selon les résultats de l'alcalinité de l'eau de perméat, nous remarquons une variation allant de 4 à 6,5 mg/l CaCO₃, cette alcalinité traduit une eau agressive qui provoquera la corrosion des canalisations de distribution d'eau potable, ce qui explique l'importance du passage de cette eau par le poste de reminéralisation car l'alcalinité du perméat représente une variation très faible par rapport à la norme qui exige un TAC minimum de 60 mg/l CaCO₃.

V.3.4- Etude de qualité d'eau reminéralisé :

Après l'obtention du perméat, il doit être traité (post-traitement) avant d'être distribué aux consommateurs. On doit corriger la dureté et de l'alcalinité pour stabiliser la nature relativement agressive de l'eau dessalée produite et lui conférer un goût plus satisfaisant.

Dans le tableau suivant on a comparé la valeur moyenne pendant la période de stage aux normes fixées par l'OMS.

Tableau V.16 : La comparaison de l'eau traitée à la norme.

Paramètres	Unité	eau traitée	La norme
Température	°C	21	25
pH		8,2	8,5
Conductivité	µs/cm	680	800
Turbidité	NTU	0,3	1
Ca ²⁺	mg/l CaCO ₃	54	200
TH	mg/L CaCo ₃	87	100
Cl ⁻	mg/l)	210	200
TAC	mg/L CaCo ₃	56	60
TDS	mg/l	400	1000

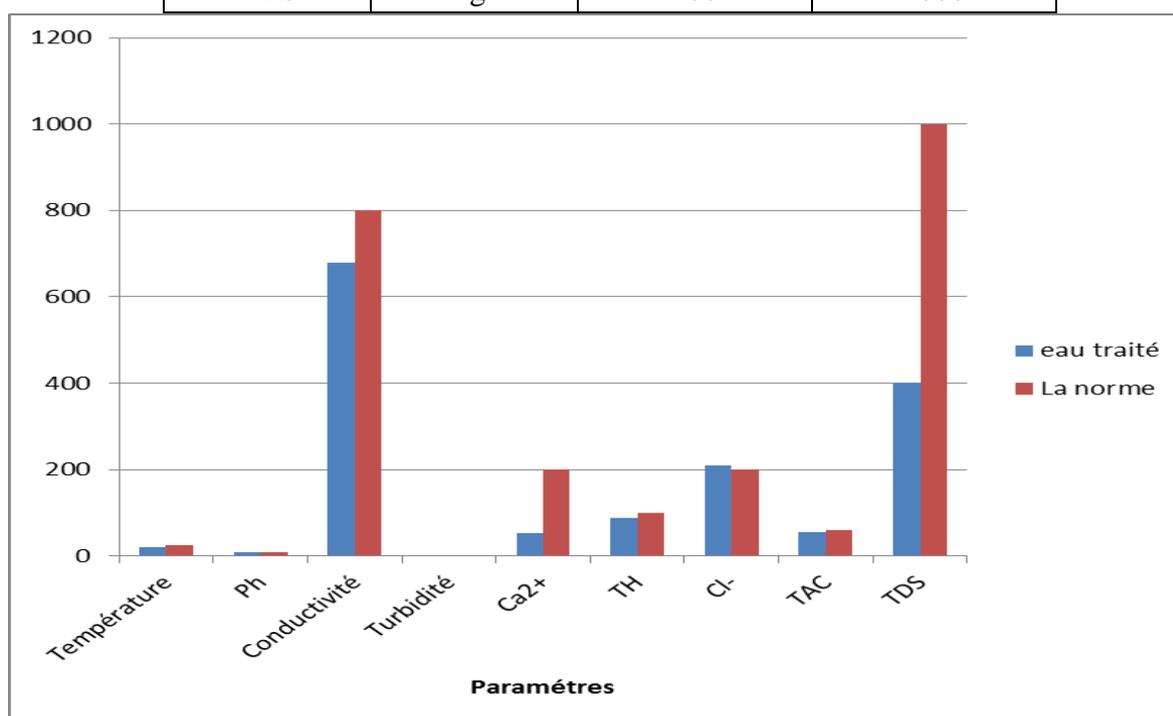


Figure V.20: La comparaison de l'eau traitée à la norme.

A partir des résultats obtenus, on remarque que tous les paramètres sont conformes à la norme ce qui nous permet de conclure que la qualité d'eau dessalée, distribuée aux habitants, est de bonne qualité et conforme aux normes de potabilité.

V.4 Les solutions proposées :

Pour améliorer les performances de la station nous suggérons les solutions suivantes :

-L'obligation de la chloration :

Il faut injecter l'hypochlorite de sodium dans la tour de captage ; une dose entre 2ppm et 5ppm est suffisante. Pour ne pas dégrader les membranes il faut éliminer toute trace de chlore. En injectant du bisulfite de sodium avant les pompes hautes pression. [28]

-L'ouvrages de coagulation-floculation-décantation :

On utilise cet ouvrage en période où la turbidité d'eau de mer augmente pour éviter le colmatage des membranes et les arrêts inattendus.

