

UNIVERSITE SAAD DAHLAB - BLIDA1

Faculté de Technologie

Département des sciences de l'eau et environnement



MEMOIRE DE MASTER

Filière : **hydraulique**

Spécialité : **ressources hydrauliques**

Thème

Impacts des rejets des stations de dessalement sur l'environnement cas de la station de dessalement de l'eau de mer de FOUKA (SDEM de FOUKA wilaya de TIPAZA)

Présenté par :

BELHADJI Noura

Devant le jury composé de :

Promotion : 2018/2019

REMERCIEMENTS

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

Je tiens à remercier Monsieur GUENDOUZ .A pour son encadrement et son soutien.

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

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

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

Un grand merci tout spécial à mes parents qui m'ont beaucoup épaulé et toujours encouragé.

Je ne saurais terminer sans remercier ceux qui m'ont mis au monde et éduqué, mes grandes mères, mes grandes pères, mes oncles et tantes, ma sœur ILHEM et mon marie HAKIM et Mlle BLKACEM .Y merci beaucoup ma sœur . Je parle de tous mes parents (ma belle-mère et le père du mon marie) car chacun d'entre vous a contribué d'une manière ou d'une autre à mon éducation Je pense également à mes frères, cousins, cousines (KARIMA, KHADIDJA, FATIMA, DONIA, ASMA et AMINA)

Enfin, mes remerciements vont à tous mes amis et collègues du Département des sciences de l'eau et environnement filière hydraulique spécialité ressources hydrauliques.

DEDICACES

Je dédie ce modeste travail en signe de reconnaissance et de respect :

A ma mère et mon père pour tous les sacrifices qu'ils ont consenti à mon égard.

A tous ma famille

A tous mes amis, sans exception.

ملخص

تعتبر الجزائر من بين الدول التي تعاني من مشكل نقص المياه حيث انها تحت عتبة النقص التي اعتمدها البنك الدولي. ويجب علينا حشد جميع الموارد المائية المتاحة لتأمين امدادات المياه الصالحة للشرب ولذلك كانت عملية تحلية مياه البحر هو الحل المناسب لهذه القضية. بعد تحلية مياه البحر تنتج من الجهة المقابلة المحلول المحلى الذي بدوره يحتوي على املاح. معادن مختلفة و مركبات ثقيلة و عضوية هذا المحلول ملوحته اكبر مرتين بين (50 و 80 ل/غ) من الملوحة العادية للبحر (35غ/ل) بالنسبة للبحر الابيض المتوسط. في اطار هذه الدراسة. اعتبرنا وحدة التحلية بطريقة الأسموزي العكسي بفوكة حتى نبين الاثار السلبية على البيئة البحرية عن طريق سلسلة من التحاليل المنجزة على عينات من الماء (مركز محلل وخام) ثم اقترحنا حلول لتخفيف هذه الاضرار

كلمات مفتاحية : ماء البحر ,المياه المركزة , تحلية المياه , البيئة

Résumé

L'Algérie se trouve parmi les pays du monde qui sont sous le seuil de pénurie adopté par la banque mondiale, il faut mobiliser toutes les ressources d'eau disponibles pour sécuriser l'alimentation en eau potable. De ce fait, le dessalement des eaux de mer est la solution adéquate de cette problématique. Après dessalement de l'eau de mer, les usines génèrent de la saumure contenant divers sels, métaux lourds et composés organiques. Cette saumure est deux fois plus salée (entre 50 et 80 g/l) que l'eau de mer habituelle (35 g /l en mer Méditerranée).

Dans ce cadre d'étude, nous nous sommes intéressés à la station de dessalement par osmose inverse de FOUKA, afin de montrer l'impact potentiel sur l'environnement côtier par une Série d'analyse effectuée sur des échantillons d'eau (brute, traitée et saumure), puis on a Proposé des solutions d'atténuation de ce impact.

➤ Mots-clés : Eau de mer , Saumure , Dessalement, , Environnement,

Abstract

Algeria is among the countries that suffer the shortage of drinking. We must mobilize all available water resources to secure the supply of drinking water. Therefore, desalination of sea water is the proper solution of the issue. After desalination of seawater, factories generate brine containing various salts, heavy metals and organic compounds. This brine is two times saltier (between 50 and 80 g /l) than the standard sea water (35 g /l in the Mediterranean Sea).

On this domain of study, we paid great interest to Bou-Ismaïl desalination center by inverse osmosis, in order to show the potentiel impact on the coast environment through a series of analysis done on waters amples (brute, treated,and brine), and we have proposed attenuating solutions of This impact.

➤ Keywords : Sea water , Brine ,Desalination , Environment,

Sommaire

Liste des tableaux.

Liste des figures.

Liste d'abréviation

Introduction Générale

CHAPITRE I : Généralité sur le dessalement de l'eau de mer

I.1 introduction	01
I.2 Définition eau de mer et eau saumâtre.....	01
I.3 caractéristiques physico-chimiques des eaux de mer.....	01
I.3 .1 La température	01
I.3.2 Le pH	01
I.3.3 La turbidité	01
I.3.4 Conductivité	02
I.3.5 Densité (la masse volumique)	02
I.3.6 La dureté.....	02
I.3.7 Métaux lourds.....	02
I.3.8 Matières organiques.....	02
I.3.9 Sels dissous.....	03
I.4. l'eau potable	03
I.5. Normes de la qualité physico-chimique des eaux potables	03
I.6 Le dessalement	03
I.7 Le dessalement en Algérie.....	03
I.8. le dessalement dans le monde.....	06
I.9. Les étapes du dessalement.....	07

Sommaire

I.9.1. Captation d'eau de mer.....	07
I.9.2. Le prétraitement de l'eau de mer	07
I.9.2.1 Chloration.....	07
I.9.2.2. Clarification de l'eau brute.....	08
I.9.2.2.1 La coagulation	08
I.9.2.2.2 La floculation	08
I.9.2.2.3 La décantation	08
I.9.2.2.4 La filtration sur sable.....	09
I.9.2.3 Prévention de l'entartrage	09
I.9.2.4 Déchloration.....	09
I.9.2.5 Filtration de sécurité sur cartouches (la microfiltration).....	09
I.9.3. D différents procédés de dessalement	10
I.9.3.1. procédés de distillation.....	10
I.9.3.1.1. Distillation à simple effet.....	11
I.9.3.1.2. Distillation à multiples effets.....	11
I.9.3.1.3. Distillation par détentes successives (Multistage Flash, MSF).....	12
I.9.3.1.4. Distillation par compression de vapeur (VC)	13
I.9.3.1.5 La congélation	14
I.9.3.2. Les procédés membranaires	14
I.9.3.2.1. Electrodialyse.....	14
I.9.3.2.2. Osmose inverse.....	15
I.9.3.2.3.1. Principe de l'osmose inverse	15
I.9.3.2.3.2. Schéma général d'une installation d'osmose inverse.....	16
I.9.3.2.4. Définition de la membrane	17
I.9.3.2.5. Classification des membranes.....	18

Sommaire

I.9.3.2.5.1. Membranes organiques	18
I.9.3.2.5.2. Membranes minérales ou inorganiques	18
I.9.3.2.5.3. Membranes composites	18
I.9.3.2.5.4. Membranes échangeuses d'ions	19
I.9.3.2.6. Caractérisations des membranes	19
I.9.3.2.7. Les modules d'osmose inverse	19
I.9.3.2.7.1. Module spirale	19
I.9.3.2.7.2. Module tubulaire.....	20
I.9.3.2.7.3. Module à fibre creuses (tri acétate de cellulose).....	20
I.9.3.2.7.4. