

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
المدرسة الوطنية العليا لعلوم لبحرا و تهيئة الساحل
Ecole Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de
l'Aménagement du Littoral



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME
D'INGENIEUR EN SCIENCES DE LA MER

OPTION : Environnement Marin

Thème :

Etude de la performance de la station de dessalement de
l'eau de mer de Fouka et son impact sur l'environnement
marin

Présenté par :

➤ **TEMMAR Soumia**

Soutenu le 10 juillet 2016 devant le jury :

Mme. MAOUEL D.	M.C.B.	ENSSMAL	Présidente
Mme. AMROUCHE L.	M.A.A.	ENSSMAL	Examinatrice
M. KADA M.	M.A.B.	ENSSMAL	Examineur
M. DRICHE M.	M.C.B.	ENSSMAL	Promoteur
M. KHATEB M.	Dr	SNC-LAVANA	Co-promoteur

Promotion: 2015/2016

Si, l'histoire de chercher de l'eau est l'histoire de l'homme,
Celle de dessaler pour adapter la mer à boire,
est la véritable histoire de la science.

-MEHDI METAICHE-

Remerciement

Louange à ALLAH seigneur de l'univers le tout puissant qui m'a donnée le courage et la patience pour réaliser ce travail.

Je tiens tout d'abord à remercier le professeur Mohamed DRICHE maitre de conférence à l'ENSSMAL et Mohamed KHATEB le directeur technique de la station de dessalement de Fouka pour avoir accepté d'encadrer et de diriger ce travail, et pour leurs conseils, leurs soutiens et leurs encouragements qui étaient la source généreuse de l'aide tout au long de ce travail.

Je remercie aussi très sincèrement Mme SEMMAR Nadia chef de laboratoire de la station de Fouka pour m'avoir encadrée et dirigée durant toute la période du stage, je la remercie pour ses conseils, sa patience et surtout pour son soutien.

Mes remerciements vont également à Mme MAOUEL D. d'avoir accepté d'être Président du jury de ce mémoire.

Je tiens à remercier également Mme AMROUCHE L. et Mr KADA M. d'avoir accepté d'examiner ce travail.

Je remercie également Ibtissem OULD AMAR ingénieure de laboratoire à la station de dessalement de Fouka pour son aide et sa disponibilité.

Je remercie Fouaz et Raouf pour leur précieux aide.

Dédicaces

*A la mémoire de mon père que Dieu lui accorde sa
miséricorde.*

*A ma mère qui est toujours présente et m'accompagne à
chaque moment de ma vie, merci ma chère maman.*

*A mes sœurs et mon frère Imy, Mimi, Zina, Roki, Fifi, Rahim et
Hafousa.*

*A mes neveux Sohaib, Adam, Feras et mes nièces Zozo et
Sara.*

A mes chères amies Karima, Imene, Asma et Kadidja.

*A Sousam qui ma supportée et encouragée pendant toutes ces
années.*

Liste des abréviations

ADE : Algérienne des eaux

C° : Degré Celsius.

CF : Coliformes fécaux

CMA : Concentration Maximal Admissible.

COD : Carbone organique dissous

Cond : conductivité

COP : Carbone organique particulaire

CT : Coliformes totaux

Da : Dalton

FPM : Faible poids moléculaire

HPM : Haut poids moléculaire

IL : Indice de Langelier.

MES : Matières En Suspensions.

ms /cm : Milli Siemens par Centimètre.

NTU : Nephelometric Turbidity Unit.

OI : Osmose inverse.

OMS : Organisation Mondiale de la Santé.

PH : Potentiel d'Hydrogène.

SDI : Silt Density Index.

SF : Streptocoques fécaux

TA : Titre Alcalimétrique.

TAC: Titre Alcalimétrique Complet.

TDS : Total dissolved Solids

Temp : Température

TH : Titre Hydrométrique.

Turb : Turbidité

Liste des figures

Figure I.01 : capacité mondiale de dessalement installée cumulée.....	19
Figure I.02 : Procédés de dessalement industrialisés.....	20
Figure I.03 : Principe de l'osmose et de l'osmose inverse.....	21
Figure I.04 : Schéma général d'une station de dessalement par osmose inverse.....	22
Figure I.05 : Membrane selective.....	22
Figure II.01 : Photo de la station de Fouka.....	30
Figure II.02 : Plan de situation de la ville de Fouka.....	31
Figure II.03 : Le prétraitement.....	32
Figure II.04 : Reservoir des effluents.....	34
Figure III.01 : Prélèvements des échantillons dans la station de Fouka.....	38
Figure III.02 : Mesure du pH et de la conductivité.....	39
Figure III.03 : Mesure de la turbidité.....	39
Figure III.04 : Mesure des MES et du TDS.....	40
Figure III.05 : Dosage de calcium.....	41
Figure III.06 : Dosage de la dureté totale.....	41
Figure III.07 : Dosage de TAC.....	42
Figure III.08 : Dosage des chlorures.....	42
Figure III.09 : Mesure de SDI.....	43
Figure IV.01 : L'évolution de la température pendant le prétraitement.....	46
Figure IV.02 : L'évolution du pH pendant le prétraitement.....	47
Figure IV.03 : L'évolution de la conductivité pendant le prétraitement.....	47
Figure IV.04 : L'évolution de la turbidité pendant le prétraitement.....	48
Figure IV.05 : L'évolution du TDS pendant le prétraitement.....	49
Figure VII.06 : L'évolution du SDI pendant le prétraitement.....	49
Figure IV.07 : L'évolution du pH pendant l'osmose inverse.....	50
Figure IV.08 : L'évolution de la conductivité pendant le l'osmose inverse.....	51
Figure IV.09 : L'évolution du TDS pendant le l'osmose inverse.....	51
Figure IV.10 : L'évolution du calcium pendant l'osmose inverse.....	52
Figure IV.11 : L'évolution du chlorure pendant l'osmose inverse.....	52
Figure IV.12 : L'évolution de la dureté pendant l'osmose inverse.....	53
Figure IV.13 : L'évolution de TAC pendant l'osmose inverse.....	54
Figure IV.14 : Variation de l'indice de Langelier.....	55

Figure IV.15 : variation des teneurs en bore dans l'eau traitée.....	56
Figure IV.16 : Variation des paramètres physico-chimiques de l'eau traitée -1-.....	58
Figure IV.17 : Variation des paramètres physico-chimiques de l'eau traitée -2-.....	59
Figure IV.18 : Variation des paramètres physico-chimiques de l'eau traitée -3-.....	60
Figure IV.19 : Variation des paramètres physico-chimiques de l'eau traitée -4-.....	61
Figure IV.20 : Variation des paramètres physico-chimiques de l'eau traitée -5-.....	62
Figure IV.21 : Variation des paramètres physico-chimiques de l'eau traitée -6-.....	63
Figure IV.22 : Variation de la température du rejet.....	65
Figure IV.23 : Variation du pH du rejet.....	65
Figure IV.24 : Variation de la conductivité du rejet.....	66
Figure IV.25 : Variation de la salinité du rejet.....	67
Figure IV.26 : Variation des chlorures du rejet.....	68
Figure IV.27 : Variation du calcium du rejet.....	69
Figure IV.28 : Variation des MES du rejet.....	69
Figure IV.29 : Variation des teneurs en fer du rejet.....	70

Liste des tableaux

Tableau I.01 : La salinité des différentes mers.....	16
Tableau I.02 : Concentration des éléments majeurs présents dans une eau de mer de salinité 35,000 mg.kg.....	17
Tableau I.03 : Concentration moyenne des principaux éléments traces métalliques présents dans une eau de mer.....	17
Tableau I.04 : Principaux éléments nutritifs dans l'eau de mer.....	18
Tableau II.01 : Caractéristiques physico-chimiques moyennes de l'eau de mer de Fouka.....	31
Tableau IV.01 : Taux de rejet des membranes d'osmose inverse.....	54
Tableau IV.02 : Résultats d'analyse bactériologiques de l'eau traitée.....	57
Tableau IV.03 : Résultats des analyses organoleptiques de l'eau traitée.....	64

Sommaire

Sommaire

Liste des abréviations.....	I
Liste des figures.....	II
Liste des tableaux.....	III
Remerciement.....	IV
Dédicaces.....	V
Introduction.....	13

Chapitre I: Généralités

I Les eaux marines et la salinité.....	16
I.1 Composition de l'eau de mer.....	16
I.1.1 Constituants majeurs.....	16
I.1.2 Les éléments traces métalliques.....	17
I.1.3 Les éléments nutritifs.....	17
I.1.4 Matière organique.....	18
I.1.4.1 Matière organique dissoute.....	18
I.1.4.2 Matière organique particulaire.....	18
II. Le dessalement de l'eau de mer.....	18
II.1 Historique du dessalement de l'eau de mer au monde.....	18
II.2 Le dessalement de l'eau de mer en Algérie.....	19
II.3 Les procédés de dessalement.....	20
II.3.1 Procédés de distillation.....	200
II.3.2 Procédés à membranes.....	21
II.3.3 Osmose Inverse.....	21
II.3.3.1 Principe d'osmose inverse.....	21
II.3.3.2 Schéma général d'une installation d'osmose inverse.....	21
III.1 Modules d'osmose inverse.....	22
III.2 Performances des membranes d'osmose inverse.....	23
III.3 Colmatage des membranes.....	24

III.3.1 Colmatage,par entartrage.....	24
III.3.2 Colmatage par dépôt	24
III.3.3 Le biocolmatage	24
III.4 Estimation du potentiel de colmatage	25
IV L'impact du dessalement sur l'environnement marin	25
IV.1 Origine et type des rejets.....	26
IV.1.1 Rejets atmosphériques.....	26
IV.1.2 Les rejets chimiques.....	26
IV.1.3 La saumure concentrée.....	26
IV.2 Impacts sur l'environnement.....	26
IV.2.1 Effets dus aux produits de la corrosion.....	26
IV.2.2 Effets dus aux additifs antitartres	27
IV.2.3 Effets des additifs antisalissure.....	27
IV.2.4 Effets des additifs anti mousses	27
IV.2.5 Effets du concentré (saumure).....	27

Chapitre II : Zone d'étude

II.1 Présentation de la station de dessalement de Fouka.....	30
II.2 Situation géographique.....	30
II.3 Caractéristiques de l'eau de mer de Fouka	31
II.4 Principales composantes de l'usine	31
II.5 Le procédé de dessalement par osmose inverse	32
II.5.1 Le Prétraitement	32
II.5.2 Le Traitement.....	33
II.5.3 Le Post-traitement (la reminéralisation)	33
II.5.6 Traitement des effluents	33

Chapitre III : Matériel et Méthodes

III. 1 Etude de la performance de la station	37
III.1.1 Prélèvements et échantillonnage.....	37
III.1.2 Méthodes d'analyse.....	38

III.1.2.1 La température :	38
III.1.2.2 Le pH :	38
III.1.2.3 La conductivité :	38
III.1.2.4 La turbidité :	39
III.1.2.5 Le TDS et les MES :	39
III.1.2.6 La dureté totale :	41
III.1.2.7 Le titre alcalimétrique complet (TAC):	41
III.1.2.8 Le chlorure (Cl) :	42
III.1.2.9 Standard Density Index (SDI):	42
III.1.2.10 Indice de saturation de Langelier (LSI) :	43
VI.2 Analyse des rejets de saumure.....	44

Chapitre IV : Résultats et Discussions

IV.1 Etude de la performance de prétraitement	46
IV.1.1 La température.....	46
IV.1.2 Le pH.....	47
IV.1.3 La conductivité.....	47
IV.1.4 La turbidité.....	48
IV.1.5 Le TDS	48
IV.1.6 Le SDI.....	49
IV.2 Etude de la performance du traitement	50
IV.2.1 Le pH.....	50
IV.2.2 La conductivité.....	50
IV.2.3 Le TDS	51
IV.2.4 Le calcium	51
IV.2.5 Les chlorure.....	52
IV.2.6 Le TH	53
IV.2.7 Le TAC.....	53
IV.3 Etude de la qualité de l'eau reminéralisée.....	54
IV.3.1 Indice de Langelier.....	54
IV.3.2 Le bore	55
IV.3.3 Qualité bactériologique de l'eau traitée.....	56

IV.3.4	Variation des paramètres physico-chimiques de l'eau traitée.....	57
IV.3.5	Les paramètres organoleptiques.....	63
IV.3.5.1	La couleur	64
IV.3.5.2.	La turbidité	64
IV.4	Impact de la station de dessalement de Fouka sur l'environnement.....	64
IV.4.1	La température.....	64
IV.4.2	Le pH.....	65
IV.4.3	La conductivité.....	66
IV.4.4	La salinité.....	66
IV.4.5	Le chlorure.....	67
IV.4.6	Le calcium.....	68
IV.4.7	Les matières en suspension.....	69
IV.4.8	Le fer	70
Conclusion.....	71
Références bibliographiques	75
Annexes.....	78

Introduction

Introduction

« A partir de l'eau, nous avons constitué toute chose vivante » (Sourate des Prophètes, V.30), l'eau est le principal constituant des êtres vivants et l'élément indispensable à toute forme de vie. Sans eau, aucun organisme, qu'il soit végétal ou animal, simple ou complexe, petit ou gros, ne peut vivre.

Mais malheureusement 3 à 4 milliards d'êtres humains n'ont pas accès à l'eau potable (PNUE, 2001).

Aujourd'hui, dans de nombreuses régions du monde, les ressources en eau douce pour la production d'eau potable sont inexistantes ou insuffisantes vis-à-vis de la croissance démographique ou de la production industrielle. Avec une personne sur huit n'ayant pas accès à l'eau potable, deux tiers de la population en situation de stress hydrique d'ici 2025, et autant de réfugiés potentiels de la soif (PNUE, 2001).

Alors que la rareté de l'eau se fait de plus en plus sentir et devient sans doute l'un des défis majeurs de ce siècle, le dessalement s'impose de plus en plus comme une solution, notamment dans les pays comme l'Algérie où les populations sont concentrées sur les côtes. Le dessalement est en forte croissance dans le monde avec une capacité d'installée qui augmente en moyenne de 10% par an. La réduction significative des coûts et la bonne maîtrise des techniques, qui est en constant progrès, le rend plus compétitif (PLAN BLEU, 2008).

En Algérie, la demande en eau douce croît chaque année de 4 à 5% tandis que les ressources naturelles restent invariables voir même qu'elles diminuent (Kettab, 2001) pour cela le recours au dessalement de l'eau de mer est aujourd'hui une nécessité absolue et une méthode prépondérante pour la production d'eau potable.

Pour pallier le manque de l'eau potable, le dessalement de l'eau de mer est donc entrain de devenir une panacée, mais dessaler à grande échelle l'eau de mer pour la transformer en eau douce peut vraiment être la solution idéale ?

Une étude de la performance de la station de dessalement de l'eau de mer de Fouka et son impact sur l'environnement marin a fait l'objet de ce travail qui se présente comme suit :

La première partie est consacrée à des généralités sur le dessalement, à savoir son historique, ses procédés et son impact sur l'environnement ainsi la présentation du cadre d'étude et la description de la station de dessalement étudiée, dans la deuxième partie on a représenté le matériel utilisé et les méthodes opératoires suivies.

Enfin dans la dernière partie on verra les résultats du suivi de procédé de dessalement au niveau de la station de dessalement et ceux de ses rejets et leurs interprétations.

Partie
Bibliographique

Chapitre I

Généralités

I Les eaux marines et la salinité

Le terme d'eau de mer regroupe l'eau salée des mers et des océans à la surface de la terre. Elle occupe un volume estimé à 1 340 millions de km³, ce qui représente 97 % de la capacité totale des grands réservoirs d'eau à la surface de la terre (Tansakul, 2009).

L'eau de mer est une solution complexe qui contient tous les éléments indispensables à la vie (calcium, silicium, carbone, azote, phosphore, oligo-éléments), des matières organiques et, naturellement à l'état dissous, les gaz présents dans l'atmosphère (Tansakul, 2009).

L'eau de mer est faiblement alcaline, son pH étant compris entre 7.5 et 8.4, 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) (Tansakul, 2009).

La salinité moyenne des eaux des mers et océans est de 35 g/L et varie en fonction du bilan précipitation-évaporation, elle varié aussi entre une mer ouverte et une mer fermée dans ce cas là en trouve la salinité beaucoup plus élevée par rapport à une mer ouverte (tableau I.01).

Tableau I.01 : La salinité des différentes mers (Maurel, 2006)

Mer	Teneurs en sels (g/l)
Mer Méditerranée	36 à 39
Mer Rouge	40
Mer Baltique	7
Mer Morte	270
Mer Noire	20
Mer Caspienne	13
Golfe arabo-persique	40 à 70

I.1 Composition de l'eau de mer

La composition de l'eau de mer est toujours la même. Seule la quantité des sels dissous varie en fonction du relief, de l'environnement ou du climat, elle représente un ensemble complexe d'espèces inorganiques et organiques.

I.1.1 Constituants majeurs

La grande particularité de l'eau de mer est que les proportions relatives de ses constituants sont sensiblement constantes (c'est-à-dire indépendantes de la salinité); cette propriété a été établie par le chimiste écossais William Dittmar, et permet de considérer l'eau de mer comme une solution de onze constituants majeurs qui représentent plus de 99,9 % de la masse totale de substances dissoutes dans l'eau de mer (Tansakul, 2009).

Le tableau I.02 montre ces constituants et leurs concentrations dont le chlore et le sodium sont les constituants les plus abondants.

Tableau I.02 : Concentration des éléments majeurs présents dans une eau de mer de salinité 35,000 mg.kg/1 (Copin-Montégut, 1996)

Constituant	Concentration (mg.kg/1)
Cl ⁻	19 354
Na ⁺	10 770
SO ₄ ⁻⁻²	2 712
Mg ²⁺	1 290
Ca ²⁺	412,1
K ⁺	399
HCO ⁻ , CO ₃ ⁻⁻²	118-146
Br ⁻	67,3
Sr ²⁺	7,9
Btotal	4,5
F ⁻	1,3

I.1.2 Les éléments traces métalliques

Les « éléments traces métalliques » (ETM) (présentés ci-dessous dans le tableau I.03) sont définis comme les éléments métalliques présents avec une concentration d'environ une partie par billion (10⁻³ mg/kg) en masse, ou moins.

Tableau I.03 : Concentration moyenne des principaux éléments traces métalliques présents dans une eau de mer (Brown *et al.*, 1997)

Constituant	Concentration (× 10 ⁻³ mg.kg ⁻¹)
Titane, Ti	1
Zinc, Zn	0,5
Nickel, Ni	0,48
Aluminium, Al	0,4
Chrome, Cr	0,3
Cadmium, Cd	0,1
Cuivre, Cu	0,1
Fer, Fe	0,055
Manganèse, Mn	0,03
Plombe, Pb	0,002
Mercure, Hg	0,001

I.1.3 Les éléments nutritifs

Le terme d'« éléments nutritifs » comprend donc principalement le nitrate (NO_3^-) et l'ammoniac (NH_4^+), le phosphore sous forme phosphate (PO_4^{3-}) et le silicium tel que la silice (SiO_2). Les nutriments sont utilisés par les phytoplanctons, cellules végétales de taille d'un à quelques centaines de microns qui dérivent à la surface des océans et photosynthétisent des hydrates de carbone, de l'oxyde de carbone et de l'eau.

Le tableau I.04 représente les principaux éléments nutritifs en eau de mer avec leurs espèces dissoutes et leurs concentrations. L'azote est l'élément nutritif le plus abondant.

Tableau I.04 : Principaux éléments nutritifs dans l'eau de mer (Brown et al., 1997)

Éléments nutritifs	Espèces dissoutes possibles	Concentration (mg kg ⁻¹)
Azote	N_2 , NO_3^- , NH_4^+	11,5
Silicium	$\text{Si}(\text{OH})_4$	2
Phosphore	HPO_4^{2-} , PO_4^{3-} , H_2PO_4	0,06

I.1.4 Matière organique

La plupart du carbone organique dans l'océan est sous la forme de matière organique dissoute et principalement de molécules à faible poids moléculaire. Seulement 1% du carbone organique est de la matière organique particulaire. Environ 75 % du carbone organique dissous est de la matière organique dissoute de faible poids moléculaire (Benner et al., 1997).

I.1.4.1 Matière organique dissoute

La MOD peut être classifiée selon sa taille, en MOD de faible poids moléculaire (FPM) et MOD de haut poids moléculaire (HPM). La MOD de HPM est définie comme la fraction qui est retenue par une membrane de seuil de coupure de 1000 Da, ce qui est équivalent environ à une taille moyenne des pores d'environ 1 nm. La FPM est la fraction qui peut traverser cette membrane. Les molécules HPM constituent 25-40 % du COD pour l'eau de mer surfacique et 20-25 % du COD pour l'eau de mer profonde (Tansakul, 2009).

I.1.4.2 Matière organique particulaire

Les matières particulaires dans l'eau de mer sont d'origine biologique, elles peuvent être classifiées selon leur taille. Les plus petites particules (moins de 1 μm jusqu'à quelques dizaines de μm) se composent de bactéries et de cellules algales, d'autres débris organiques fins, et des particules inorganiques particulièrement des minéraux d'argile et des composés hydratés insolubles tels que $\text{Fe}(\text{OH})_3$ (Tansakul, 2009).

II. Le dessalement de l'eau de mer

II.1 Historique du dessalement de l'eau de mer au monde

Dessaler l'eau de mer n'est pas une idée récente. Depuis des temps très anciens on avait pu constater que si l'on portait à ébullition de l'eau saline on obtenait, par condensation de la vapeur, de l'eau déminéralisée. Les premiers appareils industriels de distillation sont apparus probablement dans la première moitié du XIX^e siècle à bord des navires à vapeur. Mais c'est durant la seconde moitié du XX^e siècle et plus particulièrement entre 1975 et 2000 que le dessalement de l'eau de mer et des eaux salines est devenu un moyen industriel fiable de production d'eau douce (Maurel, 2006).

La production mondiale d'eau dessalée s'élève actuellement à 47 millions de mètres cubes par jour, soit 0,45 % de la consommation d'eau douce journalière sur notre planète. En 2008, la capacité mondiale de dessalement des eaux se montait à 52 millions de m³ par jour (42 millions de m³ d'eau de mer et 10 millions de m³ d'eau saumâtre). Cette capacité augmente de puis quelques années à un rythme soutenu, de l'ordre de 10% par an comme le montre la figure I.01 ci-dessous.

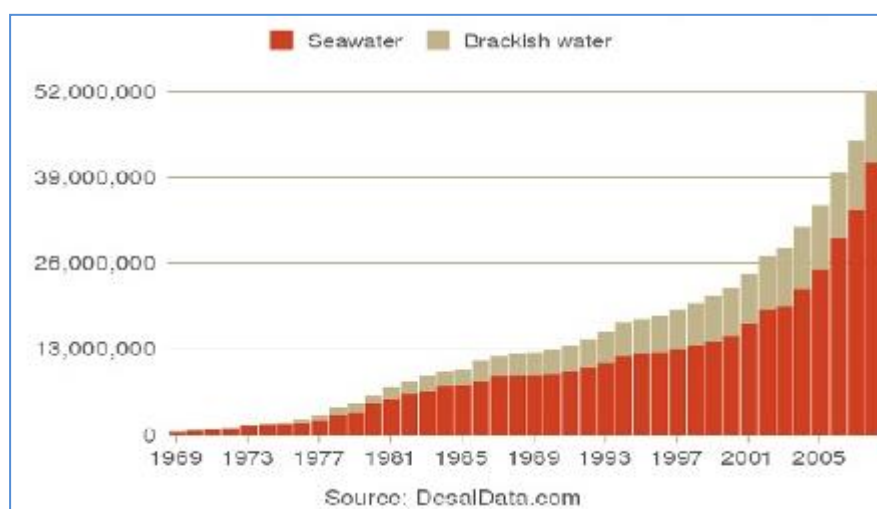


Figure I.01 : Capacité mondiale de dessalement installée cumulée (Zouini, 2009)

Aujourd'hui, plus de 15 000 unités de dessalement dans 120 pays produisent environ 40 millions de m³/j, dont les trois quarts issus de l'eau de mer et un quart des eaux saumâtres. Sur ces 40 millions, 75% sont destinés à la consommation humaine, 25% à un usage industriel ou agricole (Patier & Blanchon, 2010).

II.2 Le dessalement de l'eau de mer en Algérie

L'Algérie est un pays semi-aride et les ressources en eau sont faibles, irrégulières et localisés dans la bande côtière, l'apport total des précipitations serait de l'ordre 100 milliards de mètres cubes d'eau par an dont 12,4 milliards de mètres cubes sont mobilisables en tenant compte des sites techniquement favorables (hydrologie,

topographie, géologie). La demande en eau douce, croit chaque année de 2 à 3%, tandis que les ressources naturelles restent invariables (Kettab, 2001).

Pour faire face à cette pénurie un programme national à été lancé en 2005 qui prévoit la réalisation de 43 stations de dessalement sur tous le long de la cote en vue de produire 2.26 millions de m^3 à l'horizon 2019, les stations de dessalement devraient produire un peu plus de deux million mètre cube par jour (ADE, 2014).

II.3 Les procédés de dessalement

La totalité des installations actuellement en service fait appel à deux grandes familles de procédés : les procédés par évaporation et les procédés de séparation membranes qui sont plus récents (figure I.02).

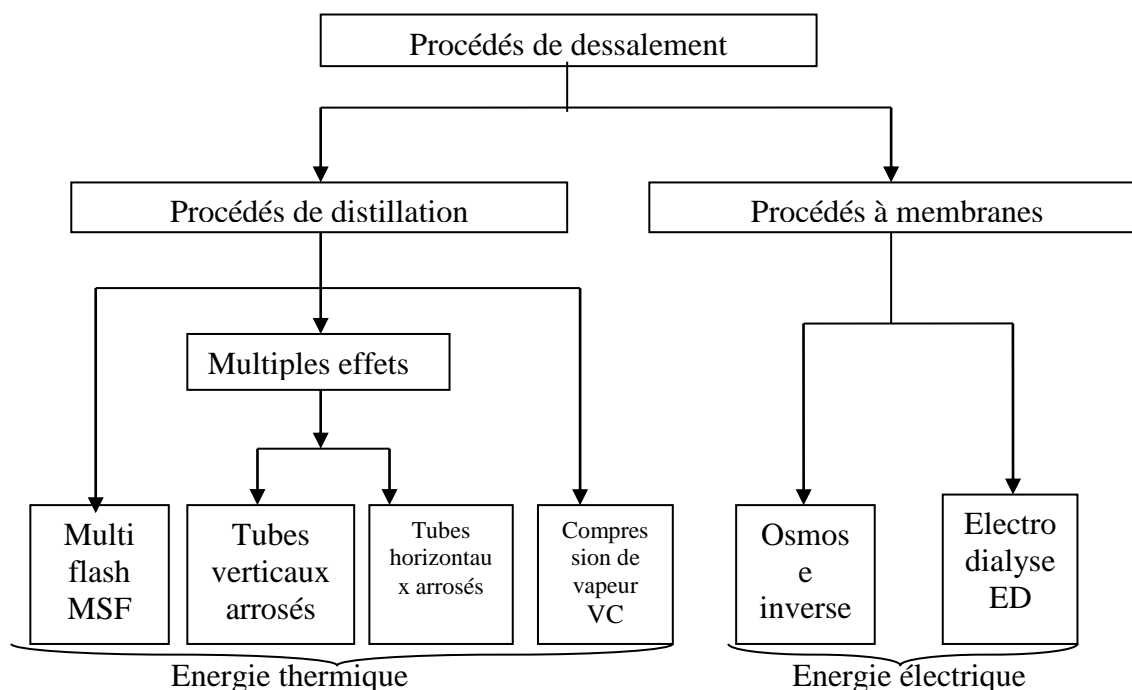


Figure I.02 : procédés de dessalement industrialisés (Maurel, 2006)

II.3.1 Procédés de 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 des temps forts anciens.

Les procédés de distillation qui peuvent être utilisés sont les suivants :

- distillation à simple ou multiples effets ;

- distillation par détentes successives appelé aussi multi flash ou flash ;
- distillation par compression de vapeur.

II.3.2 Procédés à membranes

Au lieu d'extraire par évaporation l'eau douce de l'eau de mer, on peut envisager une séparation de l'eau et des sels dissous au moyen de membranes sélectives. De tels procédés sont *a priori* séduisants puisqu'ils doivent pouvoir fonctionner à la température ambiante et qu'ils n'impliquent pas un changement de phase. Deux procédés utilisant de telles membranes sont actuellement commercialisés : ce sont l'électrodialyse et l'osmose inverse.

II.3.3 Osmose Inverse

II.3.3.1 Principe d'osmose inverse

L'osmose est le transfert de solvant à travers une membrane sous l'effet d'un gradient de concentration. Considérons un système de deux compartiments séparés par une membrane semi-perméable sélective et contenant deux solutions de concentrations différentes (Figure I.03). Le solvant (généralement l'eau) s'écoule à travers la membrane du compartiment de la solution moins concentrée vers le compartiment contenant la solution la plus concentrée, c'est le phénomène d'osmose. Si on applique progressivement une pression sur le compartiment de la solution la plus concentrée, le flux d'eau qui traverse la membrane va diminuer, puis s'annuler quand la pression appliquée atteindra à ce qui est appelé la pression osmotique. Si on applique une pression supérieure à la pression osmotique, l'eau va traverser la membrane dans le sens inverse du flux osmotique, c'est le phénomène d'osmose inverse.

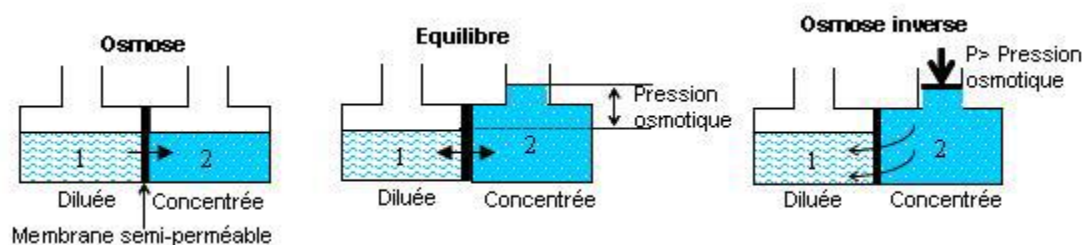


Figure I.03 : Principe de l'osmose et de l'osmose inverse (Tansakul, 2009)

II.3.3.2 Schéma général d'une installation d'osmose inverse

Une station de dessalement par OI est composée généralement des éléments suivants (figure I.04) :

- Un système d'alimentation en eau de mer ;
- Un ensemble de prétraitement physico-chimique de l'eau de mer ;
- Un dispositif de mis en pression de l'eau prétraité ;
- L'osmoseur proprement dit ;
- Un système de récupération de l'énergie de concentrât ;

(Ces composantes, ainsi tout le procédé de dessalement par osmose inverse vont être abordés en détail dans Chapitre II ‘zone d’étude’).

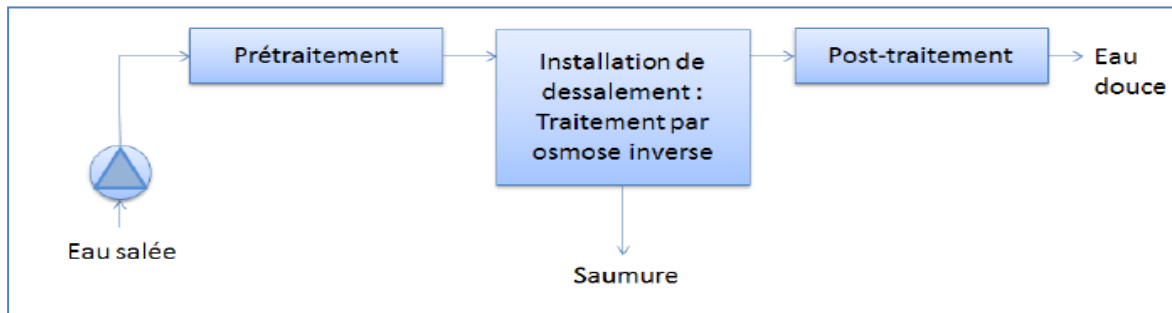


Figure I.04 : Schéma général d'une station de dessalement (Maurel, 2006)

III.1 Modules d'osmose inverse

Une membrane est une interface physique de faible épaisseur, qui contrôle le transfert d'espèces chimiques entre les deux milieux qu'elle sépare. Cette interface peut être homogène au niveau moléculaire, uniforme en composition et structure, ou elle peut être chimiquement et physiquement hétérogène, contenant des pores de dimensions définies ou contenant des couches superposées. Les membranes d'osmose inverse sont composées d'une couche mince (couche active : peau) de faible épaisseur comprise entre 0,1µm et 1,5µm, composant des micropores (Audinos, 2000).

La figure I.05 illustre la sélectivité d'une membrane d'osmose inverse.

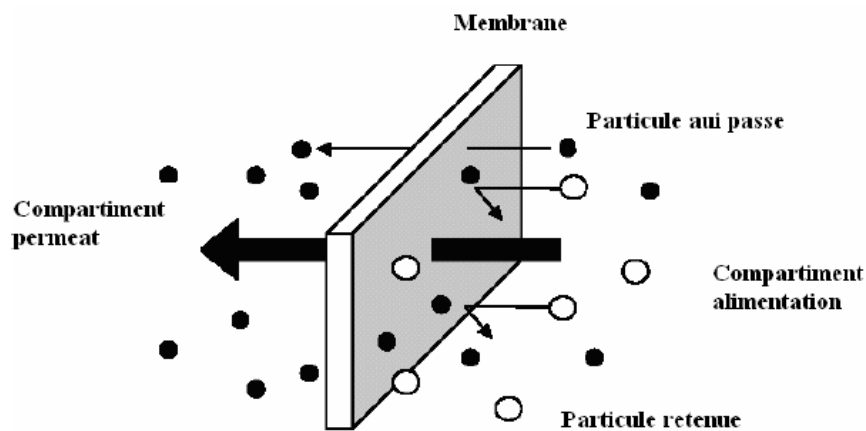


Figure I.05: Membrane sélective (Baker, 2004)

Pour être mise en œuvre, les membranes doivent être montées dans des supports appelés modules. Actuellement, quatre types de modules sont commercialisés (Maurel, 2006) :

- Modules tubulaires ;
- Modules à fibres creuses ;
- Modules plans ;
- Modules spirales.

✓ **Modules plans :**

Les modules plans sont les plus anciens et les plus simples : les membranes sont empilées en mille-feuilles séparées par des cadres intermédiaires qui assurent la circulation des fluides (Maurel, 2006).

✓ Modules tubulaires :

Un module tubulaire contient plusieurs tubes qui peuvent être en série ou en parallèle. L'eau à traiter circule à l'intérieur des tubes et le perméat est recueilli à l'extérieur des tubes. Les tubes constituent des canaux d'écoulement tangentiel (Maurel, 2006).

✓ Modules spiralés :

C'est un module particulier de membranes planes qui sont enroulées autour d'un axe creux collecteur de perméat. L'ensemble est introduit dans une enveloppe cylindrique dont les sections donnent accès à l'entrée de l'alimentation et à la sortie du retentât (Maurel, 2006).

✓ Modules à fibres creuses :

Ils contiennent plusieurs milliers de fibres dont le diamètre est de l'ordre de 1 mm. Les aiseaux ainsi obtenus sont encollés aux extrémités de façon à assurer l'étanchéité entre le compartiment (perméat) et l'alimentation. L'alimentation peut se faire à l'intérieur (interne- externe) ou à l'extérieur (externe-interne) des fibres creuses, selon que la peau active est à l'intérieur ou à l'extérieur de la fibre creuse (Maurel, 2006).

III.2 Performances des membranes d'osmose inverse

✓ Sélectivité

La sélectivité des membranes d'osmose inverse pour les différentes espèces chimiques dépend de leur possibilité de solvatation par l'eau, elle est définie par le taux de rejet (taux de rétention) de l'espèce : la proportion de la matière retenue par la membrane, par rapport à la concentration dans le flux d'alimentation.

Les espèces les plus fortement solvatées ont un taux de rejet toujours plus important. (Maurel, 2006).

$$TR = (1 - (C_p/C_0)) * 100$$

C_p : concentration de l'espèce dans la solution (eau de mer)

C_0 : concentration de l'espèce dans le perméat

✓ Perméabilité

Elle représente le flux volumique ou massique traversant la membrane par unité de surface membranaire.

✓ Conversion

Elle représente le rapport entre le flux de solvant traversant la membrane et celui d'alimentation.

✓ Résistance

Nous notons que la sélectivité et la perméabilité dépendent directement de la pression et de la température. Une membrane, est utilisée toujours dans les limites bien définies de P, T et pH.

✓ Durée de vie

Chaque membrane a une durée de vie, au-delà de laquelle, la membrane ne sera pas performante (chute de rendement et de performances, dégradation de l'état, usures...).

III.3 Colmatage des membranes

Nous définissons sous le terme de colmatage l'ensemble des mécanismes qui limitent le flux à travers une membrane. Dans le cas de l'osmose inverse, le phénomène de colmatage peut être classifié en quatre catégories comme suit: (Tansakul, 2006).

III.3.1 Colmatage par entartrage

L'entartrage sur une membrane est principalement causé par : (i) le dépassement de la limite de solubilité des composants inorganiques, c'est-à-dire qu'il y a une sursaturation et (ii) l'augmentation rapide de la vitesse de déposition. Des sels sursaturés vont précipiter sur la surface de la membrane et construire une couche fine qui bloque le transfert de matière à travers la membrane. L'entartrage a toujours lieu à la surface de la membrane car la concentration des sels est élevée près de la membrane par la polarisation de concentration. Les dépôts de tartre rencontrés le plus fréquemment dans le dessalement comportent du carbonate de calcium (CaCO_3), du sulfate de calcium ($\text{Ca}(\text{SO}_4)_2$), de l'hydroxyde de magnésium ($\text{Mg}(\text{OH})_2$) et des dépôts de silice (SiO_2 , CaSiO_3 , MgSiO_3 , etc....).

III.3.2 Colmatage par dépôt

Le colmatage par dépôt peut être de deux natures différentes qui peuvent coexister :

(i) le colmatage particulaire ou colloïdal : des colloïdes peuvent être agglomérés et adhérer à la membrane. Les colloïdes les plus courants sont des argiles de silicate d'aluminium ($0,3\text{-}1\ \mu\text{m}$) et des colloïdes de fer. Les microorganismes déposés font aussi partie de ce colmatage.

(ii) le colmatage par la matière organique : la dégradation de la matière organique produit une matrice de macromolécules appelée acide humique. Les matières organiques dans les eaux salées sont principalement des substances humiques à des concentrations entre $0,5$ à $20\ \text{mg.l}^{-1}$ pour l'eau saumâtre et jusqu'à $100\ \text{mg.l}^{-1}$ de COT pour l'eau de mer en surface (Fritzmam et al., 2007).

III.3.3 Le biocolmatage

Toutes les eaux de mer contiennent des microorganismes tels que des bactéries, des algues, des virus, etc. Ces microorganismes excrètent des substances polymériques extracellulaires qui adhèrent à la surface de la membrane et provoquent la formation d'un biofilm. La première étape de la formation du biofilm est probablement l'adsorption des molécules organiques sur la surface de la membrane. Cette couche organique conditionne la surface de la membrane et améliore l'adhésion des microorganismes. L'étape suivante est donc l'adhésion des microorganismes sur la surface de la membrane conditionnée ; cette étape est suivie par l'adhésion microbienne, la croissance des cellules adhérentes et par la suite la production de polymère extracellulaire. Nous avons vu qu'une eau de mer contient tous les éléments nécessaires pour le développement de micro-organismes. En osmose inverse, le colmatage par biofilm est un phénomène majeur (Tansakul, 2009).

III.4 Estimation du potentiel de colmatage

Pour caractériser le colmatage des membranes d'osmose inverse, différentes méthodes d'évaluation du potentiel de colmatage d'une eau ont été développées. La plus utilisée est le Silt Density Index (SDI). Le SDI est considéré comme un paramètre représentatif du potentiel de colmatage d'une eau saline d'alimentation dans un procédé d'osmose inverse. Il dépend de la quantité de particules mais également des autres composants colloïdaux. Un essai de SDI consiste en la filtration d'un échantillon d'eau à travers une membrane à une pression transmembranaire constante de 2 bars. Le SDI est déterminé par une comparaison des temps de filtration, t_1 et t_2 , nécessaires pour obtenir un volume de filtration fixe respectivement au temps 0 et après un temps t (Tansakul, 2009).

$$SDI_T = \frac{\left(1 - \frac{t_1}{t_2}\right) * 100}{t}$$

Avec :

SDI : Silt Density Index (% min-1)

t1 : temps initial pour filtrer un échantillon de 500 ml (sec)

t : temps après le départ de la mesure (min)

t2 : temps pour filtrer un échantillon de 500 ml après le temps 't' (sec)

Le SDI15 ($t = 15$ minutes) est défini comme le temps nécessaire pour des essais précis et normalisés. Néanmoins, des temps (t) plus faibles (3, 5 et 10 minutes) sont utilisés dans la pratique afin d'éviter un colmatage important et un flux trop faible.

On considère généralement que le SDI15 de l'eau d'alimentation doit être inférieur à 4 en osmose inverse (Tansakul, 2009).

IV L'impact du dessalement sur l'environnement marin

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 (Contrat EPC Fouka, 2005).

IV.1 Origine et type des rejets

IV.1.1 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.

IV.1.2 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 (Ettori, 2011).

IV.1.3 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.

IV.2 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.

IV.2.1 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 (Ettori, 2011).

IV.2.2 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 (Ettori, 2011).

IV.2.3 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 méthanes 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 (Ettori, 2011).

IV.2.4 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.

IV.2.5 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, 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 (Zamiche, 2014).

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 (Plan bleu, 2008).

Chapitre II

Zone d'étude

II.1 Présentation de la station de dessalement de Fouka

Au centre Algérien et à l'ouest de la capitale, la Wilaya de Tipaza a fait l'objet de l'installation d'une station de dessalement d'eau de mer (figure V.01), dans la ville de 'Fouka'. Sa capacité de production est de 120.000.m³/j, assurant l'approvisionnement en eau potable de 17 communes (**treize communes de la wilaya de Tipaza et quatre de la wilaya d'Alger**) soit une population d'environ 476.372 habitants. La station de dessalement de l'eau mer de 'Fouka' est mise en service en 2011 par l'entreprise « Myah Tipasa » qui représente un groupement d'entreprises constitué d'AEC (Algérien ElectricalEnergie) et de la Canadienne SNC Lavallin+Acciona.



Figure II.01 : Photo de la station de Fouka (Google earth)

II.2 Situation géographique

Située 35 km à l'Ouest d'Alger et au Nord- Est de la wilaya de Tipaza, la ville de Fouka s'étend sur une superficie de 1273 hectare (figure II.02), 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 Bousmail.

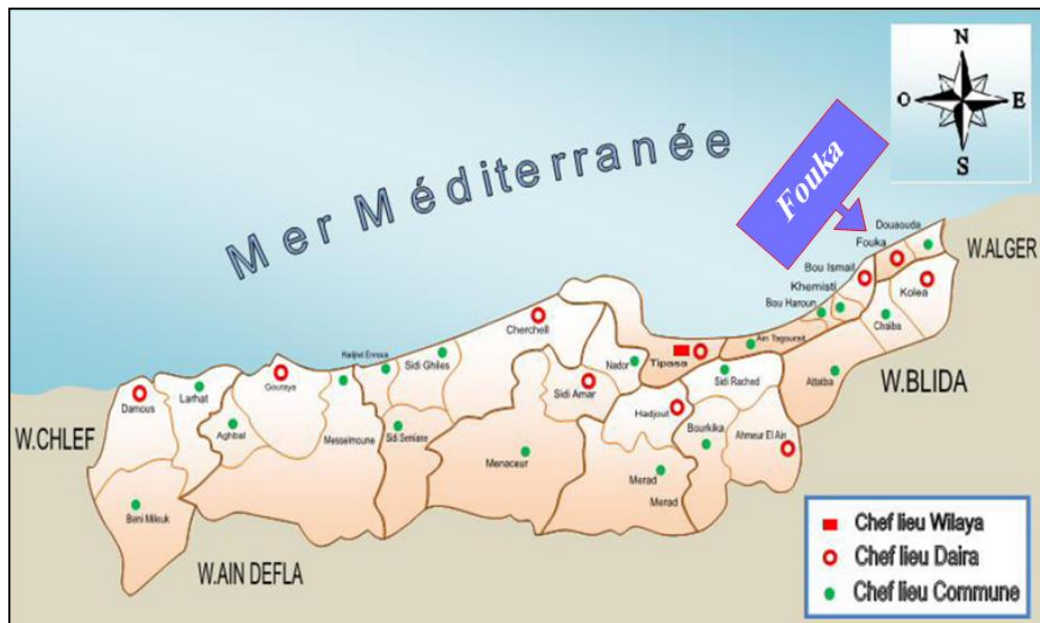


Figure II.02 : Plan de situation de la ville de Fouka (Zamiche, 2014)

II.3 Caractéristiques de l'eau de mer de Fouka

Les caractéristiques de l'eau de mer faisant l'objet du dessalement sont présentées dans le (tableau II.01 mesures prises par la station de Fouka). Il s'agit des conditions de base pour entamer l'opération de dessalement.

Tableau II.01 : Caractéristiques physico-chimiques moyennes de l'eau de mer de Fouka (Zamich, 2014)

Les paramètres physico-chimiques	Unité	La moyenne annuelle (2014)
Température	°C	19,7
Salinité	g/l	38,8
pH	/	8,1
MES	mg/l	5,8
TDS	g/l	38,59
Chlorure Cl^-	g/l	21.500
Calcium Ca^{++}	mg/l	503,7
HCO_3^-	mg/l	150,5
Conductivité	ms/cm	52,2

II.4 Principales composantes de l'usine

Les différentes installations de l'usine de dessalement de Fouka sont: (voir annexe I)

1. Deux prises d'eau de mer ouverte avec têtes de prise;
2. Une station de pompage d'eau de mer;

3. Prétraitement: injection de produits chimiques (hypochlorite de calcium, acide sulfurique, chlorure ferrique, polyelectrolyte, inhibiteur);
4. Un prétraitement de l'eau par filtration gravitaire et filtres à cartouches;
5. Le dessalement par osmose inverse. Système d'osmose inverse, Pompes haute pression et Système de récupération d'énergie;
6. Post-traitement. La reminéralisations par l'ajout de produits alcalins (Chaux) et CO_2 ;
7. Un réservoir d'eau traitée avec une station de pompage pour distribution;
8. Réservoir de traitement des effluents.



Figure V.03: Les étapes de dessalement

II.5 Le procédé de dessalement par osmose inverse

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

II.5.1 Le Prétraitement

Le prétraitement de l'eau de mer avant osmose inverse est absolument nécessaire car les membranes d'osmose inverse sont très sensibles au colmatage et une bonne qualité de l'eau en entrée des modules d'osmose inverse est indispensable pour assurer des performances stables de l'osmose inverse sur le long terme. Le prétraitement a pour objectif la réduction du colmatage, l'augmentation de la durée de vie des membranes, l'amélioration de la qualité de l'eau produite et la maintenance des performances de l'osmose inverse.

Les procédés de prétraitement (représentés dans la figure II.03 ci-dessous) peuvent être divisés en deux catégories : les prétraitements physiques et les prétraitements chimiques.

Les prétraitements physiques incluent les préfiltres mécaniques, la filtration à sable et les filtres à cartouche. Le prétraitement chimique consiste en l'addition d'inhibiteurs d'entartrage, de coagulants, de désinfectants et de polyélectrolytes.

Préfiltration grossière: le rôle principal de la préfiltration est d'éliminer les gros matériaux qui peuvent endommager les installations et réduire l'efficacité globale du procédé de traitement.

Chloration: La chloration est nécessaire pour désinfecter et éviter la croissance biologique qui cause le biocolmatage de la membrane. Le chlore est ajouté sous la forme d'hypochlorite de sodium (NaOCl) ou de gaz dichlore (Cl_2) qui est hydrolysé sous la forme d'acide hypochloreux (HOCl).

Ajustement du pH: l'addition d'acide comme l'acide sulfurique (H_2SO_4) est nécessaire pour empêcher l'entartrage par CaCO_3 .

Coagulation et floculation: les coagulants sont ajoutés pour que les particules colloïdales puissent s'agglomérer. Pour améliorer la procédure de floculation, des floculants comme les polymères cationiques ou anioniques sont également rajoutés. Les coagulants les plus utilisés sont le chlorure ferrique (FeCl_3), le sulfate ferrique ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$), le sulfate d'aluminium ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$).

Filtration sur sable bicouche: la filtration sur sable est nécessaire pour éliminer les agglomérats produits lors de la coagulation. Elle est effectuée de façon gravitaire, la station de Fouka est équipée de 10 filtres d'une hauteur de sable de 70 cm pour éliminer les MES (particules $\geq 25\mu\text{m}$) et une couche du charbon actif (anthracite) d'une hauteur de 30 cm pour éliminer les couleurs et les odeurs.

Filtration à cartouche: à fin 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.

II.5.2 Le Traitement

Après le prétraitement, l'eau est pompée avec des pompes haute pression jusqu'aux modules d'osmose inverse. Six filières d'osmose sont installées. Les filières d'osmose sont raccordées à un collecteur commun alimenté par six pompes haute pression.

❖ Caractéristiques des membranes :

Configuration : Spiralisée

Matériel : Polyamide

Réjection de sel : 99,6 %

Taux de conversion : $\approx 45\%$

pH d'opération : 2 – 11

Pression maximale : 70 bar

II.5.3 Le Post-traitement (la reminéralisations)

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 agressive et plus approprié à la distribution dans le réseau municipal.

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. Le système de reminéralisations est basé sur la méthode de gaz carbonique et de chaux. Le gaz carbonique est généré à partir d'un générateur de gaz carbonique à partir de gaz naturel.

Le CO_2 et le lait de chaux sont injectés en aval des unités d'osmose et du réservoir d'eau de service et en amont du réservoir d'eau traitée. 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

II.5.6 Traitement des effluents

Les rejets de procédé comprennent les éléments suivants:

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

Ces eaux sont acheminées vers le réservoir de traitement d'effluents (neutralisation des effluents) et, de là, vers l'émissaire.

Le volume du réservoir de traitement des effluents est de 100 m³. Les eaux du réservoir d'effluents s'écoulent en temps normal gravitairement et dans le cas d'opérations spécifiques, ils sont pompés vers la chambre de rejets.

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



Figure II.04: réservoir des effluents

Partie expérimentale

Chapitre III

Matériel

&

Méthodes

Introduction

Le but du travail est d'étudier la performance de la station de dessalement d'eau de mer de Fouka et d'évaluer son impact sur l'environnement marin, pour cela on va faire, d'une part un diagnostic des différentes étapes : le prétraitement, le traitement osmose inverse et le poste traitement pour vérifier le bon fonctionnement de chacune de ces phases de traitement, et d'autre part on va analyser le rejet des saumures de la station et évaluer son influence sur le milieu marin.

III. 1 Etude de la performance de la station

Pour étudier cette performance, un suivi a été fait sur une durée de trois mois au niveau de laboratoire de la station de Fouka.

III.1.1 Prélèvements et échantillonnage

La station de dessalement de Fouka est dotée de plusieurs sites de prélèvements, soit :

- A l'entrée de l'eau de mer : eau brute ;
- Après la filtration à cartouche : eau filtrée (=entrée osmose) ;
- A la sortie d'osmose inverse : perméat ;
- A la sortie d'osmose inverse : concentrât ;
- Au niveau du réservoir de l'eau traitée ;
- Au niveau du bassin des rejets (accès interdit aux stagiaires).

Mode opératoire :

Pour chaque site de prélèvement on a suivi la procédure suivante (figure III.01) :

- Préparation des flacons de prélèvement : flacons en plastique de 500 ml étiquetés du nom de l'échantillon
- Laisser l'eau couler pendant une minute
- Rincer le flacon trois fois avec l'eau à analyser
- Remplir le flacon et prendre la mesure de la température (avec un thermomètre Hanna) avant de fermer le flacon



Figure III.01 : Prélèvements des échantillons dans la station de Fouka

Soixante prélèvements ont été effectués durant les trois mois de stage (un seul échantillon pour chaque point de prélèvement une fois par semaine) et analysés au niveau du laboratoire de la station.

III.1.2 Méthodes d'analyse

Les analyses effectuées pour l'étude de la performance de la station de dessalement de Fouka sont :

III.1.2.1 La température :

Pour mesurer la température de l'eau, la station de dessalement est équipée par un thermomètre numérique introduit directement au niveau de la canalisation, mais pour plus de fiabilité la mesure de la température a été faite durant le prélèvement par un thermomètre Hanna.

III.1.2.2 Le pH :

Le pH est mesuré (figure III.02) au niveau du laboratoire, à l'aide d'un pH-mètre Hachlange sension, il doit être étroitement surveillé aux cours de toute opération de dessalement.

III.1.2.3 La conductivité :

La conductivité est mesurée (figure III.02) avec un conductimètre multi-paramètres (conductivité, salinité et TDS) Hachlange sension 7 à électrode, exprimée en Us/cm ou Ms/cm.



Figure III.02 : Mesure du pH et de la conductivité

III.1.2.4 La turbidité :

La mesure de la turbidité (figure III.03) a été effectuée avec d'un turbidimètre Hachlange qui est étalonné d'avance. L'échantillon est analysé en utilisant des tubes en verre bien nettoyés et bien séchés, remplis de l'eau à analyser (l'eau est homogénéisée doucement sans créer des bulles d'air) et le résultat est affiché en NTU (Nephelométric Turbidity Unit).



Figure III.03 : Mesure de la turbidité

III.1.2.5 Le TDS et les MES :

Les solides dans l'eau se trouvent soit en solution ou en suspension, et on peut les distinguer par une filtration d'un volume de 500 ml de notre échantillon à travers un filtre

de fibres de verre d'un diamètre de 0,7 µm. Les matières en suspension sont retenues sur le dessus du filtre, et les solides dissous passent à travers le filtre avec de l'eau.

On met le filtre dans l'étuve à 105 °C pendant 2h et on le repese.

Pour la mesure du TDS, on récupère l'eau filtrée dans deux creusets en porcelaine qui ont été déjà pesés (200 ml dans chaque creuset) et on les met dans l'étuve à 180 °C pendant 12h. Après l'évaporation de l'eau (les solides dissous dans l'eau restent comme résidu dans le creuset d'évaporation) on repese les creusets. La mesure des MES et TDS est illustrée dans la figure III.04.

Calcul des MES :

$$\text{MES} = (P1 - P0) * 2000 \text{ mg/l}$$

-P1 : masse du filtre après filtration ;

-P0: masse du filtre avant filtration.

Calcul du TDS :

$$\text{TDS} = (P1 - P0) * 5000 \text{ mg/l}$$

-P1 : masse du creuset d'évaporation + le résidu ;

-P0: masse du creuset d'évaporation seul.

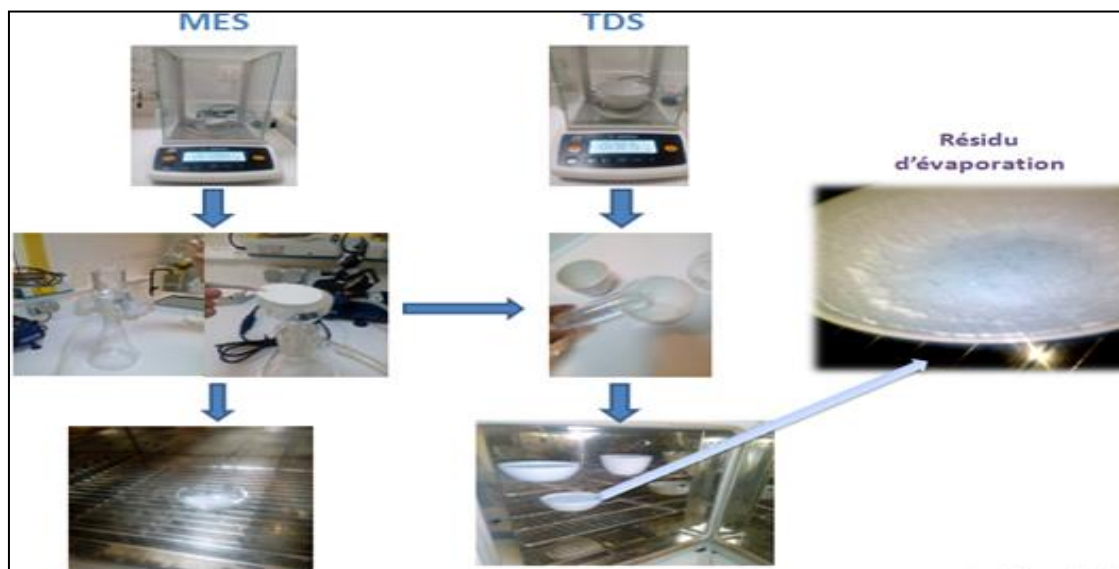


Figure III.04 : Mesure des MES et du TDS

Analyse volumétrique :

La mesure de la dureté totale, le calcium, l'alcalinité et le chlorure se fait par titrage.

III.1.2.6 La dureté totale :

La dureté se mesure en mg de CaCO₃ par litre.

Dans notre échantillon on va mesurer :

La dureté totale ou titre hydrotimétrique TH qui est la somme des concentrations calcique et magnésienne ;

La dureté calcique qui correspond à la teneur globale en sels de calcium ;

Le TH et le calcium « Ca⁺² » sont déterminés par analyse volumétrique sur un échantillon de 50ml, dosé avec, l'EDTA (Ethylène Diamine Tétra Acétate) et utilisant, le N.E.T (Noir Eriochrome T) pour le TH (figure III.06) et le murexide (C₆ H₈ N₆ O₆) pour le calcium (figure III.05), comme des indicateurs de couleur.

$$\text{TH} = V * 50 * 20 \text{ mg de CaCO}_3 / \text{l} \quad \text{Ca}^{+2} = V * 50 * 20,04 \text{ mg de CaCO}_3 / \text{l}$$

*V : le volume titré.

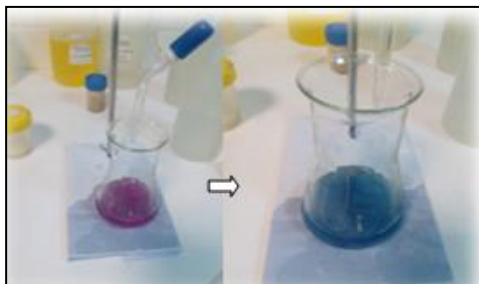


Figure III.05 : dosage de calcium

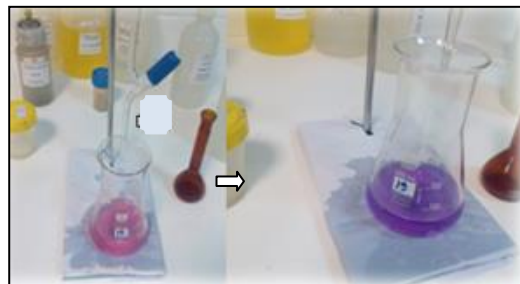


Figure III.06 : dosage de la dureté totale

III.1.2.7 Le titre alcalimétrique complet (TAC):

L'alcalinité totale a été dosée sur 100ml d'échantillon, par addition progressive d'un acide fort HCl de 0.02M, jusqu'au point d'équivalent (figure III.07), ce point est connue par l'utilisation d'un indicateur de couleur Vert de Bromocrésol pour TAC.

$$\text{TAC} = (0,02 \times \text{volumeHCL} \times 500) \text{ mg/l.}$$

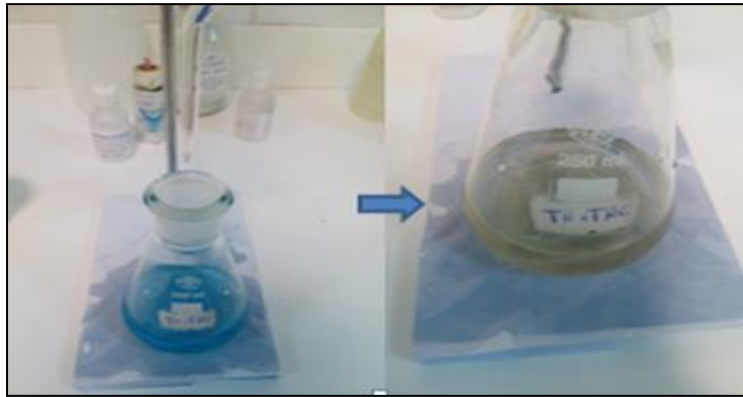


Figure III.07 : dosage de TAC

III.1.2.8 Le chlorure (Cl⁻) :

Pour le dosage du chlorure (figure III.08) on a utilisé :

Les nitrates d'argent AgNO₃ de 0,02 N comme titrant ;

Le chromate de potassium K₂CrO₄ comme indicateur de couleur.

$$Cl = \{(V * 1000) - 0,2\} * 7,0906 \text{ mg/l.}$$

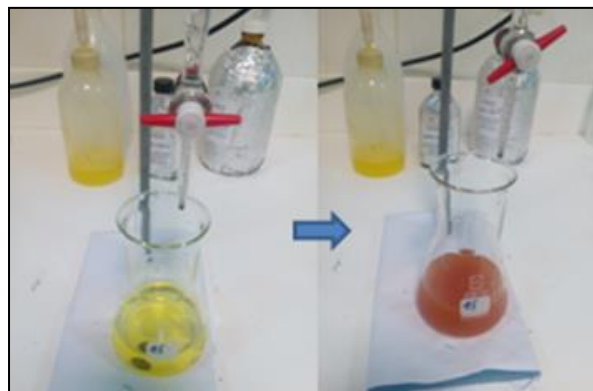


Figure III.08 : dosage des chlorures

III.1.2.9 Standard Density Index (SDI):

Pour la mesure du SDI (figure III.09), un volume d'échantillon de 500 ml doit être filtré à travers une membrane de 0,45 µm (microfiltration) à une pression transmembranaire constante de 2 bars.

On a calculé le SDI₅ pour l'eau brute et le SDI₁₅ pour l'eau filtrée.



Figure III.09 : mesure de SDI

III.1.2.10 Indice de saturation de Langelier (LSI) :

Avant de calculer l'indice de saturation on a d'abord mesuré les paramètres suivants :

- L'alcalinité totale ;
- Le TDS;
- Le calcium ;
- Le pH ;
- La température.

Une fois ces paramètres mesurés on a introduit leurs valeurs dans un logiciel informatique : RTW Corrosivity Index Calculator qui nous a donné la valeur du LSI selon American Water Works Association.

VI.2 Analyse des rejets de saumure

Pour l'évaluation de l'impact de l'usine de dessalement de Fouka sur le milieu marin, des prélèvements d'eau de mer ont été effectués au niveau des rejets de la station à environ 805 m de la cote.

On a prélevé huit échantillons durant le mois d'avril, deux prélèvements par semaine.

Les analyses ont été faites au niveau de laboratoire de l'ENSSMAL :

Salinité, pH, conductivité, MES, TDS, le calcium et le chlorure et le fer.

La mesure de la température a été faite in situ.

Chapitre IV

Résultats

&

Discussions

Introduction

Pour l'étude de la performance de n'importe quelle étape du traitement on va faire une comparaison entre l'analyse de l'eau à l'entrée et à la sortie de chaque ouvrage de la chaîne de traitement et en comparant à chaque fois le résultat avec les normes de potabilité des eaux selon le décret exécutif n° 11-125 du 22 mars 2011 inspiré des normes de l'Organisation Mondiale de la Santé et selon le guide de la qualité de l'eau commercialisée déterminée dans le contrat d'achat de l'eau (Annexe II). Pour l'impact du rejet on va comparer nos résultats d'analyse avec les tolérances de rejet d'effluents industriels algériens (Décret 93-160 ; Article 4) et les exigences contractuelles (Annexe III).

IV.1 Etude de la performance de prétraitement

Dans cette étape on va comparer les analyses d'eau brute et l'eau à la sortie des micros filtres, pour étudier la performance du prétraitement. Les résultats d'analyses du prétraitement sont représentés dans l'annexe IV.

(Durant le mois d'Avril, la station de Fouka a fait un arrêt de production pendant une semaine pour le nettoyage des filtres et des membranes et aussi pour la maintenance des équipements).

IV.1.1 Température

Selon la figure IV.01, on note une légère variation des températures des échantillons d'eau de mer au cours de prétraitement, la température de l'eau brute présente une variation allant de 15,20 C° à 18,60 C° (selon la saison) avec une moyenne de 16,69 C°, et celle de l'eau filtrée a une température qui varie entre 15,50 C° et 18,90 C° avec une moyenne de 16,95 C° .

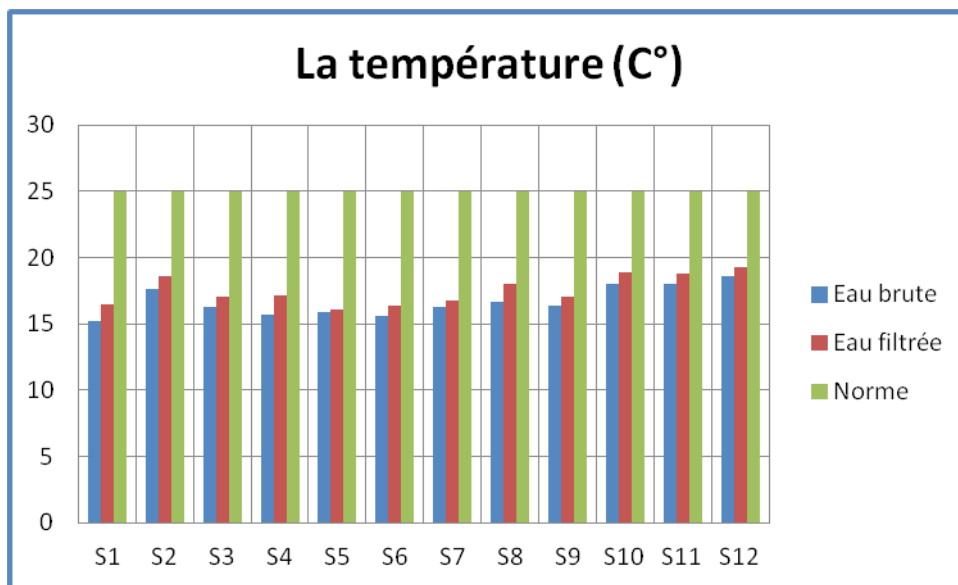


Figure IV.01 : Evolution de la température pendant le prétraitement

Donc la température de l'eau augmente un peu à la fin du prétraitement ce qui est expliqué par l'agitation des particules d'eau au cours du processus de prétraitement, mais cette faible augmentation reste conforme à la norme de l'OMS qui préconise une valeur inférieure à 25C°. (S1, S2, S3... : semaine 1, semaine2...).

IV.1.2 pH

La figure IV.02 représente l'évolution du pH pendant le prétraitement.

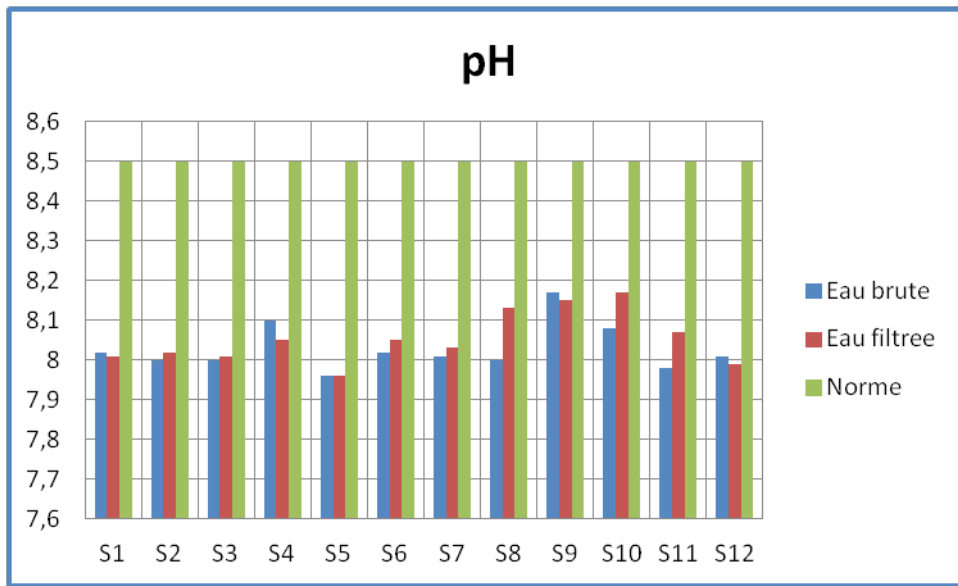


Figure IV.02 : Evolution du pH pendant le prétraitement

D'après les résultats de la mesure du pH, on remarque que les valeurs du pH de l'eau brute varient entre 7,96 à 8,17 (valeur moyenne \approx pH eau de mer) et même le pH de l'eau à l'entrée de l'osmose inverse reste plus ou moins égal au pH de l'eau brute (figure IV.02) malgré la chloration avec l'hypochlorite de calcium, cela est expliqué par l'ajout de l'acide sulfurique (H₂So₄) qui abaisse le pH d'eau de mer afin de protéger les membranes d'OI qui sont sensibles au chlore et d'empêcher l'entartrage par CaCO₃.

IV.1.3 Conductivité

La figure IV.03 ci-dessous représente l'évolution de la conductivité pendant le prétraitement.

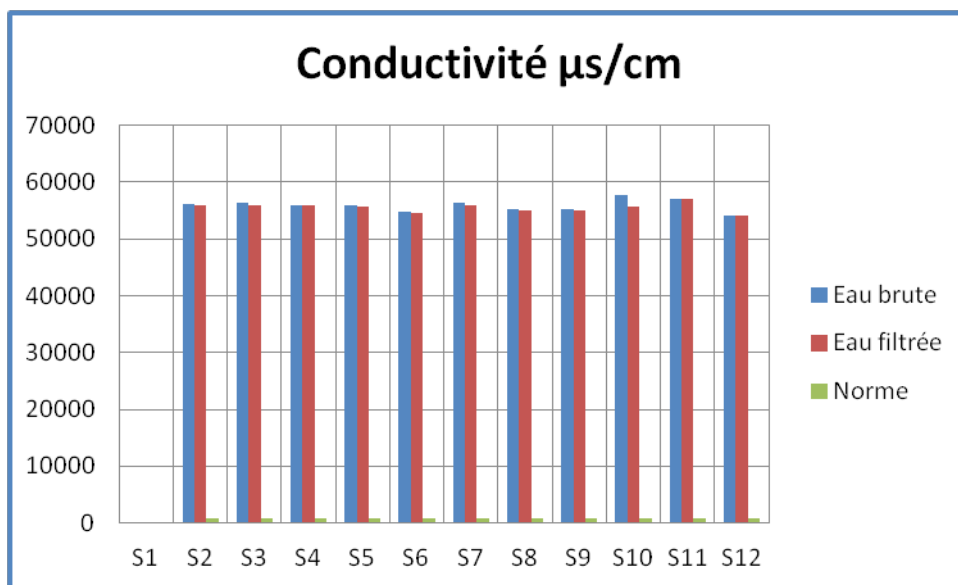


Figure IV.03 : Evolution de la conductivité pendant le prétraitement

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, elles varient de 54000 à 57740 $\mu\text{s}/\text{cm}$ au cours des 3 mois de suivi du processus de dessalement, même chose pour la conductivité d'eau filtrée qui varie de 54000 à 56998 $\mu\text{s}/\text{cm}$.

Les deux courbes d'évolution (voire figure IV.03) sont presque confondues et au-dessus de la norme fixée par l'OMS car jusqu'au à l'eau de mer est encore chargée de sel.

IV.1.4 Turbidité

L'évolution de la turbidité, pendant le prétraitement est représentée dans la figure IV.04 ci-dessous.

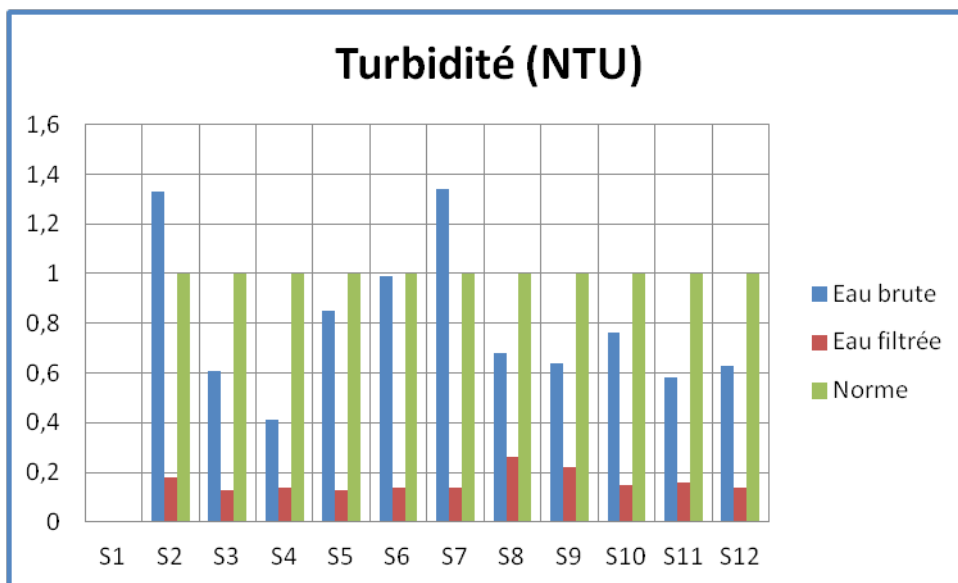


Figure IV.04 : Evolution de la turbidité pendant le prétraitement

Selon la figure IV.04, on remarque que les valeurs de la turbidité de l'eau brute varient de 0,4 à 1,3 NTU pour une valeur moyenne égale à 0,82, ceci est dû au prélèvement de l'eau brute à 845 m de la station, et à une profondeur de 10m où l'eau de mer est plus claire et moins trouble.

A la fin du prétraitement la valeur de la turbidité diminue jusqu'au 0,13 NTU (plus les valeurs de la turbidité sont proches du zéro plus la performance du prétraitement est meilleure) soit un taux moyen de 77,6 % cela est expliqué par l'injection du coagulant, la filtration sur sable et la filtration à cartouche.

IV.1.5 TDS

La variation des TDS, pendant le prétraitement est illustrée dans la figure IV.05.

On remarque que les deux courbes de TDS de l'eau brute et de l'eau filtrée sont confondues, les valeurs du TDS sont plus élevées que la norme de l'eau potable et varient entre 37300 et 40020 mg/l.

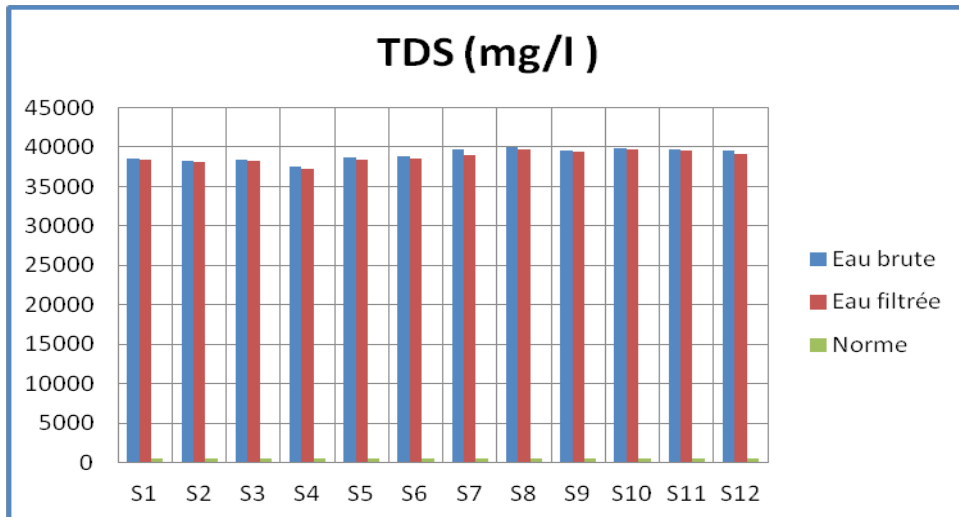


Figure IV.05 : Evolution du TDS pendant le prétraitement

L'eau brute et l'eau filtrée ont les mêmes valeurs du TDS car la quantité des solides dissous ne change pas au cours du prétraitement, l'eau est toujours saline.

IV.1.6 SDI

La figure IV.06 montre les variations du SDI5 pour l'eau brute et le SDI15 pour l'eau filtrée. D'après ces résultats on remarque que le SDI5 d'eau de mer varie entre 11,61 et 18,8, cela dépend de la variation de la qualité de l'eau brute (car le SDI5 varie en fonction de la turbidité, si la turbidité augmente le SDI5 augmente et le contraire) tandis que les valeurs du SDI15 d'eau filtrée sont toutes inférieures à la norme pour assurer la protection des membranes contre l'encrassement rapide.

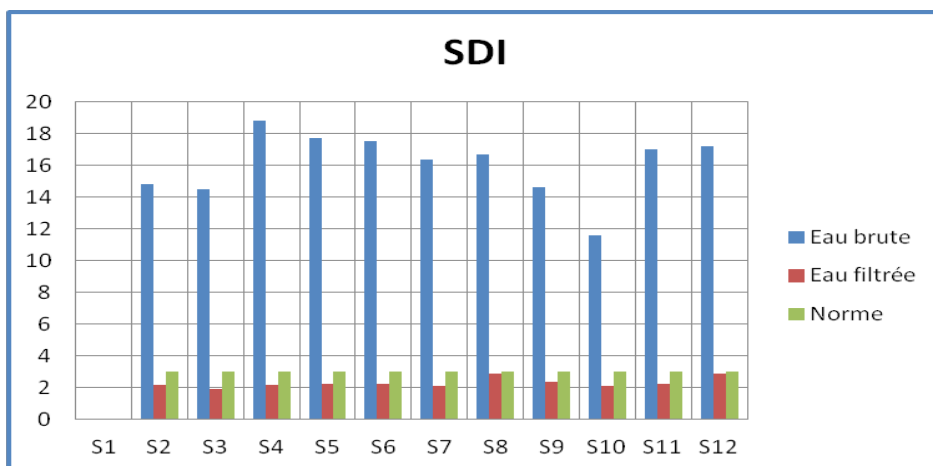


Figure IV.06 : Evolution du SDI pendant le prétraitement

.Le calcul du SDI5 permet de choisir et de déterminer le mode de prétraitement (injection coagulant, floculant, filtration sur sable et filtre à cartouche) et le SDI15 est calculé pour établir un suivi des performances des prétraitements choisis et adaptés.

IV.2 Etude de la performance du traitement

Pour l'étude de la performance du traitement on va comparer les analyses d'eau avant et après son passage à travers les membranes d'osmose inverse. Les résultats d'analyse de l'osmose inverse sont représentés dans l'annexe V.

IV.2.1 pH

La variation du pH, pendant le traitement est représentée dans la figure IV.07 où 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 8,05 le pH a un peu diminué après le passage de l'eau de mer à travers les membranes d'osmose inverse avec un pH moyen = 8,05 avant osmose inverse et pH moyen = 7,84 après l'osmose inverse.

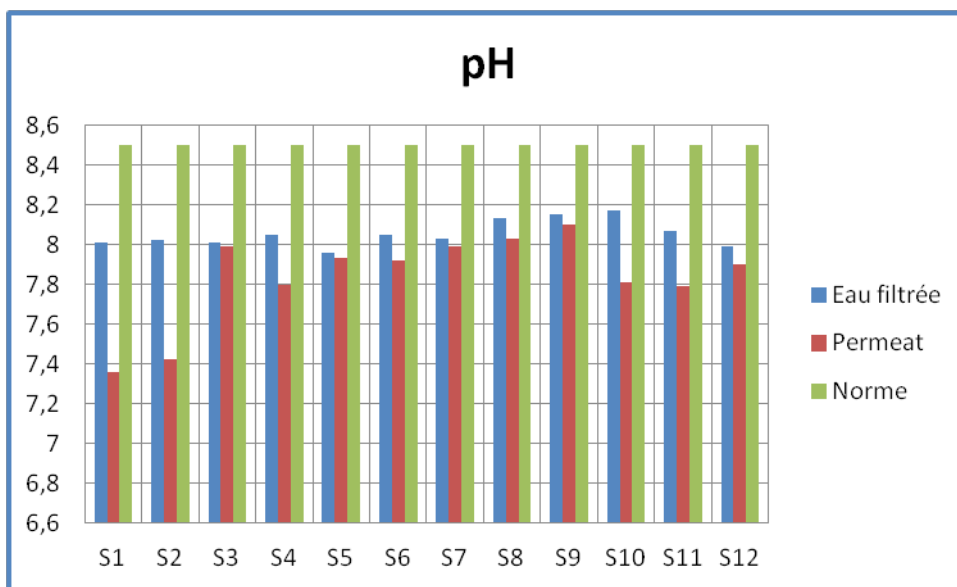


Figure IV.07 : Evolution du pH pendant l'osmose inverse

La diminution du pH du perméat est due à la rétention des sels.

Toutes les valeurs du pH de perméat sont conformes aux normes, elles sont supérieures à 6,5 et inférieures à 8,5.

IV.2.2 Conductivité

D'après la figure IV.08 ci-après et qui représente l'évolution de la conductivité du perméat et de l'eau filtrée, on remarque que la conductivité de l'eau à l'entrée d'osmose inverse varie entre les 50000 et 60000 mg/l tandis qu'à la sortie n'atteint pas les 500 mg/l.

Cette forte diminution des valeurs de la conductivité est expliquée par la faible présence des sels suite à la déminéralisation de l'eau.

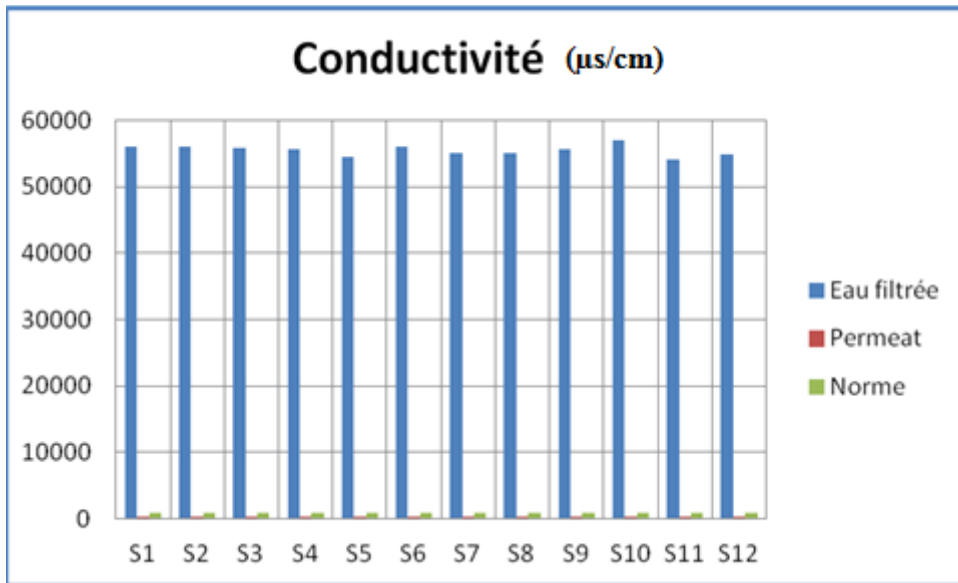


Figure IV.08 : Evolution de la conductivité pendant le l'osmose inverse

IV.2.3 TDS

La variation du TDS, pendant le traitement est représentée dans la figure IV.09 ci-dessous, d'après les courbes de cette figure on constate que le passage de l'eau de mer par les membranes d'osmose inverse a réduit le TDS de 39670 à 222,2 mg/l soit un taux de rejet moyen de 99,49% (voir tableau IV.04).

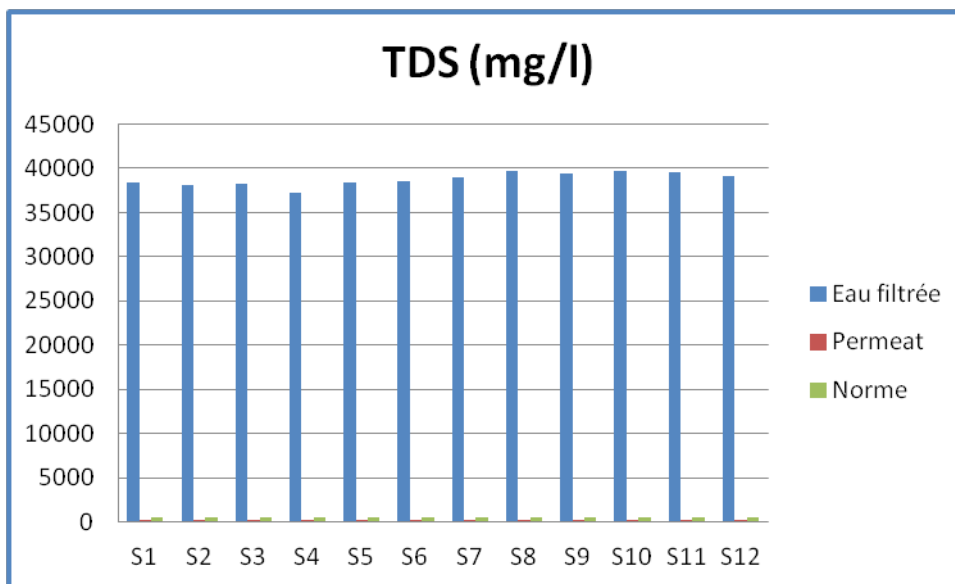


Figure IV.09 : Evolution du TDS pendant le l'osmose inverse

Les valeurs des TDS du perméat durant les douze semaines, sont inférieure à 500 mg/l ce qui est conforme à la norme.

IV.2.4 Calcium

La figure IV.10 représente la variation du calcium pendant le traitement.