-Méthodes de lutte contre la corrosion :

Pour lutter contre la corrosion le choix des matériaux d'une unité de dessalement par osmose inverse est très important, il doit tenir compte des conditions particulières du procédé:

- Température ambiante (0 à 45°C).
- Eau saline complètement aérée.
- PH pouvant être légèrement acide (PH=6).
- Cycles de lavage à PH acide (PH=2) et basique (PH=12).
- Pression élevée (50 à 70 bar).
- Vitesses variables.

Pour le circuit basse pression, les matériaux plastiques (PVC, polyéthylène) sont le plus souvent utilisés et les plus compatibles. [27]

-La solution pour le système de fabrication de CO₂ :

La solution proposée est d'isoler le système endommagé pour éviter la congélation et les fuites d'eau due à la différence de la température à l'intérieure du bâtiment de production de CO₂.

V.5 Conclusion:

Dans ce chapitre on a relevé tous les dysfonctionnements au sein de la station de dessalement de Fouka ainsi on a étudié la performance du prétraitement et du traitement par l'évolution des paramètres pendant la durée de stage de 03 mois, en comparant ces valeurs à la norme fixée par l'OMS et enfin on a comparé l'eau traitée à la norme pour vérifier sa conformité aux normes de potabilité.

VI.1- Introduction :

Parmi les impacts dus à une usine de dessalement, il y a ceux qui se limitent à la phase de construction et ceux qui sont liés à la phase d'exploitation. Les impacts commencent avec la transformation de l'occupation du sol, puis continuent avec des conséquences visuelles et des nuisances sonores pour s'étendre à des émissions dans l'atmosphère et des rejets dans l'eau ainsi qu'à des dommages potentiels pour le milieu récepteur. Les activités de construction et d'exploitation peuvent se traduire par une série d'impacts sur les zones littorales, affectant notamment la qualité de l'air, la qualité de l'eau, la flore et la faune marines, la perturbation d'écosystèmes (dunes de sable, herbiers marins et autres habitats vulnérables par suite de l'emplacement choisi pour le trajet des canalisations), le dragage et l'élimination des déblais qui en résultent, le bruit, les entraves à l'accès du public et aux loisirs. Les plus importants de ces impacts concernent la qualité de l'air et la qualité de l'eau qui retentissent ensuite sur la flore, la faune et les écosystèmes marins. [22]

VI.2- Origine et type des rejets :**VI.2.1- Rejets atmosphériques**

Les techniques utilisées pour le dessalement de l'eau sont très consommatrices en énergie, même si la tendance est à la baisse, notamment grâce au développement des technologies innovantes. Or, cette énergie est le plus souvent fournie par des combustibles fossiles qui présentent pour l'environnement l'inconvénient d'émettre des polluants atmosphériques, notamment du dioxyde de carbone (CO₂), des oxydes de soufre et d'azote et des particules solides. Il a ainsi été estimé que le système de production espagnol rejetait 680 grammes de CO₂ par mètre cube d'eau dessalée, ce qui, pour une production de plusieurs millions de mètres cubes par jour se traduirait par l'émission dans l'atmosphère de plusieurs milliers de tonnes de CO₂ par jour. Cette contribution à l'effet de serre est loin d'être négligeable dans le contexte actuel de lutte contre le réchauffement climatique.

VI.2.2- Les rejets chimiques :

Toutes les usines de dessalement utilisent des produits chimiques pour le prétraitement de l'eau d'alimentation ainsi que le post-traitement de l'eau produite. La plupart des produits sont utilisés avant tout comme flocculant, coagulant, antitartre et anticorrosion, et ils finissent par modifier la composition de la saumure concentrée. La présence de certains métaux, qui sont des produits de la corrosion du circuit, influent aussi sur la composition de la saumure concentrée. [6]

Tableau VI.01 : Résumé des phases de la production d'eau potable par OI et devenir des Produits utilisés [13]

Phases	Objet	Produits chimiques Ajoutés	Devenir des Produits
Ajustement du pH	-Il Diminue la concentration de carbonate. -Il protège la membrane contre l'hydrolyse.	Acide (H ² SO ₄)	-Modifie le pH de l'eau brute et de la saumure ; Le sulfate est retenu dans la saumure concentrée.
Antitartre	-Il Prévient la formation de tartre sur les membranes	Agents chélateurs et dispersants	-Les complexes formés sont retenus dans la saumure concentrée
Coagulation - Flocculation	-Il Prévient les salissures et l'encrassement des membranes	Coagulant - Flocculant	-Les agents flocculant formés se séparent par décantation et sont éliminés par filtration.
Désinfection	-prévient l'encrassement biologique ; - Elimine-les microorganismes qui se nourrissent des matières des membranes.	Chlore (ou biocide, UV)	-Chlore également répartie dans le perméat et la saumure concentrée.
Déchloration	-Protéger les membranes sensibles au chlore	Bisulfite de sodium ou charbon actif granulaire (CAG)	Réagit avec le chlore pour former du sulfate et du chlorure qui sont retenus dans la saumure.
Oxygénation	-Accroît l'oxygène dissout à un niveau concourant au développement de la flore et de la faune aquatique.	Aération	Accroît l'oxygénation dans la saumure concentrée.
Élimination d'autres formes chimiques.	-Diminue tous les Polluants susceptibles d'être présents dans l'eau brute	Est fonction des formes chimiques	-Les complexes formés sont retenus dans la saumure concentrée