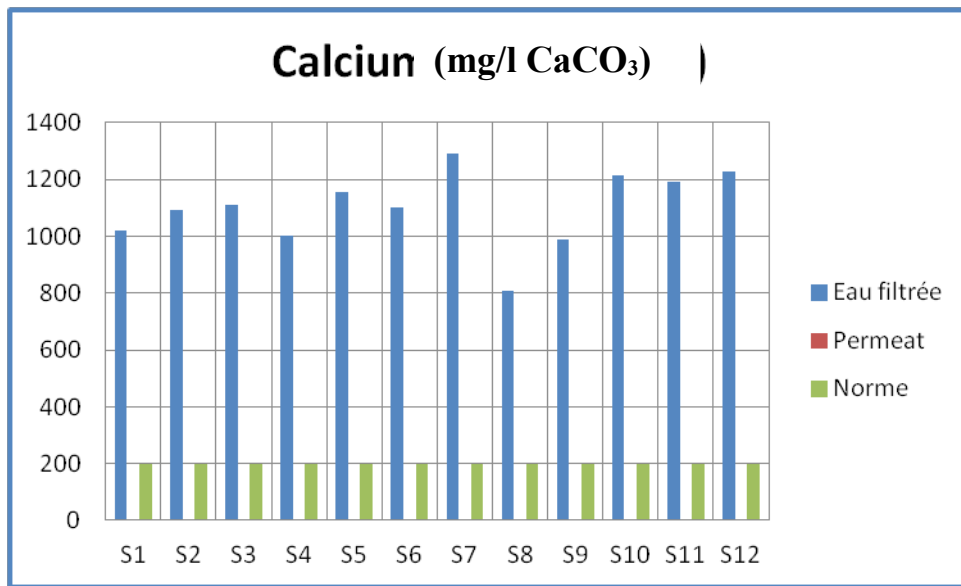


Figure IV.10 : Evolution du calcium pendant l'osmose inverse

A partir des résultats on remarque qu'à l'entrée d'osmose inverse la concentration de l'eau en calcium varie entre 809 et 1290 (mg/l CaCO₃) ce qui signifie que l'eau est dure mais après son passage à travers les membranes OI cette concentration a été réduite jusqu'au 2,05 mg/l CaCO₃ soit un taux de rejet moyen de 99,64% (voir tableau IV.04). Or une eau pauvre en calcium est une eau non équilibrée et représente un risque soit pour la santé humaine ou pour les infrastructures hydrauliques ce qui nécessite une reminéralisations.

IV.2.5 Chlorure

Les concentrations en chlorure de l'eau filtrée et du permeat sont représentées dans la figure IV.11.

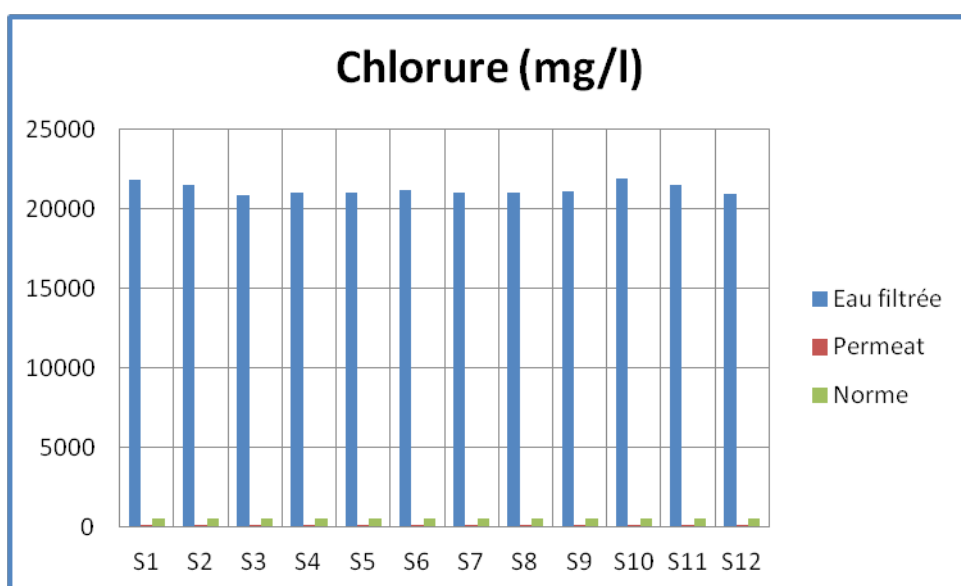


Figure IV.11 : Evolution du chlorure pendant l'osmose inverse

La concentration en chlorure de l'eau avant OI est très élevée, elle varie entre 20856 et 21901 mg/l (le Cl⁻ est le constituant majeur de l'eau de mer et ce sont les ions chlorures qui donnent le gout salé à l'eau de mer) par contre à la sortie de l'OI elle ne dépasse pas 160,3 mg/l tout au long de la période du stage ce qui représente un taux de rejet moyen de 99,49%.

IV.2.6 TH

La variation de la dureté totale du perméat est représentée dans la figure IV.12.

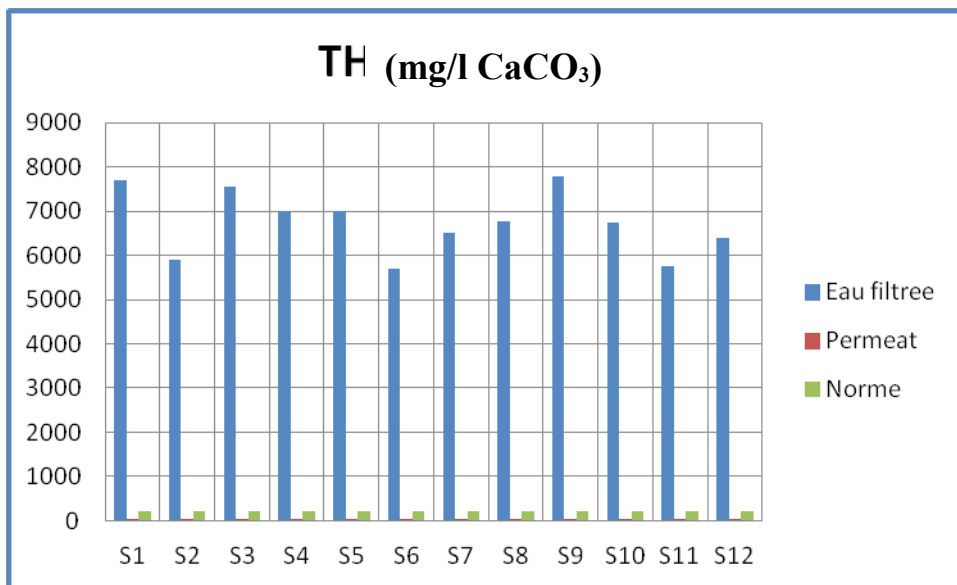


Figure IV.12 : Evolution de la dureté pendant l'osmose inverse

D'après les résultats obtenus, la dureté de l'eau filtrée est élevée, elle varie entre 5750 et 7800 mg/l CaCO₃, ce qui s'explique par la forte présence des cations en particulier le magnésium et le calcium qui sont très abondants dans l'eau de mer.

La dureté du perméat varie entre 9 et 14 mg/l CaCO₃, ces valeurs sont très faibles par rapport à la norme de l'eau traitée fixée par le client qui ne doit pas être inférieure à 80 mg/l CaCO₃.

IV.2.7 TAC

La figure IV.13 représente l'évolution du TAC pendant le traitement. On observe une forte alcalinité de l'eau à l'entrée de l'osmose inverse, allant de 600 à 900 mg/l CaCO₃ ce qui est dû à la présence d'une forte teneur en ions carbonates, bicarbonates et hydroxydes. Après l'osmose inverse les valeurs de l'alcalinité sont très faibles, elles varient entre 3 et 9 mg/l CaCO₃ ce qui est conforme à la valeur limite supérieure de la norme.

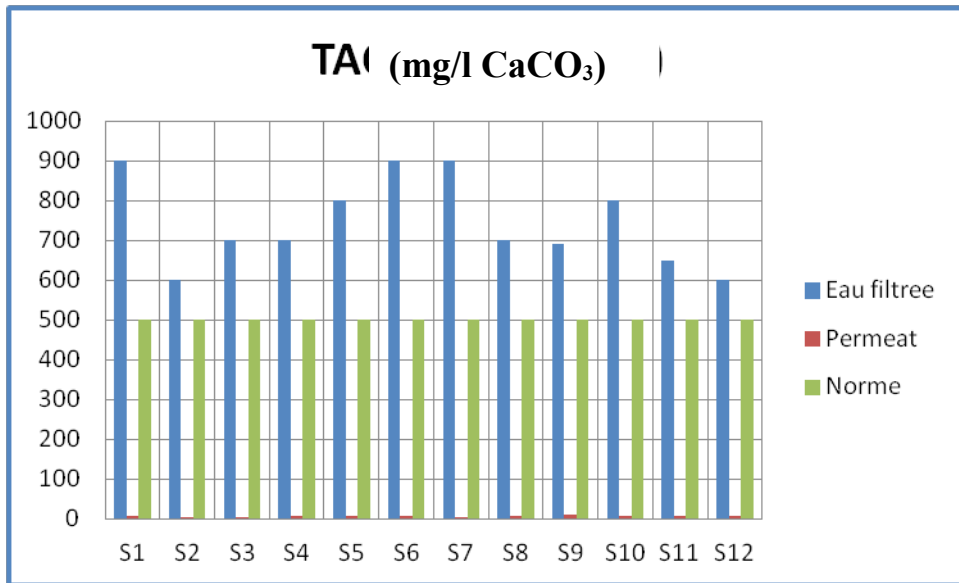


Figure IV.13 : Evolution de TAC pendant l'osmose inverse

Cette alcalinité traduit une eau agressive qui provoquera la corrosion des canalisations de distribution d'eau potable, car l'alcalinité du permeat représente une valeur très faible par rapport à la norme qui exige un TAC minimum de 60 mg/l CaCO₃ à la fin de la chaîne de traitement.

Le tableau IV.04 représente le taux de rejet des membranes d'osmose inverse du calcium, TDS et le chlorure.

Tableau IV.01 : Taux de rejet des membranes d'osmose inverse

Taux de rejet (%) (semaine)	Taux de Temps	TDS	Calcium	Chlorures
S1		99,49	99,68	99,49
S2		99,50	99,62	99,46
S3		99,50	99,82	99,53
S4		99,49	99,69	99,46
S5		99,50	99,65	99,51
S6		99,50	99,53	99,48
S7		99,51	99,70	99,24
S8		99,44	99,66	99,40
S9		99,48	99,73	99,40
S10		99,46	99,60	99,45
S11		99,47	99,50	99,45
S12		99,48	99,53	99,48
La moyenne		99,49	99,64	99,49

D'après le tableau IV.01 on remarque une faible variation des taux de rejet du calcium, TDS et chlorure avec un écart-type, respectivement, de 0,09%, 0,02% et 0,08% ce qui traduit un

fonctionnement correct et un rendement satisfaisant des membranes d'osmose inverse vis-à-vis leur taux caractéristique de rejet de sel qui est de 99,6%.

IV.3 Etude de la qualité de l'eau reminéralisée

Dans la troisième et dernière étape du procédé de dessalement on va évaluer la qualité finale de l'eau traitée par la station de Fouka, les résultats d'analyse du post traitement sont représentés dans l'annexe VI.

IV.3.1 Indice de Langelier

Les valeurs obtenues après le calcul de l'indice de saturation des échantillons de l'eau traitée destinée à la consommation humaine sont positives pendant toute la période du stage (figure IV.14) et varient entre 0,03 et 0,52 ce qui veut dire que le pH de l'eau traitée est supérieur au pH de saturation et donc l'eau n'est plus sous saturée en CaCO₃, l'agressivité de l'eau a été corrigée par la reminéralisations.

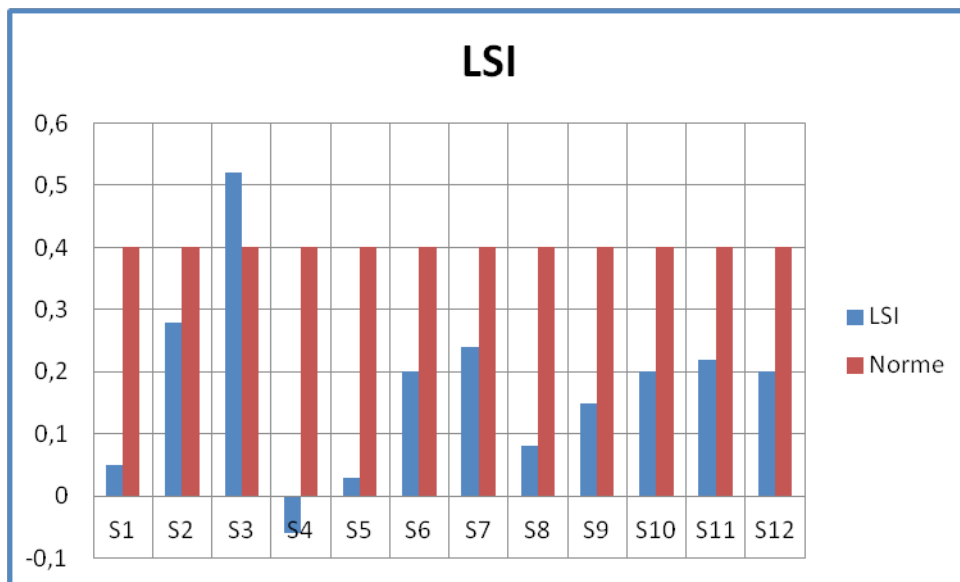


Figure IV.14 : Variation de l'indice de Langelier

Les résultats sont conformes aux normes et restent dans l'intervalle de (0 à 0,4) déterminé dans le contrat d'achat de l'eau sauf la valeur de LSI pendant la troisième semaine qui est supérieure à 0,4.

IV.3.2 Bore

L'analyse du bore se fait une fois chaque mois, les résultats des huit derniers mois sont présentés dans la figure IV.15.

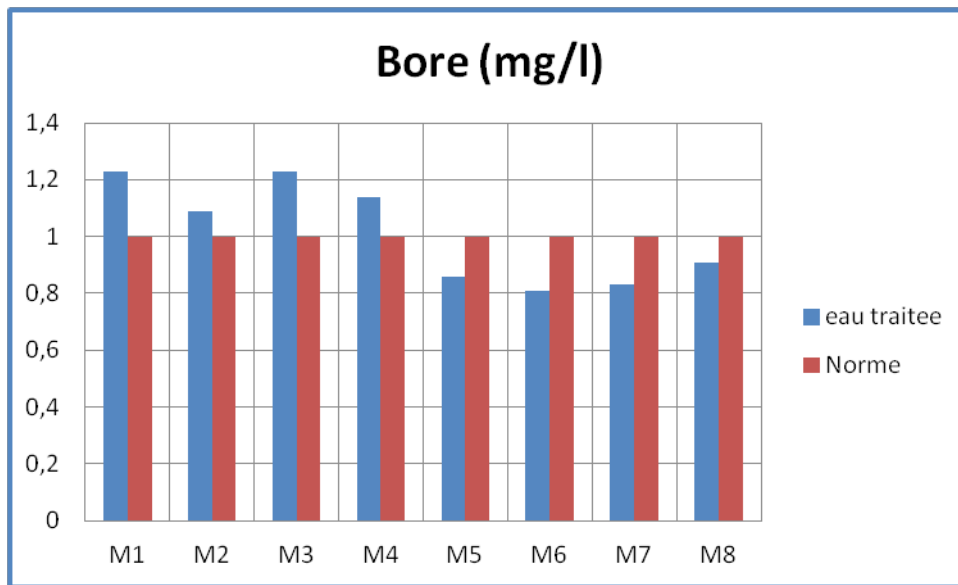


Figure IV.15 : Variation des teneurs en bore dans l'eau traitée

D'après ces résultats, les teneurs en bore de l'eau traitée, pendant les quatre premiers mois, sont élevées par rapport à la norme algérienne, allant de 1,09 mg/l jusqu'au 1,23 mg/l soit 0,23 mg/l au-dessus de la norme par contre les quatre derniers mois la concentration en bore a diminué jusqu'au-dessous de la norme pour atteindre une valeur minimale de 0,81 mg/l. Ces valeurs un peu élevées du bore sont dues à la faible rétention de H₃BO₃ (bore moléculaire) par les membranes à cause du pH faible de fonctionnement de l'osmose inverse. Or des teneurs élevées en bore dans l'eau potable sont susceptibles de provoquer des problèmes de développement du fœtus et une diminution de fertilité. Ces fortes concentrations peuvent être réduites en utilisant de résines spécifiques qui ont une très bonne efficacité supérieure à 90% (Maurel, 2006).

IV.3.3 Qualité bactériologique de l'eau traitée

Les analyses bactériologiques de l'eau traitée sont effectuées dans un laboratoire externe « Laboratoire contrôle qualité Kolea » selon la méthode de dénombrement technique de filtration norme AFNOR, les résultats, exprimés en UFC/100 ml, sont représentés dans le tableau IV.02 ci-après:

Une eau destinée à l'alimentation humaine ne doit contenir aucun germe microbien pathogène. La contamination par les matières fécales est décelée par la présence d'*Escherichia coli*, ou de *Streptocoques fécaux*. La présence de germes tests de contamination fécale conduit à considérer l'eau comme bactériologiquement impure et menacée de pollution. Les résultats illustrés dans le tableau IV.02 montrent des concentrations nulles des CT, CF et SF. Cette absence des germes est expliquée par la rétention des membranes d'osmose inverse des micro-organismes mais ainsi par la désinfection de l'eau traitée par l'hypochlorite de sodium pour éviter toute contamination et développement biologique. La qualité bactériologique de

l'eau traitée est bonne et conforme à la norme qui exige une absence totale des coliformes et streptocoques fécaux.

Tableau IV.02 : Résultats d'analyse bactériologiques de l'eau traitée

Période	Coliformes totaux	Coliformes fécaux	Strepto.Fécaux
S1	0	0	0
S2	0	0	0
S3	0	0	0
S4	0	0	0
S5	0	0	0
S6	0	0	0
S7	0	0	0
S8	0	0	0
S9	0	0	0
S10	0	0	0
S11	0	0	0
S12	0	0	0

IV.3.4 Variation des paramètres physico-chimiques de l'eau traitée

La variation des paramètres physico-chimique de l'eau traitée pendant les trois mois de stage est représentée dans les figures IV.16, IV.17, IV.18, IV.19, IV.20 et IV.21 qui suivent.