VI.2.3- La saumure concentrée :

Une concentration élevée en sels des eaux rejetées et des fluctuations du degré de salinité peuvent être, à proximité de l'émissaire, une cause de mortalité parmi les organismes qui y sont sensibles. De plus, les rejets provenant des usines de dessalement ont une densité plus élevée que celle de l'eau de mer et peuvent se déposer au fond de la mer et avoir éventuellement des effets préjudiciables pour les communautés benthiques.

VI.3- Impacts sur l'environnement :

Une grille présentant les impacts néfastes sur l'environnement associés aux procédés de dessalement, les impacts les plus prononcés sont dus aux produits chimiques qui favorisent les phénomènes d'eutrophisation dans les eaux réceptrices ainsi qu'aux désinfectants.

La réduction de l'oxygène dissous dans les eaux réceptrices par suite du rejet de saumure chaude et les effets nocifs pour les espèces résistantes aux sels sont caractérisés comme étant des impacts de degré moyen. La turbidité accrue et la limitation de la photosynthèse par suite de la perturbation des sables due aux activités d'excavation et de dragage sont caractérisées également comme des impacts de degré moyen.

VI.3.1- Effets dus aux produits de la corrosion :

Comme on l'a déjà relevé, les usines de dessalement par distillation rejettent des métaux tels que le cuivre, le nickel, le fer, le chrome et le zinc dans le milieu marin.

Ces métaux ne se trouvent pas à l'état d'ions libres mais forment des complexes inorganiques et organiques qui sont adsorbés sur les matières en suspension et déposent en s'accumulant dans les sédiments. Comme, dans ce cas, le problème ne réside pas dans la concentration effective du métal mais dans sa charge totale atteignant l'environnement, on ne peut atténuer les effets en diluant le rejet. [13]

VI.3.2- Effets dus aux additifs antitartres :

Une action précoce contre l'entartrage est obtenue avec l'adjonction de phosphates polymères. L'ortho phosphate, produit de l'hydrolyse des poly phosphates, est un macroélément nutritif qui stimule la productivité primaire. Dans une zone marine oligotrophe comme la mer Méditerranée, le rejet d'un macroélément nutritif peut avoir des effets drastiques tels que des efflorescences algales, des proliférations d'algues macroscopiques.[22]

VI.3.3- Effets des additifs antisalissure :

La chloration est un bon auxiliaire mais un mauvais maître en ce sens qu'elle est très économique et efficace mais qu'elle n'est pas correctement maîtrisée, elle donne naissance à des dérivés tels que des thiols méthanés qui sont soumis à réglementation en raison de leurs effets cancérogènes.

Si le chlore est un agent antisalissure à large spectre, il présente aussi des effets étendus sur le milieu marin quand il est rejeté avec la saumure. Il occasionne des effets biologiques par son action stérilisante intrinsèque et des effets chimiques en halo gênant les constituants organiques de l'eau de mer.

VI.3.4- Effets des additifs anti mousses :

Les agents anti mousse 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 pourraient être négligeables.

VI.3.5- Effets du concentré (saumure) :

L'eau saumure après dessalement est une eau du point de vue caractéristiques physico chimiques (salinité, TDS, dureté et alcalinité, bilan ionique, température, pH, conductivité turbidité, concentration en gaz dissous) comme le montre (le tableau VI.02), est une eau impropre à tout usage agricole ou industriel et loin d'être utilisable.

Il est indubitable que c'est la saumure qui exerce le plus fort impact sur le milieu marin. Le volume total de saumure libéré dans ce milieu est déterminant pour les dommages qu'il peut induire.

À part le volume proprement dit, les modalités et l'emplacement du rejet sont essentiels pour les impacts qui peuvent en résulter. La longueur de l'émissaire, sa distance au rivage, son niveau au-dessus du fond de la mer, l'existence ou non d'un diffuseur, ainsi que la profondeur de l'eau et les caractéristiques hydrologiques (courants, vagues) peuvent conditionner la dispersion de la saumure et l'efficacité de la dilution au point de rejet et, par voie de conséquence, l'impact potentiel sur l'environnement. [22]

Lorsque la saumure est rejetée sans dilution ni traitement, elle induit une augmentation de la concentration en sel autour de la zone de rejet. Des travaux de recherche ont ainsi montré que les rejets de saumure issus des usines de dessalement du golfe persique augmentaient localement la concentration en sel de 5 à 10 mg/l, la concentration moyenne de l'eau de mer dans cette région avoisinant les 45 mg/l. La forte salinité des eaux de rejets est à l'origine des principaux impacts des usines de dessalement sur les écosystèmes marins, le rejet de saumure dans la mer aboutit en effet à la formation d'un système stratifié de couches de plus en plus salées en allant vers le fond, ce qui diminue les brassages entre eau de fond et eau de surface. Dans certains cas et en fonction des courants marins locaux, 40% de la zone environnante est recouverte de sel. [23]

Ce phénomène peut conduire à des modifications du milieu local (voir schémas ci-dessous):

-Anoxie (absence d'oxygène) au niveau des fonds marins : la diminution des brassages associée à la présence d'espèces consommatrices d'oxygène peut conduire à des périodes d'anoxie du fond marin.

-Diminution de la lumière : la présence d'eau hyper salée provoque la formation d'un brouillard qui rend difficile le passage de la lumière, affectant ainsi la photosynthèse des espèces marines végétales.

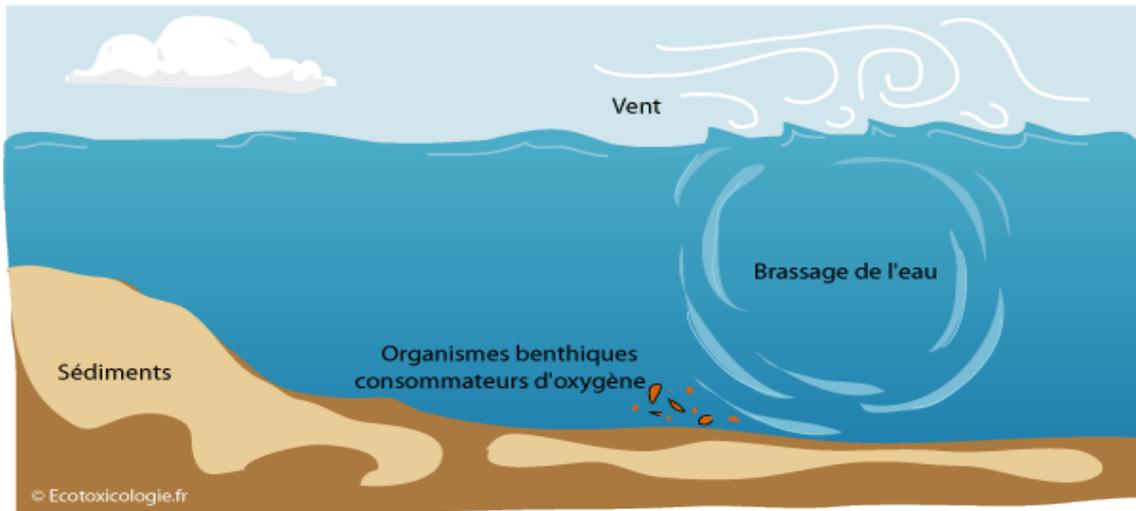


Figure VI.01 : Etat initial du milieu (pas de rejet de saumure) [25]

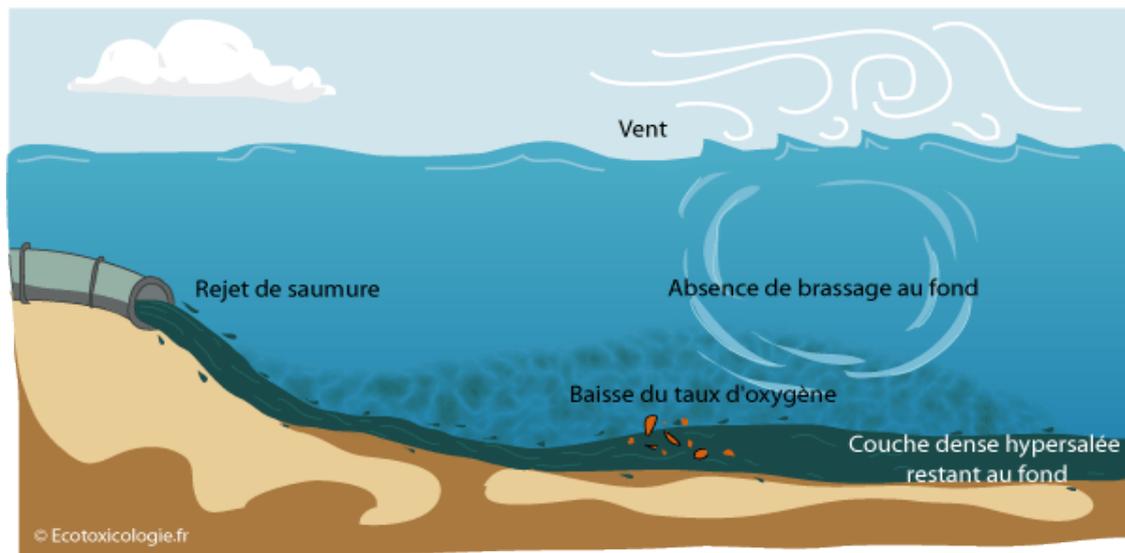


Figure VI.02: Etat du milieu après implantation de l'usine de dessalement (rejet de saumure) [25]