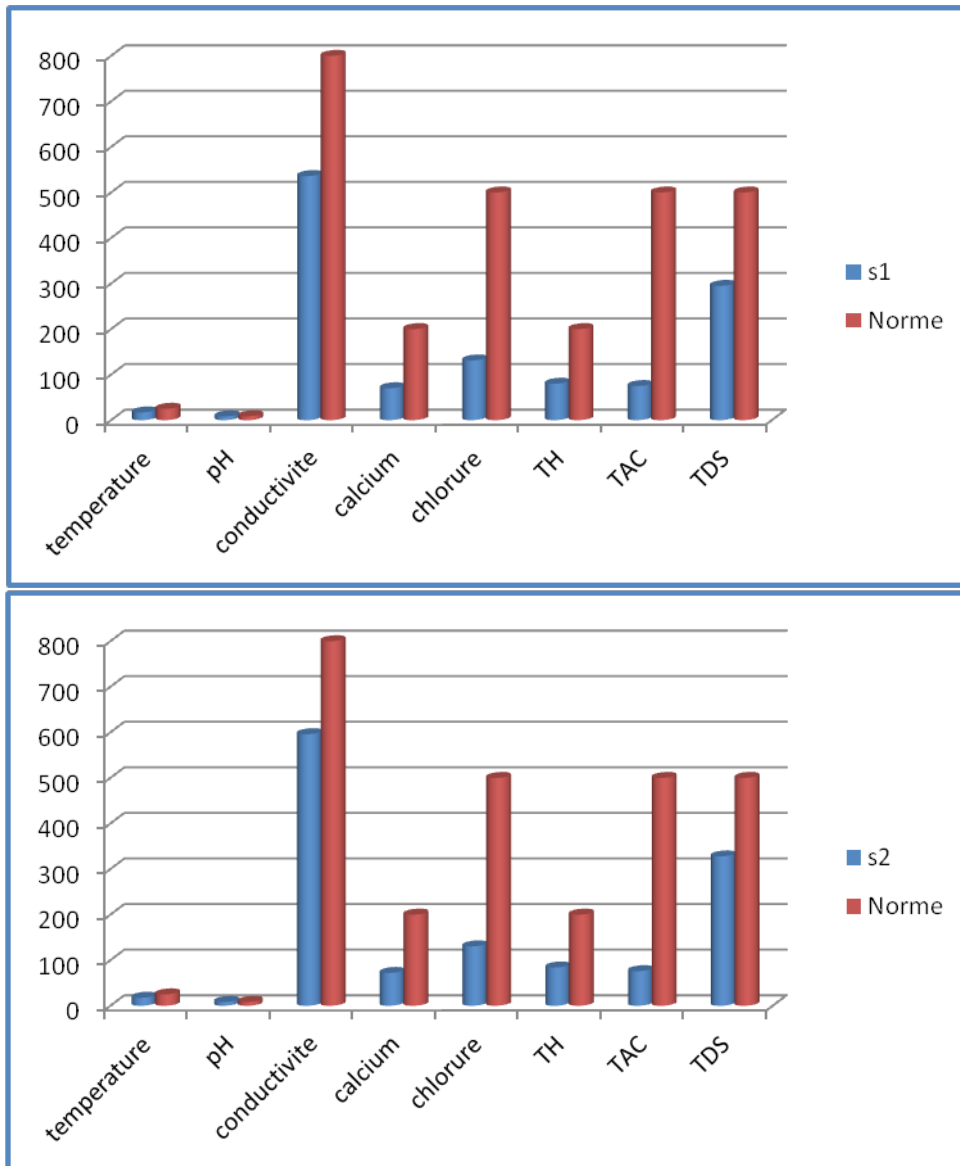


Figure IV.16 : Variation des paramètres physico-chimiques de l'eau traitée -1-

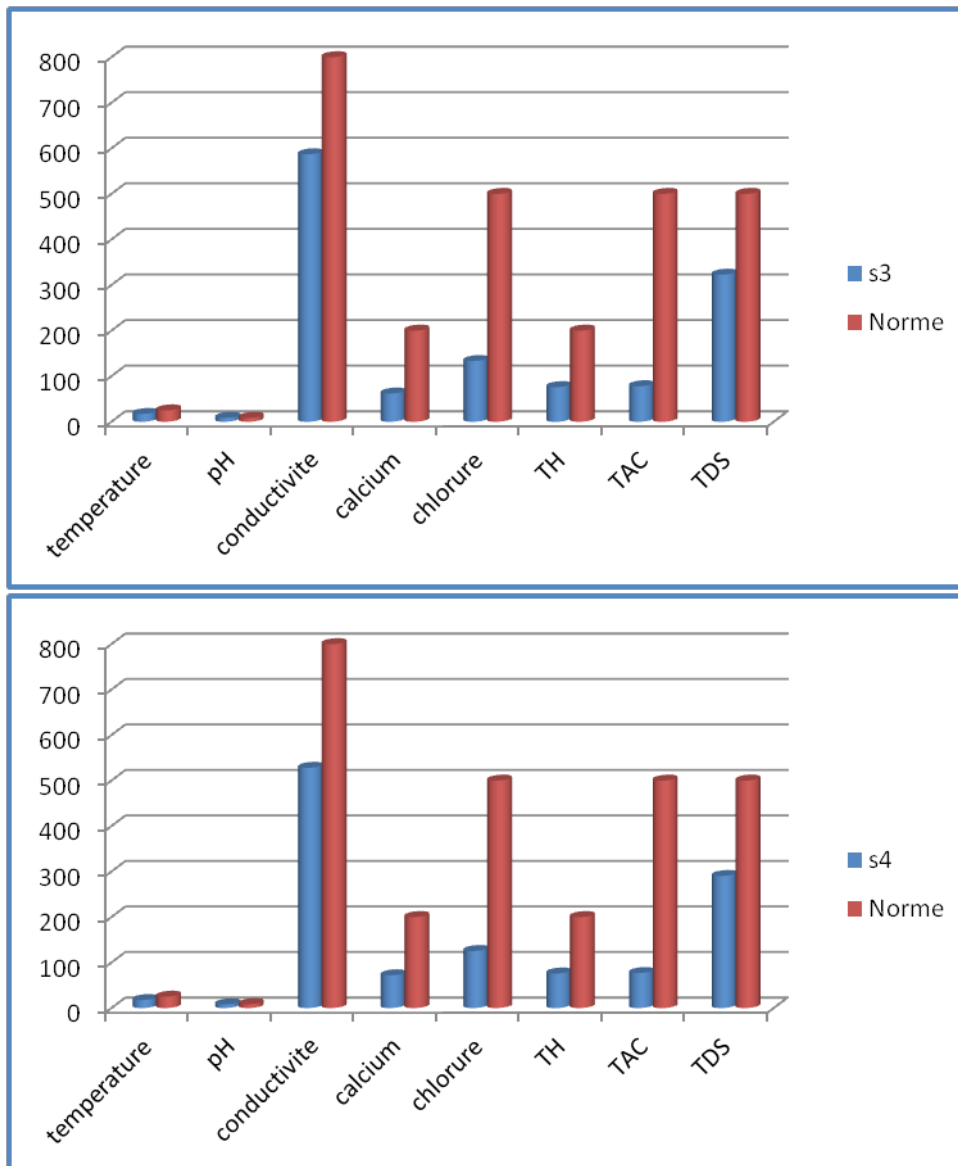


Figure IV.17 : Variation des paramètres physico-chimiques de l'eau traitée -2-

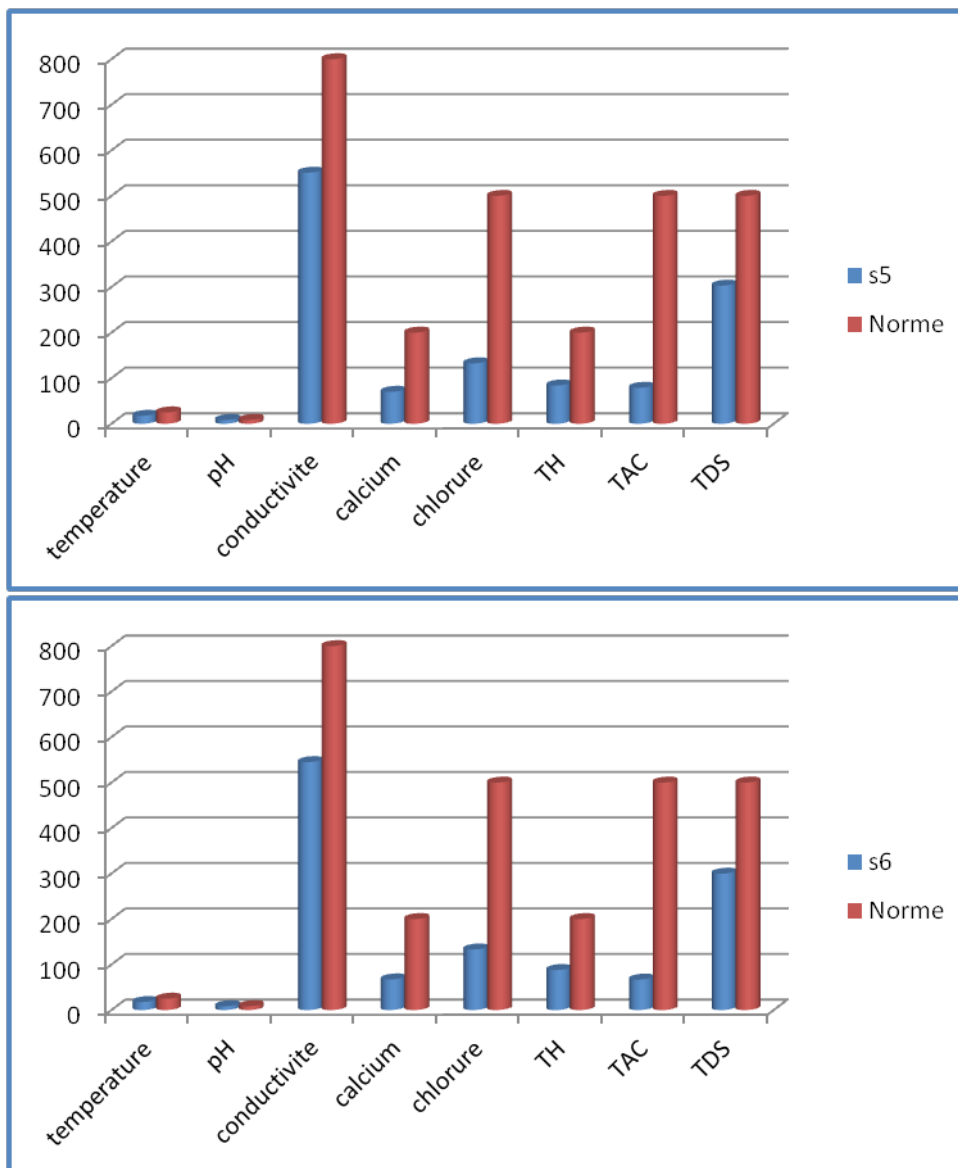


Figure IV.18 : Variation des paramètres physico-chimiques de l'eau traitée -3-

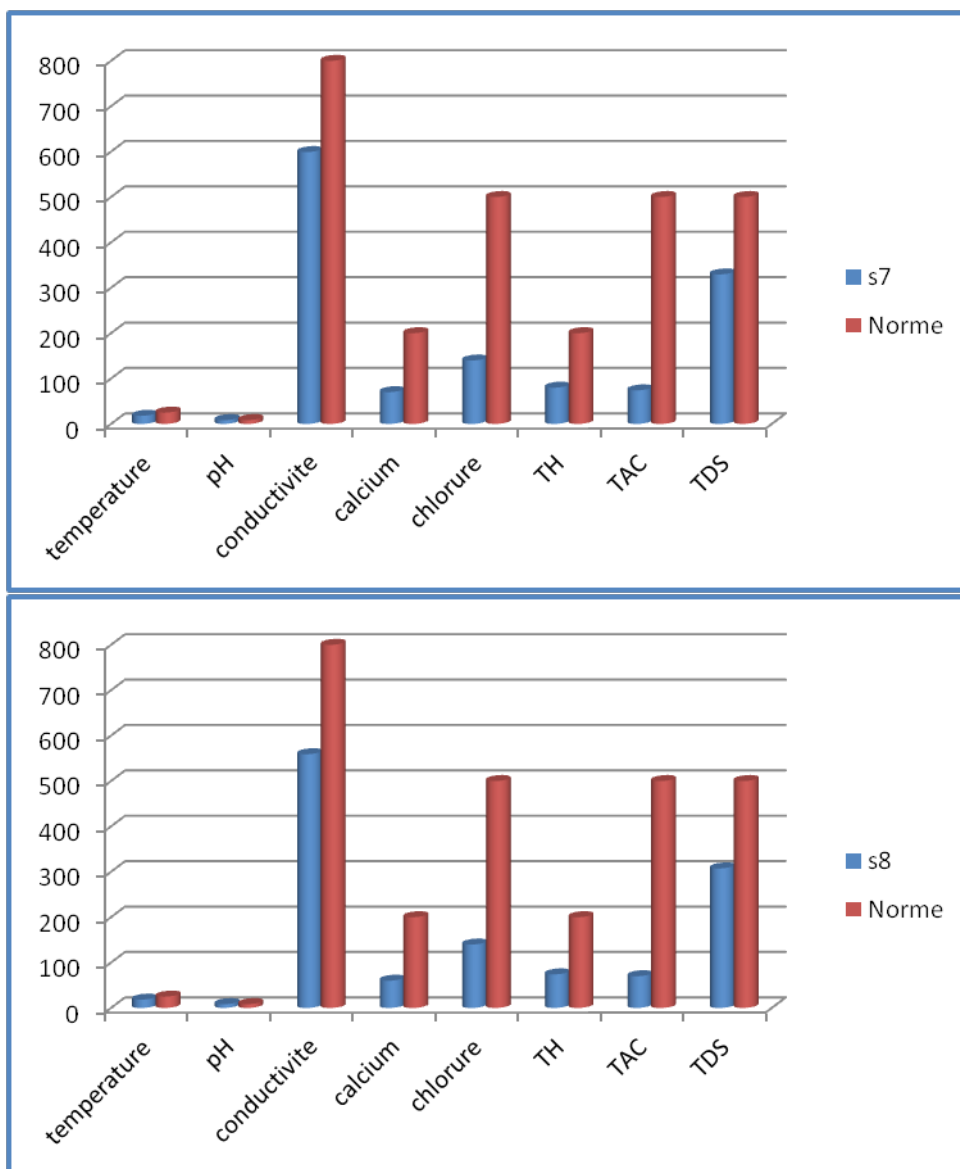


Figure IV.19 : Variation des paramètres physico-chimiques de l'eau traitée -4-

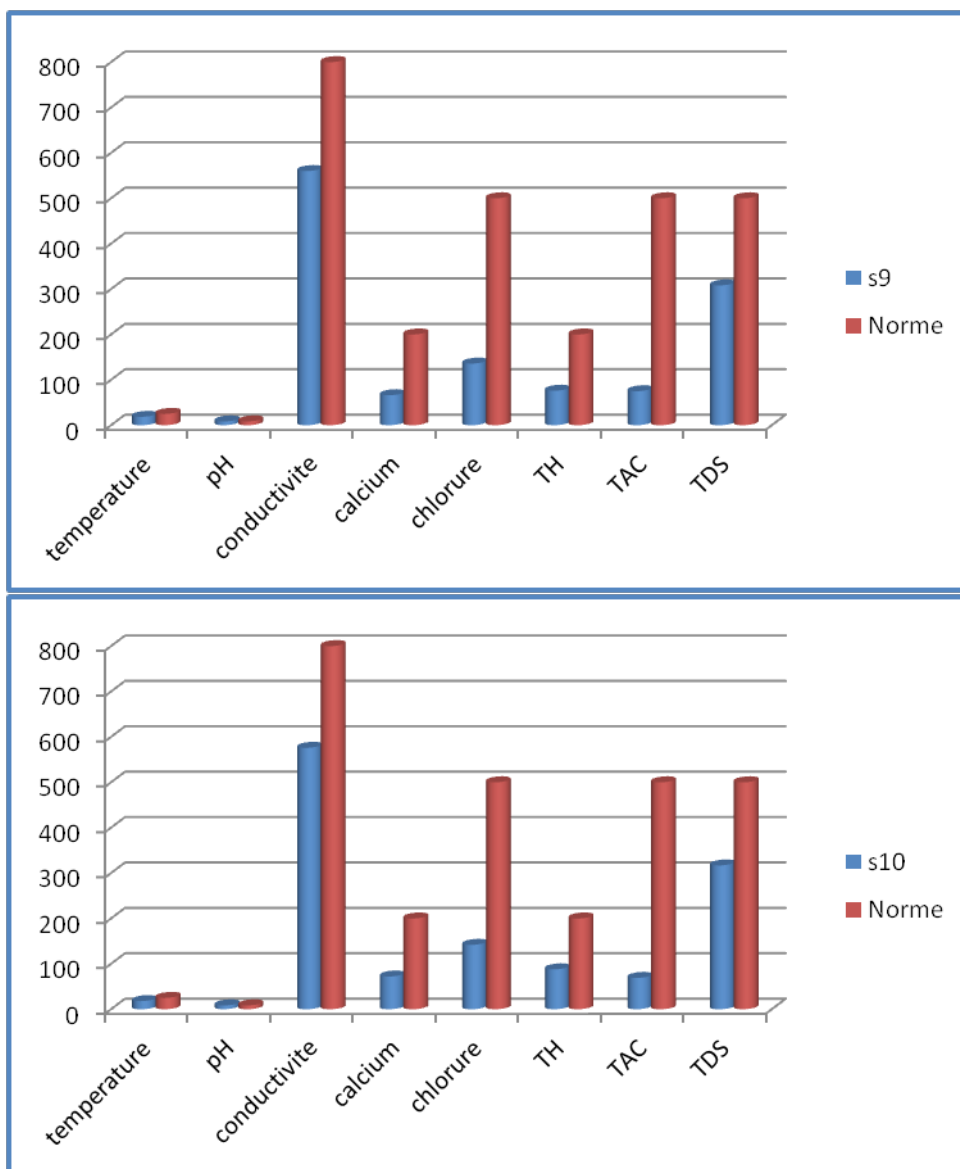


Figure IV.20 : Variation des paramètres physico-chimiques de l'eau traitée -5-

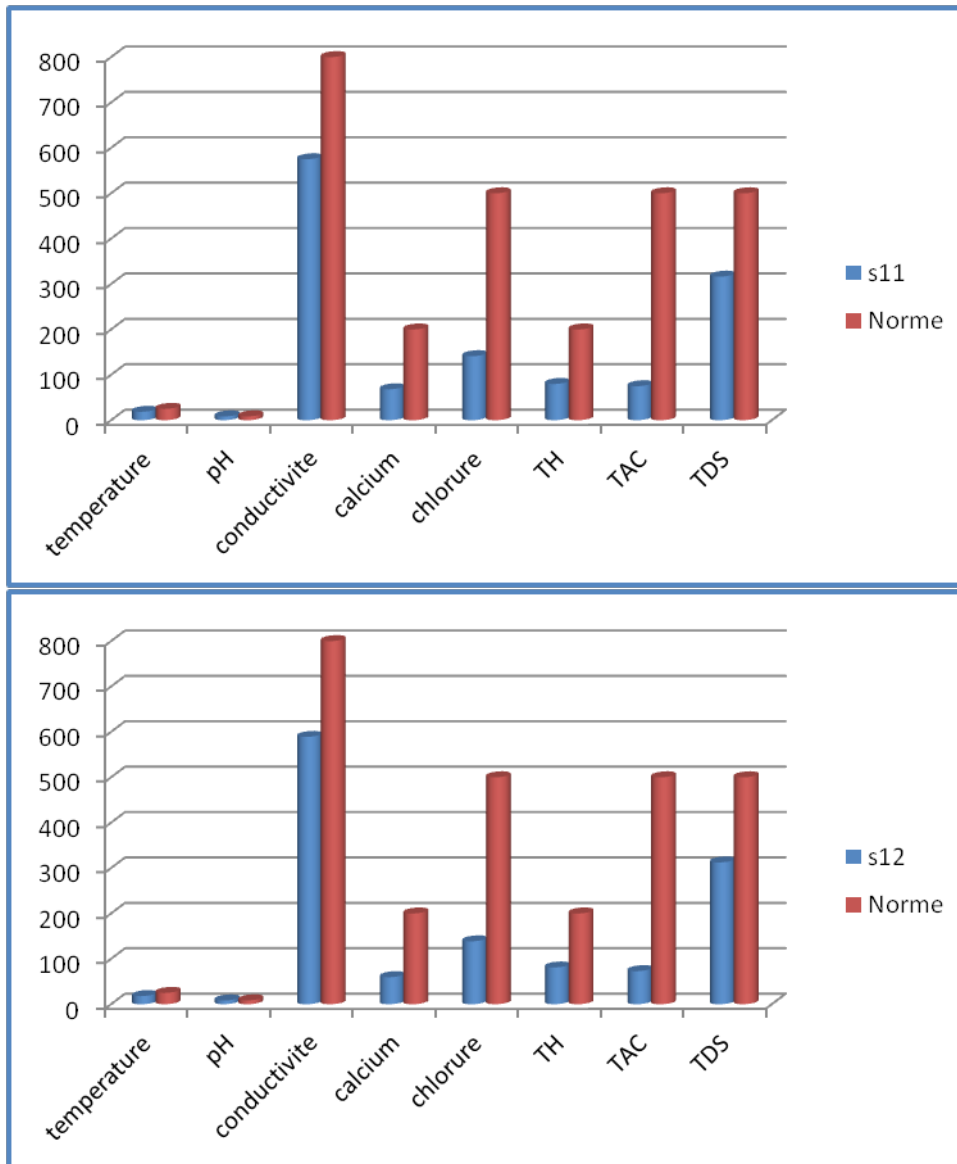


Figure IV.21 : Variation des paramètres physico-chimiques de l'eau traitée -6-

Les valeurs de tous les paramètres physico-chimiques (température, pH, conductivité, TDS, TAC, TH, chlorure et calcium) de l'eau traitée sont au-dessous de la norme, elles répondent aux exigences de la norme algérienne relative à la qualité de l'eau potable et aux valeurs limites fixées par le contrat d'achat de l'eau, et cela pendant toute la période de stage.

IV.3.5 Paramètres organoleptiques

Les résultats des analyses organoleptiques sont représentés dans le tableau IV.03.

Tableau IV.03 : Résultats des analyses organoleptiques de l'eau traitée

Paramètre Temps (semaine)	Couleur (Pt-Co)	Turbidité (NTU)
S1	0	0,8
S2	0	1,4
S3	0	1,2
S4	0	0,7
S5	0	0,7
S6	0	0,75
S7	0	0,43
S8	0	0,88
S9	0	1,24
S10	0	0,43
S11	0	0,9
S12	0	0,7

IV.3.5.1 Couleur

L'eau dessalée et traitée par la station de dessalement de l'eau de mer de Fouka est transparente et claire. Les tests de la couleur qui ont été effectués à l'aide d'un colorimètre montrent que la couleur est égale à 0 Pt-Co pendant toute la durée du suivi.

IV.3.5.2. Turbidité

Les résultats des analyses de la turbidité montrent une variation entre 0,8 et 1,4 NTU. Ces résultats sont conformes aux normes et inférieurs à la valeur limite fixée par la norme algérienne relative à la qualité de l'eau potable qui est de 5 NTU. Or les deux valeurs de la turbidité de la semaine S2 et S9 sont supérieures à la valeur souhaitée au cours du traitement de l'eau dans la station qui est égale à 1 NTU.

IV.4 Impact de la station de dessalement de Fouka sur l'environnement

Les résultats d'analyse physico-chimiques de l'eau de mer au niveau des rejets de la station sont représentés dans l'annexe VII, dans ce qui suit on va évaluer l'impact de la station sur l'environnement marin selon les variations des paramètres suivants : La température, le pH, la conductivité, la salinité, les chlorures, l'alcalinité, le calcium et le fer.

Les échantillons sont prélevés au niveau des rejets de la station de Fouka à la surface sauf le dernier qui est prélevé à une profondeur de 10m.

IV.4.1 Température

Les valeurs de la température du rejet varient entre 17,1 et 18,6 C° avec une moyenne de 17,9 C° (figure IV.22). La température d'effluent a une influence importante sur les propriétés

physiques de l'eau de mer et peut détériorer sa qualité (Habet, 2010) mais la température des rejets de la station de Fouka est au-dessous de la norme et ce pendant toutes les sorties effectuées en mer ce qui permet de conclure que le procédé d'osmose inverse n'induit pas de changement mesurable de la température de l'eau.