La plupart des organismes peuvent s'adapter à des petites variations de la température et de la salinité, et même tolérer temporairement des conditions extrêmes ; ils ne peuvent en revanche résister à des conditions défavorables permanentes. Le rejet continu d'eaux avec une forte salinité et une température élevée, induisant une diminution de la teneur en oxygène,

peut être fatal pour certains organismes et induire un changement durable dans la diversité des espèces et l'abondance de la zone impactée.

Dans ce tableau on va comparer les composantes d'eau de mer et la saumure rejetée.

Tableau VI.02 : Les composantes d'eau de mer et le concentrât (cas de la station de Fouka).

Ion	Eau de mer		Concentrât		Concentrât/Eau de mer
	mg/l	meq/l	mg/l	meq/l	
Ca	503,7	25,1	915,3	45,7	1,82
Mg	1574,2	129,6	2860,7	235,4	1,82
Na	11543,5	501,9	20934,4	910,2	1,81
K	461,6	11,8	836,6	21,5	1,82
NH4	0	0	0	0	0,00
Ba	0,2	0	0,363	0	0,00
Sr	8,446	0,2	15,348	0,4	2,00
CO3	4,8	0,2	0,4	0	0,00
HCO3	150,5	2,5	232,2	3,8	1,52
SO4	2811,7	58,6	5154,5	107,4	1,83
Cl	21527	607,2	39052,1	1101,6	1,81
F	1,3	0,1	2,4	0,1	1,00
NO3	0,1	0	0,2	0	0,00
B	4,94		8,31		1,68
SiO2	1		1,8		1,80
TDS	38593		70014,621		1,81
PH	8,1		7,1		

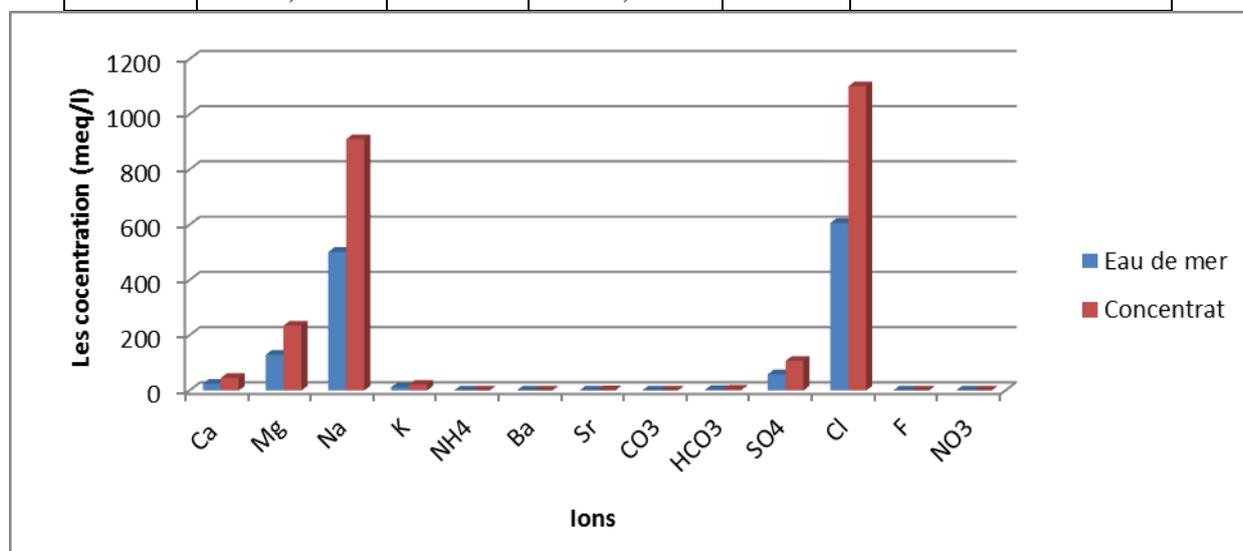


Figure VI.03 : La comparaison entre l'eau de mer et le concentrât.

VI.3.6- Effets sur la faune et la flore marine :

Certains des composés chimiques rejetés par les usines de dessalement peuvent avoir des conséquences sur les écosystèmes marins. Par exemple, il a été montré que les produits antitartre rejetés par les usines de dessalement étaient des éléments nutritifs qui stimulaient la productivité primaire. Ces produits peuvent donc induire une prolifération d'algues dans des milieux qui habituellement en comptent peu, comme en mer méditerranée. De même, les produits antisalissure rejetés par ces mêmes usines auraient des effets stérilisants sur certains organismes. [22]

La saumure contient également les résidus des produits chimiques ayant servi aux prétraitements, dont certains peuvent entraîner une acidification de l'eau, affectant certains organismes et en particulier les coraux. Le métabisulfite de sodium, utilisé pour la déchloration de l'eau d'alimentation ou en tant que biocide, a également un effet toxique, sur le phytoplancton notamment. Certaines de ces substances sont, en plus, bioaccumulables, et peuvent donc se retrouver très concentrées en haut de la chaîne alimentaire, dans les poissons notamment

VI.3.7- Effets du bruit :

Les usines d'osmose inverse utilisent des pompes à haute pression, des turbines et de récupérateurs d'énergie qui sont bruyantes et qui contribuent à la pollution sonore. Ces installations devraient donc être situées loin des régions peuplées à moins que des moyens de mitigation ne soient utilisés pour réduire leur niveau sonore. [26]

VI.3.8- Evolution des différents impacts de dessalement :

Lorsqu'on parle des impacts des stations de dessalement on pense directement à l'influence de la station sur l'environnement alors qu'il y a plusieurs aspects d'impact. Dans le tableau suivant on va montrer l'évolution des impacts sur plusieurs aspects de la technique d'osmose inverse.

Tableau VI.03 : L'évaluation des impacts associés à l'osmose inverse [26]

Aspect	Critère	Description	Évaluation de l'impact
Economique	Coûts initiaux.	Moindre, en comparaison à d'autre procédés comme la distillation.	+

Suite du Tableau VI.03 : L'évaluation des impacts associés à l'osmose inverse [26]

Aspect	Critère	Description	Évaluation de l'impact
Technique	Consommation	Moindre que pour la distillation.	+
	Capacité de la saturation	Le procédé consomme moins d'eau de	+
	Membrane	Susceptible au colmatage et à la dégradation.	-
Environnement	Écosystème marin	Les produits chimiques utilisés lors du	-
	Bruit	Utilisation de turbines et de pompes à	-
	Source d'énergie	Consommation moindre.	+
	Gestion des résidus	Les membranes ont une courte durée	-
Sociaux	Réponse au besoin	Possibilité d'usine à grande capacité.	+
	Main d'œuvre	Procédé répandu et bien connu.	+
	Acceptation	Procédé le plus populaire.	+
	Santé humaine	Eau produite convient bien aux usages domestiques.	+

Légende : + Impact positif
 - Impact négatif.

VI.4- Mesures d'atténuations des impacts sur les ressources Marines :

Les mesures d'atténuation proposées pour réduire les impacts sur les ressources marines sont les suivantes :

- 1) La réalisation d'une cartographie sous-marine des habitats écologiques à protéger dans toute la région.
- 2) Le choix de l'emplacement du prélèvement d'eau de mer et de l'émissaire doit être effectué de manière à éviter les zones sensibles, dans le respect de la flore et de la faune marines.
- 3) Le choix de l'emplacement et la conception de l'émissaire doivent assurer un taux de brassage et un volume de dilution suffisants pour réduire au minimum les effets dommageables.
- 4) L'émissaire doit être situé au large, mais non dans un estuaire ou autre zone à faible circulation d'eau.
- 5) Il convient d'utiliser des techniques de prétraitement qui réduisent au minimum la nécessité de produits chimiques dangereux, et de bonnes techniques de post-traitement et désinfection qui permettent d'espacer le nettoyage régulier des membranes en raison de leur encrassement.
- 6) Dans la mesure du possible, il convient d'éliminer du flux de saumure, avant son rejet, les constituants qui sont dangereux (prévoir un bassin de neutralisation).
- 7) La dilution des saumures avec l'eau de mer (2 à 4 volumes d'eau de mer pour un volume de saumure) offre une solution intéressante, dans le cas où il y a des zones à protéger.