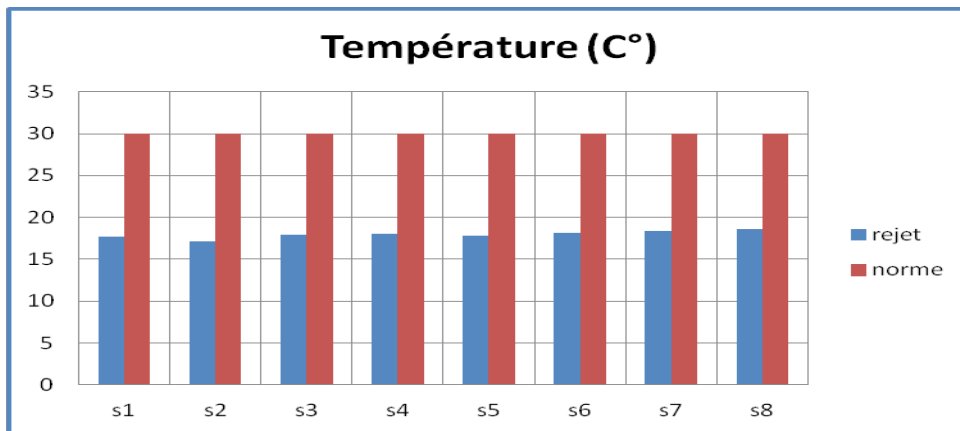


Figure IV.22 : Variation de la température du rejet

A noter que selon certaine littérature le procédé d'osmose inverse peut induire une augmentation de la température, le cas d'une station d'OI dans les îles Canaries où les mesures de la température des saumures ont montré une augmentation de 3 à 9 C° par rapport la température de l'eau d'alimentation (Kezzouli, 2014).

NB : s1, s2, s3... : sortie 1, sortie 2, sortie 3.

IV.4.2 pH

Le processus de chloration de l'usine de dessalement peut légèrement réduire le pH du rejet saumure par rapport à l'eau de mer d'admission (Habet, 2010). D'après la figure IV.23 on remarque que le pH du concentrât varie entre 7,63 et 7,92. Ces valeurs, inférieures au pH de l'eau de mer sont corrigées avant de rejeter les effluents dans la mer.

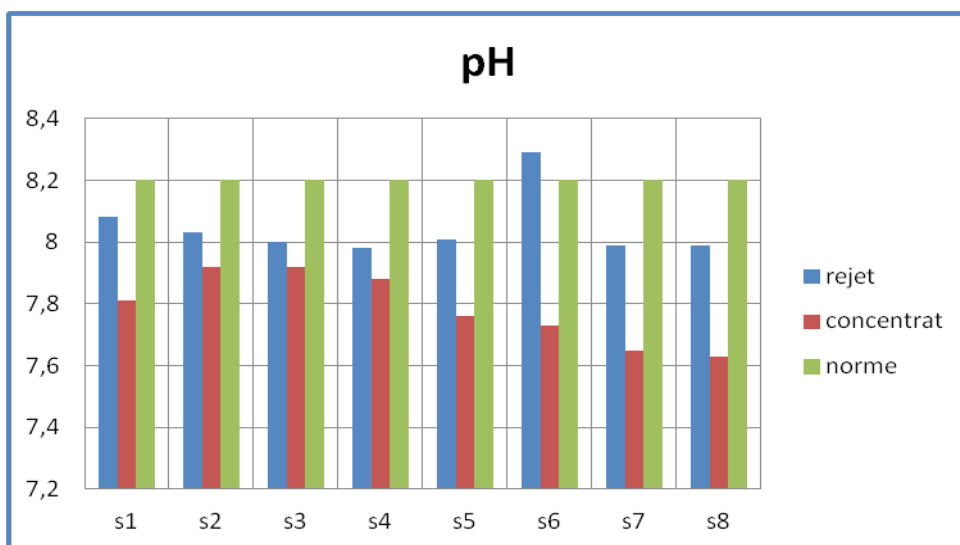


Figure IV.23 : Variation du pH du rejet

En effet les valeurs du pH du rejet sont incluses dans l'intervalle [7,98 ; 8,29 C°] avec une moyenne de 8,04 qui est plus ou moins proche de la valeur du pH de l'eau de mer et conforme à la norme sauf le sixième jour de la sortie où le pH a une valeur de 8,29 soit 0,09 au-dessus de la norme.

IV.4.3 Conductivité

Les mesures de la conductivité du rejet ont donné des valeurs allant de 53,2 à 57,6 ms/cm avec une moyenne de 55,3 ms/cm, soit 7,7 ms/cm au-dessus de la norme (figure IV.24).

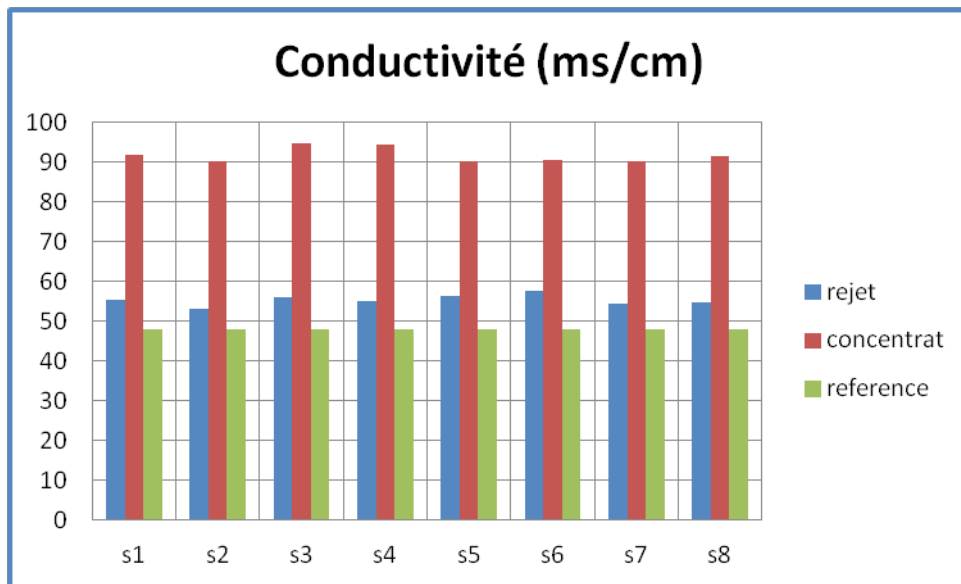


Figure IV.24 : Variation de la conductivité du rejet

Ces valeurs étaient beaucoup plus élevées avant le rejet, elles variaient entre 90,5 et 94,4 ms/cm, après la dilution avec le diffuseur de la station la conductivité a diminuée de plus de 18 ms/cm mais cette dilution n'a pas permet d'atteindre la norme qui est toujours au-dessous des valeurs du rejet.

IV.4.4 Salinité

La figure IV.23 montre des variations de salinité du rejet comprises entre 36,5 et 43,8 g/l et celle du concentrât entre 74,4 et 91,5 g/l. La salinité du rejet est au-dessus de la norme même après la dilution du saumure qui a permet une diminution de plus de 50% de la salinité du concentrât.

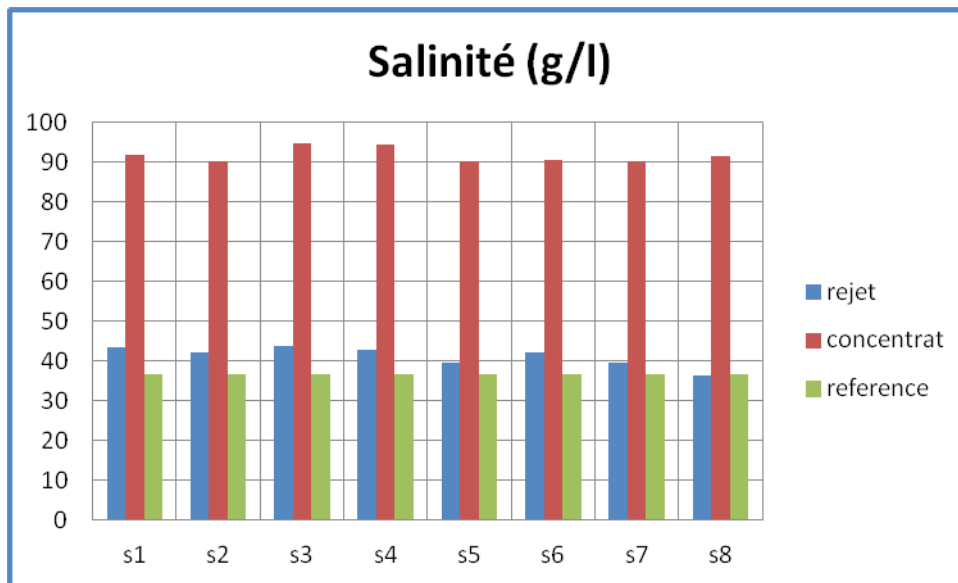


Figure IV.25 : Variation de la salinité du rejet

L'osmose inverse produit des rejets de saumures avec une salinité jusqu'à deux fois celle de la mer. La salinisation provoque une augmentation de la pression osmotique (l'assimilation d'eau par les plantes est plus difficile) et une forte concentration de certains ions (ex. Cl^- , Na^+) qui sont toxiques pour la plupart des organismes vivants (Bayly, 1969).

Quand des organismes marins sont exposés à une variation de la salinité ils sont soumis à un choc osmotique qui est préjudiciable pour la plupart d'entre eux en fonction de leur tolérance à la salinité (Krell, 2006).

Le stress exercé par le sel perturbe de façon sévère l'homéostasie cellulaire chez les algues comme chez les plantes supérieures. La différence entre les concentrations intra- et extra-cellulaires d'ions inorganiques (majoritairement Na^+ et Cl^-), engendre une sortie d'eau et une réduction du volume cellulaire (Krell, 2006).

Certaines recherches indiquent que la mortalité de nombreuse flore marine et de la faune peut se produire à des concentrations de salinité supérieure à 40 g/l avec des espèces d'algues particulièrement sensibles aux augmentations au-delà de cette limite. Toutefois les fonctions physiologiques (par exemple, la reproduction et la croissance) de nombreuses espèces peuvent être affaiblies à des concentrations beaucoup plus faibles de la salinité que cela. Par conséquent, l'adoption d'une approche concentration conservatrice de la salinité d'environ 2-5 g/l au-dessus des concentrations de fond (moyenne de 35g/l) peut entraîner des chroniques et des éventuels effets néfastes sur des espèces plus sensibles (Kezzouli, 2014).

Au niveau de la méiofaune du sédiment des différences de comportement vis à vis de l'augmentation de salinité ont pu être mises en évidence. Les espèces les plus sensibles sont les annélides et les copépodes. L'élévation de la salinité se traduisant par une prédominance de nématodes au détriment d'autres groupes comme les annélides ou les copépodes. En effet au niveau du macrobenthos, seuls les cnidaires de type anémones sont les seuls à pouvoir être

considérés comme indicateurs du fait de leur abondance en bordure littorale (Del Pilar Ruso et al., 2007).

Chez *Fragilariopsis cylindrus* en présence de 34 à 70 PSU, l'inhibition de l'efficacité photosynthétique est immédiate et elle engendre un arrêt de la croissance de plusieurs jours (Krell et al., 2007).

En Méditerranée, des effets sur les phanérogames marines ont été détectés. Notamment, en ce qui concerne la posidonie océanique, une augmentation de la mortalité des individus a été détectée, ainsi qu'une apparition de nécrose sur les tissus et une grande chute des feuilles (Kezzouli, 2014).

IV.4.5 Chlorure

Les chlorures sont très solubles dans l'eau, il est difficile de les éliminer (Rodier, 2009).

Les résultats montrent un taux en chlorure du concentrât très élevé, par rapport à la norme, qui atteint les 58 g/l (figure IV.26) soit deux fois la concentration du rejet. Au contact de l'eau de mer et au point de rejet on remarque une diminution importante des concentrations du chlorure qui varient entre 20 et 32,4 g/l mais qui reste toute fois au-dessus de la norme. Cela se traduit par la dilution du milieu récepteur qui a un effet instantané grâce au diffuseur utilisée par la station de Fouka.

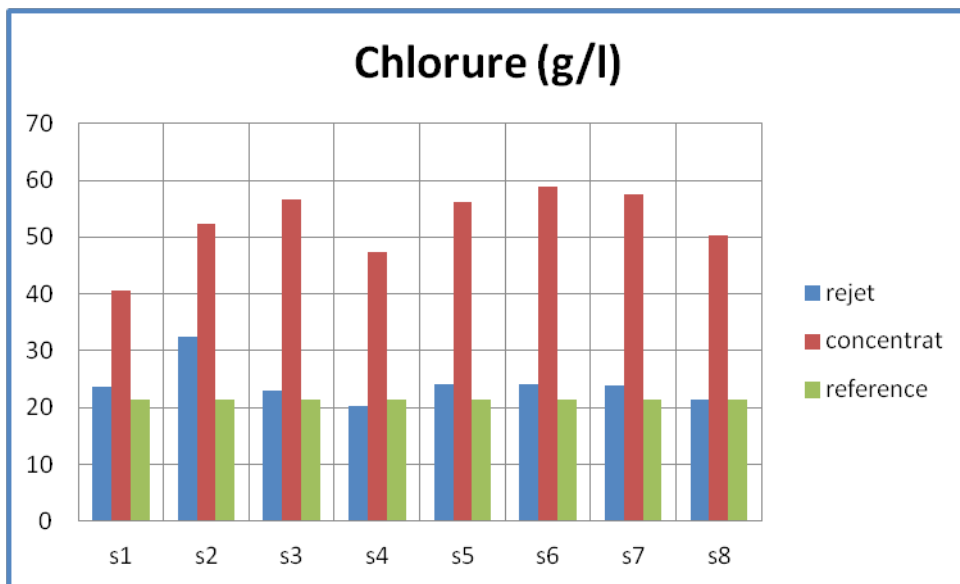


Figure IV.26 : Variation des chlorures du rejet

IV.4.6 Calcium

Les concentrations du rejet en calcium varient dans un intervalle de 734 à 997 mg/l avec une moyenne de 885,8 mg/l, elles sont toutes au-dessus de la norme.

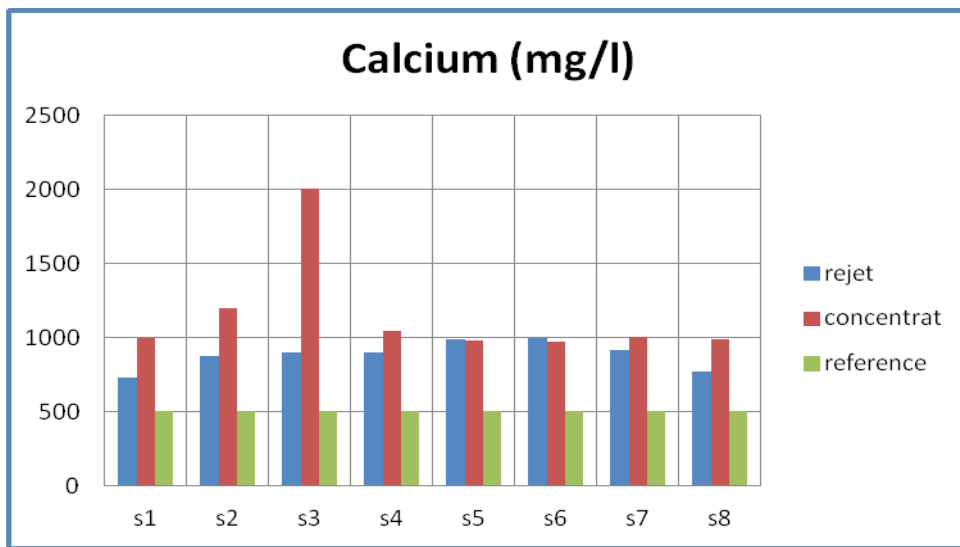


Figure IV.27 : Variation de calcium du rejet

La dilution des saumures, avec une moyenne de 25% n'a pas été très importante dans le cas de calcium.

IV.4.7 Matières en suspension

Les valeurs de la matière en suspension du rejet varient entre une valeur minimale de 4,6 mg/l et une valeur maximale de 21,4 mg/l. Ce grand écart entre les deux valeurs minimale et maximale dépend de la composition des effluents qui change selon l'activité de la station, la plus grande valeur du 24 avril est mesurée après le lavage des filtres qui rend les effluents plus concentrés en produits chimiques et détritius.

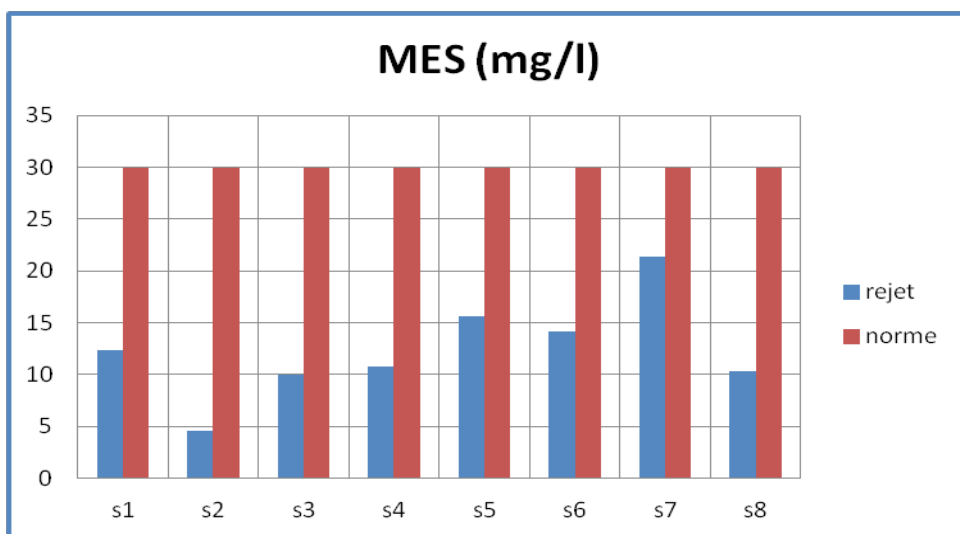


Figure IV.28 : Variation des MES du rejet

Les valeurs des matières en suspension des rejets de la station de Fouka sont largement en dessous de la norme pendant la période de nos sorties en mer effectuées entre le 02 et 29 avril.

IV.4.8 Fer

Les résultats illustrés dans la figure IV.29 montrent que le rejet de la station de dessalement de Fouka a des concentrations en fer très faibles qui varient entre 0,02 et 0,31 mg/l, elles sont en dessous de la norme qui préconise une valeur minimale inférieure à 3 mg/l.

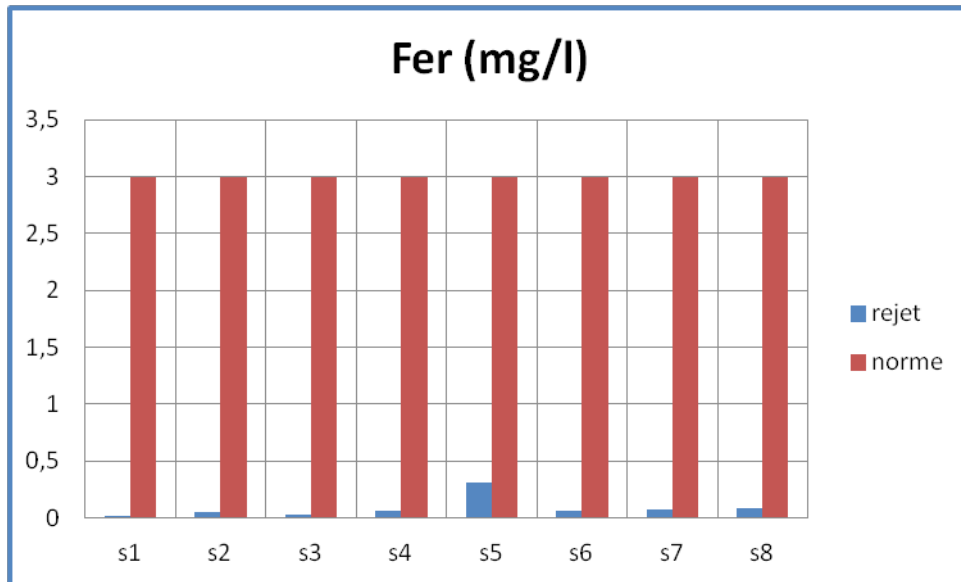


Figure IV.29 : Variation des teneurs en fer du rejet

Conclusion

Conclusion

Ce travail nous a permis d'étudier la performance de chaque étape du traitement de dessalement de l'eau de mer de la station de Fouka et d'évaluer son impact sur l'environnement marin.

Les résultats du prétraitement montrent que les valeurs des paramètres mesurés 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 le passage à travers les membranes d'osmose inverse.

Le prétraitement au niveau de la station de dessalement de Fouka est efficace, les caractéristiques de l'eau à traiter à la fin du prétraitement sont compatibles avec la nature des membranes d'osmose inverse, ainsi ces dernières seront bien protégées ce qui permet une meilleure désalinisation avec un coût minimum pour une durée de vie des membranes plus longue.

Les membranes d'osmose inverse utilisées dans la station de Fouka sont performantes, le taux de rejet des sels est supérieur à 99,5 %. Aucun cas de colmatage a été observé le temps qui a duré ce travail.

A la fin de l'osmose inverse l'eau n'est pas encore potable, elle est relativement agressive et de très faible dureté et d'alcalinité d'où l'importance du passage de cette eau par le poste de reminéralisations.

Les résultats d'analyse physico-chimiques, bactériologiques et organoleptiques permettent de conclure que l'eau traitée et dessalée à la station de dessalement de Fouka est une de bonne qualité, de bonne saveur et conforme aux normes algériennes de potabilité de l'eau et celle de l'OMS et du contrat du client.

Concernant l'impact des rejets de la station de dessalement de Fouka, les résultats obtenus montrent que :

- Le procédé d'osmose inverse n'induit pas de changement mesurable de la température de l'eau ;
- Le pH est ajusté à une valeur proche à celui de l'eau de mer et conforme à la norme ;
- Les matières en suspension ne dépassent pas la valeur maximale autorisée pour les rejets;
- La limite maximum du fer est respectée ;
- La conductivité, la salinité, les chlorures et le calcium dépassent les lignes directives fixées par les normes algériennes et celles de l'OMS. Cependant le contrat de la station concernant le contrôle des effluents n'impose aucun seuil maximal pour ces paramètres.

L'impact le plus important du rejet de la station de dessalement réside dans sa salinité très élevée avec des débits continus et très élevés, pour la station de Fouka des efforts ont été consentis pour la protection de l'environnement où un diffuseur a été installé sur le canal du rejet pour assurer une meilleure dilution de la saumure et limiter les impacts de la station sur l'environnement, ainsi le point de rejet est placé loin de la plage et aux secteurs rocheux qui sont riches en organismes.

La saumure est un polluant nocif sur la vie marine, les rejets de saumure à forte concentration et dilution insuffisante peuvent appauvrir ou détruire les écosystèmes aquatiques et dégrader la qualité de l'eau.

En perspective, il serait intéressant de veiller sur le moindre changement de l'environnement marin en réalisant une étude **annuelle** portant sur l'impact de la station de dessalement.

L'installation de plusieurs diffuseurs sur le canal du rejet et la multiplication du point de rejet sur une plus grande étendue afin d'améliorer la diffusion et la dilution de la saumure sont recommandées.

A ce jour, les effets et l'impact des rejets de saumure sur l'environnement marin à long terme sont mal connus. La station de Fouka est mise en service seulement depuis cinq ans la présente étude sur l'impact de ses rejets n'est qu'une ébauche qui sert de plate forme à d'autres études ultérieures.

Le dessalement, en soi, n'est pas une option de développement durable ; c'est une alternative d'adaptation au changement climatique qui ne devrait être adoptée que lorsque toutes les autres possibilités « durables » ont déjà été exploitées (en particulier l'utilisation rationnelle de l'eau) et qui devrait se limiter à la production d'eau potable pour la consommation humaine.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

ADE (Algérienne Des Eaux) (2014). *Situation du secteur de l'eau en Afrique* [en ligne]. Algérie : Algérienne des eaux. [Consulté le 12 mars 2016]. Disponible sur le web : <http://www.ade.dz/>

AUDINOS, R. (2000). *Techniques de l'Ingénieur, traité constantes physico-chimiques : membrane semi-perméable d'osmose inverse*. N° 7. Toulouse : La houille blanche. 88 p.

BAKER RICHARD, W. (2004). *Membrane technology and applications*. N°2. Californie: John Wiley and Sons. 264 p.

BAYLY, I.A.E. (1969). *The occurrence of calanoid copepods in athlassic saline waters in relation to salinity and ionic proportions*. Australia : Angewandte chimie international. 455 p.

BENNER, R., BIDDANDA, B., BLACK, B., et al. Abundance, size distribution, and stable carbon and nitrogen isotopic compositions of marine organic matter isolated by tangential-flow ultrafiltration. *Marine Chemistry*. N°57, p.243-263.

BROWN, E., COLLING, A., PARK, D., et al. (1997). *Seawater: Its composition, properties and behavior*. N°2. England: The Open University. 287 p.

Contrat EPC (2005). *Construction d'une usine de dessalement d'eau de mer de Fouka*. Bousmail : Station de Fouka. 123 p.

COPIN-MONTÉGUT, G. (1996). *Chimie de l'eau de mer*. Paris : Institut océanographique de Paris. 319 p.

DEL PILAR RUSO, Y., DE LA OSSA CARRETERO, J.A., GIMÉNEZ CASALDUERO, F., et al. (2007). Spatial and temporal changes in infaunal communities inhabiting soft-bottoms affected by brine discharge. *Marine environmental research*. Vol. 64, p. 492-503.

ETTORI, A. (2011). *Vieillesse chimique de membranes d'osmose inverse*. Thèse de Doctorat. Génie des procédés et de l'environnement. Toulouse : Université de Toulouse, 279 p.

FRITZMANN, C., LÖWENBERG, J., WINTGENS, T., et al. (2007). State-of-art of reverse osmosis desalination. *Desalination*. Vol. 216, p.1-76.

HABET, L. (2010). *Contribution à l'étude des impacts du dessalement des eaux de mer sur l'environnement : cas du littoral de Boumerdes*. Mémoire de magister. Génie de l'environnement. Boumerdes : M'hamed Bougara, 153 p.

KETTAB, A. (2001). *Le dessalement de l'eau de mer, une solution stratégique pour l'Algérie* [en ligne]. [Consulté le 22 février 2016]. Disponible sur le web: <http://www.algerie1.com/factualite/le-dessalement-de-l-eau-de-mer-une-solution-strategique-pour-lalgerie>

Références bibliographiques

- KEZZOULI, M. (2014).** *Etude d'impacts des rejets de la station de dessalement de Souk Tleta sur l'environnement* [en ligne]. Mémoire de master. Science de la nature et de la vie. Tlemcen : Aboubakr Belkaid. [Consulté le 22 février 2016]. Disponible sur le web: <<http://dspace.univ-tlemcen.dz/>>
- KRELL, A. (2006).** *Salt stress tolerance in the psychrophilic diatom *Fragilariopsis cylindrus**. Mémoire d'ingénieur. Biologie. Allemagne: Universite de Bremen, 120 p.
- KRELL, A., FUNCK, D., PLETTNER, I., et al. (2007).** Regulation of proline metabolism under salt stress in the psychrophilic diatom *Fragilariopsis Cylindrus* (Bacillariophyceae). *Journal of Phycology*. Vol. 43, p. 753-762.
- MAUREL, A. (2006).** *Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres et autres procédés non conventionnels d'approvisionnement en eau douce*. N°2. Paris : Lavoisier Tec et Doc, 290 p.
- PATIER, X., BLANCHON, D. (2010).** Documentation photographiques. *L'eau, une ressource menacée*. Vol. 8078, 63 p.
- PLAN BLEU (2008).** *Eau, énergie, dessalement et changement climatique en Méditerranée* [en ligne]. France : Sophia Antipolis. [Consulté le 26 février 2016]. Disponible sur le web : <http://planbleu.org/sites/default/files/publications/changement_clim_energie_med_fr_0.pdf>
- RODIER, J., LEGUBE, B., MERLET, N.** *L'analyse de l'eau*. 9^e éd. Paris : Dunod. 1526 p.
- TANSAKUL, C. (2009).** *Procédés hybrides à membranes pour le prétraitement d'eau de mer avant dessalement par osmose inverse*. Thèse de Doctorat. Génie des procédés et de l'environnement. Toulouse : Université de Toulouse. 254 p.
- ZAMICHE, S. (2014).** *Présentation du projet de dessalement de FOUKA*. Bousmail : Station de Fouka. 234 p.
- ZOUINI, D. (2009).** Le dessalement de l'eau de mer par osmose inverse : une solution pour l'alimentation en eau des villes côtières. *Revue HTE*. N°142 :78-86. [Consulté le 14 fév. 2016]. Disponible sur le web: <<https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwi1r97Czb7PAhVDwBQKHdvPDt0QFggeMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.anafide.org%2Fdoc%2FHTE%2520142%2F142-14.pdf&usg=AFQjCNFRIoRqxkyWMp2QadXSni1ZGnQYLQ>>

Annexes

Annexe I : les principales composantes de la station de dessalement de Fouka



Figure V.05 : Vue générale sur la station de Fouka

A- TETES DES PRISES D'EAU

Deux prises d'eau de mer ont été installées dans le fond marins sont construites en acier.

Elles sont localisées à un endroit où la profondeur du fond marin est de 10 m. Moins de lumière du soleil se traduit par moins de vie biologique, ce qui aussi minimise une possible contamination par des huiles.



Figure V.06 : Tête de prise d'eau

B- CONDUITE DE PRISE D'EAU

Deux (2) conduites sont prévues en condition normale, chaque conduite passe 100 % du débit;

Les conduites sont de diamètre de 1600mm et ont une longueur de 950m et sont fabriquées en PEHD.

Les conduites d'adduction sont posées au fond de la mer pour assurer une pente constante et une entrée gravitaire d'eau brute à l'usine avec une vitesse faible et constante.



Figure V.07 : Émissaire submersible

C- 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 prévus à l'entrée de la station pour éviter que de grandes particules entrent dans le processus et pour la protection des pompes. Le concept de la station de pompage est basé sur 6 pompes d'eau de mer en service et 1 en réserve.

Les pompes sont du type centrifuge vertical, d'une capacité de 2007 m³/h à 4 bars.

Deux produits chimiques différents seront dosés dans le réservoir d'eau de mer:

- Hypochlorite de calcium: désinfection
- Acide sulfurique: pour une meilleure efficacité du désinfectant et pour éviter la précipitation des sels minéraux au niveau des surfaces des membranes du pH



Figure V.08 : Station de pompage d'eau brute

D- FILTRES BICOUCHES GRAVITAIRES

Dans les filtres bicouches, la couche supérieure est faite d'un matériel épais et de faible densité (anthracite). C'est dans cette première couche que la majorité des particules sont retenues. La couche inférieure inclut un matériel fin (sable), constituant un traitement d'affinage.



Figure V.09 : Filtre à sable bicouche

E-FILTRES À CARTOUCHE

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.

Lorsque la baisse de pression à travers les filtres à cartouche dépasse une valeur préétablie (environ 1,5 bars), les cartouches du filtre doivent être remplacées. La fréquence de remplacement est estimée à environ 4 fois par année.



Figure V.10 : L'unité des filtres à cartouche

F- 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. Les filières d'osmose sont raccordées à un collecteur commun alimenté par les six (6) pompes haute pression.

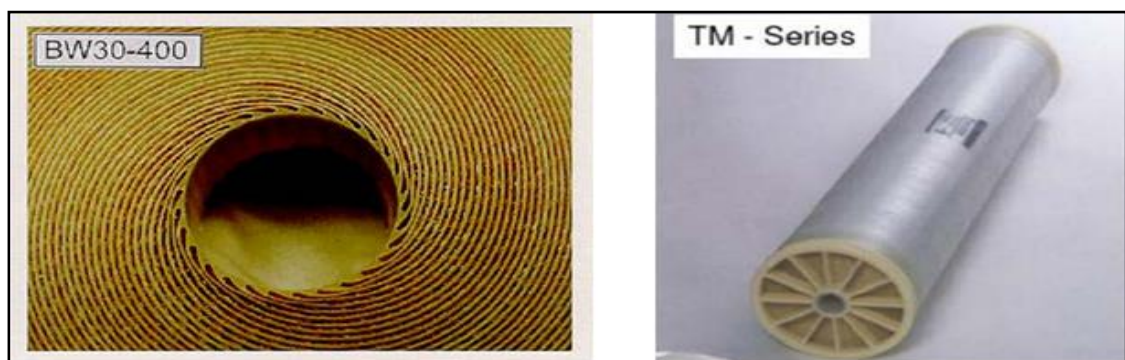


Figure V.11 : Membrane spiralée



Figure V.12 : Unité d'osmose inverse

G- POST TRAITEMENT

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.



Figure V.13 : Silos de la chaux



Figure V.14 : CO₂ fabriqué sur site

H- STOCKAGE ET 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 V.15 : Station de pompage d'eau traitée

Annexe II : Décret exécutif n° 11-125 relatif à la qualité de l'eau de consommation humaine.

Elément/ substance	Symbole	Concentration normalement trouvée dans l'eau de surface	Lignes directrices OMS 2003	Lignes directrices OMS 2006
Aluminium	Al		0,2 mg/l	0,2 mg/l
Arsenic	As		0,01 mg/l	0,01 mg/l
Baryum	Ba		0,7 mg/l	0,7 mg/l
Béryllium	Be	< 1 µg/l	Pas de valeur guide	Pas de valeur guide
Bore	B	< 1 mg/l	0,5mg/l	0,5mg/l
Cadmium	Cd	< 1 µg/l	0,003 mg/l	0,003 mg/l
Chlore	Cl		Pas de valeur mais on peut noter un goût à partir de 250 mg/l	Pas de valeur mais on peut noter un goût à partir de 250 mg/l
Chrome	Cr ⁺³ , Cr ⁺⁶	< 2 µg/l	chrome total : 0,05 mg/l	chrome total : 0,05 mg/l
Couleur			Pas de valeur guide	Pas de valeur guide
Cuivre	Cu ²⁺		2 mg/l	2 mg/l
oxygène dissous	O ₂		Pas de valeur guide	Pas de valeur guide
Fluorure	F ⁻	< 1,5 mg/l (up to 10)	1,5 mg/l	1,5 mg/l
Dureté	mg/l en CaCO ₃		500 ppm	200 ppm
Sulfure d'hydrogène	H ₂ S		0.05 à 1 mg/L	0.05 à 1 mg/L
Fer	Fe	0,5 - 50 mg/l	Pas de valeur guide	Pas de valeur guide
Plomb	Pb		0,01 mg/l	0,01 mg/l
Manganèse	Mn		0,4 mg/l	0,4 mg/l
Mercurure	Hg	< 0,5 µg/l	inorganique : 0,006 mg/l	inorganique : 0,006 mg/l
Nitrate et nitrite	NO ₃		50 et 3 mg/l (exposition à court terme)	50 et 3 mg/l (exposition à court terme)
	NO ₂		0.2 mg/l (exposition à long terme)	0.2 mg/l (exposition à long terme)
Turbidité			Non mentionnée	Non mentionnée
pH			Pas de valeur guide mais un optimum entre 6.5 et 9.5	Pas de valeur guide mais un optimum entre 6.5 et 9.5
Argent	Ag	5 – 50 µg/l	< 0,1 mg/l	Pas de valeur guide
Sodium	Na	< 20 mg/l	< 200 mg/l	Pas de valeur guide
Sulfate	SO ₄		250 mg/l	500 mg/l
TDS			Pas de valeur guide mais optimum en dessous de 1200 mg/l	Pas de valeur guide mais optimum en dessous de 1000 mg/l
Zinc	Zn		3 mg/l	3 mg/l

Annexe III: Tolérances des rejets d'effluents algériens (Décret 93-160; Article 4)

Paramètre	Unités	Valeurs maxi
Température	C	30
pH		5,5 – 8,5
MES	Mg/l	30
Demande en oxygène biochimique (DBO ₅)	Mg/l	40
Demande en oxygène chimique (DCO)	Mg/l	120
Azote	Mg/l	40
Phosphates	Mg/l	0,2
Cyanure	Mg/l	0,1
Aluminium	Mg/l	5
Cadmium	Mg/l	0,2
Chrome 3+	Mg/l	3
Chrome 6+	Mg/l	0,1
Fer	Mg/l	5
Manganèse	Mg/l	1
Mercure	Mg/l	0,01
Nickel	Mg/l	5
Plomb	Mg/l	1
Cuivre	Mg/l	3
Zinc	Mg/l	5
Huile et graisse	Mg/l	20
Hydrocarbures	Mg/l	20
Phénols	Mg/l	0,5
Solvants organiques	Mg/l	20
Chlore	Mg/l	1
PCB	Mg/l	0,001
Détergent	Mg/l	2
Tensioactifs anioniques	Mg/l	10

Annexe IV: Résultats d'analyse du prétraitement

semaine	Temp	pH	cond	turb	TDS	SDI
S1	15,5	8,01	56000	0,18	38400	2,02
S2	17,6	8,02	56000	0,13	38100	2,14
S3	16,4	8,01	55800	0,14	38200	1,93
S4	15,9	8,05	55700	0,13	37300	2,14
S5	15,9	7,96	54550	0,14	38400	2,21
S6	15,9	8,05	56000	0,14	38600	2,22
S7	16,5	8,03	55010	0,26	39020	2,08
S8	17,2	8,13	55000	0,22	39670	2,9
S9	16,6	8,15	55558	0,15	39380	2,35

S10	18,3	8,17	56998	0,16	39744	2,08
S11	18,9	8,07	54000	0,14	39500	2,22
S12	18,8	7,99	54900	0,18	39100	2,89

Annexe V: Résultats d'analyse du traitement d'osmose inverse

semaine	pH	cond	TDS	Ca ⁺²	Cl ⁻	TH	TAC
S1	7,36	307	194	3,30	110,3	9	7
S2	7,42	277	190	4,12	115	10	3
S3	7,99	289	191,3	2,05	98,7	11	4
S4	7,8	294	189	3,10	113,3	10	7
S5	7,93	312	192,3	4,08	102,9	13	7,5
S6	7,92	301	193,9	5,18	110,6	11	8
S7	7,99	364	190,3	3,90	160,3	14	5
S8	8,03	404	222,2	2,79	126,21	7	6
S9	8,1	340	205,6	2,65	126,3	12	9
S10	7,81	389	213,9	4,89	120	11	7,5
S11	7,79	382	210,1	6,01	117,7	14	8
S12	7,9	374	202,3	5,84	109	10	7,5

Annexe VI: Résultats d'analyse de l'eau traitée

semaine	temp	pH	cond	Ca ⁺²	Cl ⁻	TH	TAC	TDS	turb
s1	17	8,15	536	70,14	131,18	80	75	294,9	0,8
s2	17,7	8,36	596	72,14	130,47	84	76	327,8	1,4
s3	17,15	8,65	587	62,12	133,3	76	78	322,85	1,2
s4	17,6	8	528	72,13	125,5	76	77	290,4	0,7
s5	17,5	8,16	551	70,12	132,59	84	79	303,05	0,7
s6	17,6	8,36	545	67,32	133,3	88	67	299,75	0,75
s7	18	8,33	599	70,14	139,68	80	74	329,45	0,43
s8	18,3	8,26	559	60,12	139,68	74	70	307,45	0,88
s9	18,5	8,25	560	66,13	135,8	76	75	308	1,24
s10	18	8,3	576	72,14	141,81	88	69	316,8	0,43
s11	18,6	8,31	575	68,14	141,1	80	75	316,25	0,9
s12	18	8,2	589	59,6	138,56	81	73	312,4	0,7
mois	bore								
M1	1,23								
M2	1,09								
M3	1,23								

M4	1,14
M5	0,86
M6	0,81
M7	0,83
M8	0,91

Annexe VII : Résultats d'analyse du rejet de la station de Fouka

Date	temp	pH	cond	salinité	Fer	MES	Chlorure	Calcium
02/04/2016	17,7	8,08	55,3	43,5	0,02	12,4	23,6	734
07/04/2016	17,1	8,03	53,2	42,2	0,05	4,6	32,4	879
10/04/2016	17,9	8	55,9	43,8	0,03	10	23,1	901
14/04/2016	18	7,98	55	42,9	0,06	10,8	20	899
17/04/2016	17,8	8,01	56,3	39,6	0,31	15,6	24	987
21/04/2016	18,2	8,29	57,6	42,1	0,06	14,2	24	997
24/04/2016	18,4	7,99	54,6	39,7	0,07	21,4	24	920
28/04/2016	18,6	7,99	54,8	36,5	0,09	10,3	21,3	769

Etude de la performance de la station de dessalement de l'eau de mer de Fouka et son impact sur l'environnement marin

Résumé

La station de dessalement de l'eau de mer de Fouka (wilaya de Tipaza) assure l'approvisionnement en eau potable de 17 communes avec une capacité de 120 000 m³/jour, une étude de la performance de cette station et son impact sur l'environnement marin a fait l'objet de ce travail.

La démarche adoptée dans cette étude consiste, d'une part à faire un diagnostic des différentes étapes de dessalement : le prétraitement, le traitement d'osmose inverse et le poste traitement et d'évaluer la qualité physico-chimiques de l'eau pendant trois mois de stage. Les résultats obtenus montrent une conformité des différents paramètres de l'eau traitée avec les normes et une performance de la station de dessalement satisfaisante. D'autre part, l'impact de la station de dessalement de Fouka sur l'environnement marin a été évalué par l'analyse de l'eau de mer au point du rejet de la station. Les résultats montrent que l'impact le plus important est la salinité de la saumure qui provoque un effet négatif sur la faune et la flore marine.

Mots clés : dessalement, qualité eau potable, impact environnement, saumure.

Abstract

The plant seawater desalination of Fouka (wilaya of Tipaza) provides drinking water to 17 municipalities with a capacity of 120 000 m³ / day, a study of the performance of this resort and its impact on marine environment was the subject of this work.

The approach in this study is firstly to make a diagnosis of different desalination steps: pretreatment, reverse osmosis treatment and post-treatment and for assessing the physical and chemical quality of the water for three month internship.

The results show compliance different water parameters treated with standards and a satisfactory performance of the desalination plant.

Moreover, the impact of Fouka desalination plant on the marine environment was evaluated by analysis of sea water to the point of rejecting the station. The results show that the most important impact is the salinity of the brine causes a negative effect on marine fauna and flora.

Keywords: desalination, drinking water quality, environmental impact, brine.

ملخص

هذه المحطة وتديرها على البيئة البحرية هو موضوع هذا العمل. النهج المتبع في هذه الدراسة هو من جهة تشخيص مختلف خطوات تحلية المياه: قبل المعالجة، أثناء المعالجة بالحللول العكسي و بعد المعالجة و تقييم النوعية الفيزيائية والكيميائية للماء خلال فترة التريص لمدة ثلاثة أشهر. اظهرت النتائج ان مختلف التحاليل الكيميائية للمياه المعالجة تطابق المعايير و ان أداء المحطة لتحلية المياه مرضي. وعلاوة على ذلك، تم تقييم تأثير محطة تحلية المياه بفوكة على البيئة البحرية من خلال تحليل مياه البحر على مستوى مصب المحطة. وأظهرت النتائج أن العامل الأكثر أهمية هو ملوحة المياه الناتجة من التحلية و الذي يؤثر سلبيًا على الحيوانات المائية.

تحلية المياه، جودة مياه الشرب، الأثر البيئي، محلول ملحي: الرئيسية الكلمات