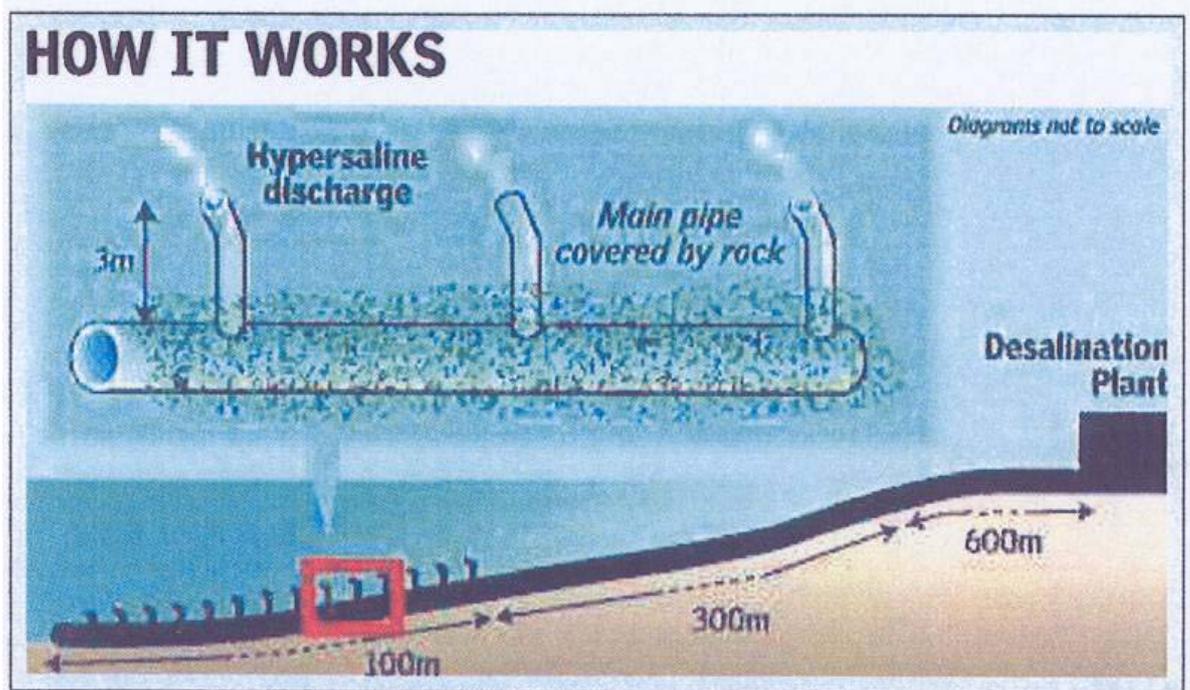


Figure VI-4: Schéma d'un émissaire de rejet par diffusion. [27]

VI.5- Les mesures prises par la station de Fouka :

La station de dessalement de Fouka contient un réservoir d'effluent pour neutraliser le rejet ainsi un système de diffusion pour la dilution de la saumure rejetée.

Les caractéristiques de l'effluent à verser par l'émissaire sont celles du Tableau VI.04.

Tableau VI.04: Caractéristiques de l'effluent versé par l'émissaire sous-marin de station de dessalement de Fouka. [18]

<i>Paramètre</i>	<i>Valeur</i>
Salinité du rejet	69,13 g/l
Salinité initiale	38,5 g/l
Variation de salinité	33.63 mg/l
Débit maximum	5.638 m ³ /h

Les paramètres techniques de la décharge par l'émissaire sous-marin de la station de dessalement de Fouka, sont les suivantes :

- Profondeur dans la bouche de déchet : 10 m
- Diamètre bouche émissaire : 1.4 m
- La vitesse de décharge : 1,7 m/s
- Débit versé verticale: 5.638 m³/h (1,56 m³/s)
- Salinité de calcul eau de mer : 39,38 g/l
- Salinité eau de mer (20°C) : 28,1 g/l
- Salinité effluent (20°C) : 55,1 g/l
- Vitesse environnementale du courant : 5 cm/s

VI.6- Conclusion :

Dans ce chapitre on a évoqué les différents types du rejet et leur impact sur l'environnement. La comparaison de la qualité physico-chimique de la saumure et de l'eau de mer a montré l'augmentation de la salinité engendrée par le déversement de la saumure.

Pour le cas de la station de Fouka des efforts ont été consentis pour la protection de l'environnement, ainsi avant le rejet, la saumure est neutralisée et son pH ajusté à celui de l'eau de mer. D'autre part, l'installation d'un émissaire par diffusion pour assurer une meilleure dilution de la saumure et limiter les impacts de la station sur l'environnement.

Conclusion générale :

Cette étude, bien que limitée dans le temps, nous a permis de réaliser certains objectifs concernant le fonctionnement de la station de dessalement d'eau de mer de Fouka wilaya de Tipaza en particulier sur la performance du procédé de dessalement par osmose inverse.

Dans cette étude on a fait un diagnostic des différentes étapes : prétraitement, unité d'osmose inverse, et poste traitement et relever tous les dysfonctionnements; on a effectué des prélèvements et analyser les échantillons : d'eau brute, d'eau douce produite et de saumure afin de s'assurer du bon fonctionnement des différentes phases de traitement et en fin on a exploiter les résultats des analyses pour mettre en évidence la performance du prétraitement, du traitement et du post traitement. On a relevé les analyses de la saumure et le comparer à l'eau de mer pour illustré la grand différence entre eux ainsi que l'impact de la saumure et des autres rejets sur l'écosystème marin, enfin on va proposer des solutions pour corriger les dysfonctionnements et mesures d'atténuation des impacts sur les ressources marines.

Pour les mesures d'atténuation prises par la station de dessalement Fouka il y a l'émissaire composé d'une conduite de DN1400 en PEHD de 500 m de longueur. Celui-ci est décalé de 300 m à l'Est de la prise d'eau. Notons que les courants sont d'ouest en est. Le panache créé par l'émissaire sera donc loin de la prise d'eau ce qui diminue convenablement la salinité de la saumure et par la suite l'impact sur l'environnement.

Références bibliographiques :

- [7] : Alain. Maurel, 2006. «Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres». 2^{ème} éditions, 286 P.
- [12] : Alain. Maurel (2001). «Dessalement des eaux de mer et des eaux saumâtre technique et des autres procédés non conventionnels d'approvisionnement en eau douce 1^{ère} édition» Lavoisier TEC et DOC paris, 226P
- [9] : Arnoult et Fournier. Dessalement de l'eau de mer, 1999.
- [10] : Annik. Bouroche, Michèle le Bars, 1994 «Techniques de séparation par membranes : vocabulaire français-anglais. » P 60.
- [5] : Centre de développement des énergies renouvelables (CDER), 2009
- [29] : Claude Cardot, Les traitements de l'eau, Ellipses 1999.
- [22] : Contrat EPC, Construction d'une usine de dessalement d'eau de mer de Fouka, 2005.
- [28] : CHEKROUD.M (2014).Etude des performances de la station de dessalement de la Wilaya de Skikda, Thèse pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'Etat en hydraulique, ENSH, Blida, 104P.
- [13] : Etori. A.(2011).Vieillesse chimique de membranes d'osmose inverse ,Thèse de Doctorat ,l'université de Toulouse, Toulouse,240P.
- [24] : Hussain.A, ed., « Integrated Power and Desalination Plants ». Oxford, Eolss Publishers Co. Ltd., 2003.
- [15] : Marchand. D ,Lament. A, Mouchet. P,Lesoil. M,Baig. S, Rovel. J. M, Mazounie. P,Bourdelet.J .C, Bonneley. V, Hesse. C, Hanbry.J .C, Moles.J, Nicol. R et Angel. M. (2005). «Mémento technique de l'eau 10^{ème} édition», Tome III, édition DEGREMONT, paris. 932P.
- [14] : Mehdi .M. (Juin 2006) : optimisation des systèmes de dessalement par osmose inverse : conception, paramètres de fonctionnement et simulation numérique. Thèse de Doctorat, Ecole Nationale Polytechnique d'Alger, Alger, 187P.
- [26] : Mesleh.F 2014 : « Etude d'impact du dessalement sur l'environnement. Thèse de Master, Université de Blida, » 107P.
- [18] :National Eau et Environnement (NEE), étude d'impact sur l'environnement de la réalisation et l'exploitation de l'usine de dessalement d'eau de mer de FOUKA
- [4] : Nichan,M ; Kheli M.A Changement climatique et ressource en eau en Algérie. 2015
- [8] : PHILIPPE APTEL, «Techniques de l'ingénieur », (OI, NF, UF) application en traitement des eaux, W4120- (2-3).

[23] : Plan bleu. (2008). Eau, énergie, dessalement et changement climatique en Méditerranée, Centre d'Activités Régionales du PNUE/PAM.

[22] :PNUE Athènes, 2001 (dessalement de l'eau de mer dans les pays méditerranéens: évaluation des impacts sur l'environnement et lignes directrices proposées pour la gestion de la saumure) volume 183, P 1-67.

[1] : Problématique du secteur de l'eau et impact liés au climat en Algérie PNUD 2009

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

[3] : REMINI.B, La problématique de l'eau en Algérie du nord. ed 2005

[9] : Séverine plantier.(2013).Procédé de prétraitement d'eau avant osmose inverse en présence d'efflorescences Algales, Thèse de Doctorat, Université de Nantes,Saint-Nazaire,260P.

[21] : Usine de dessalement de Fouka-Algérie. Project Number: 0172543000-45ED-3-0001_R08 Acciona.

[17] : ZAMICHE.S, présentation du projet de dessalement de FOUKA, 2014.

[16] : Zerluth J, Gienger. (2006). l'eau et ses secrets nature et action de l'eau. Pour une eau de qualité » édition des Iris. 187P.

[11] : Zouini .D. (2009).Le dessalement de l'eau de mer par osmose inverse : une solution pour l'alimentation en eau des villes côtières d'Algérie. Revue HTE N°142, P78-86.

➤ **Les sites internet :**

[4] www.A.N.R.H.dz

[6] www.A.D.E.dz

[20] www.google.earth.com

[25] www.ecotoxicologie.fr

[27] www.plancton.fr

ANNEXES

Annexe N°1 : Diagramme générale de la station de dessalement de Fouka

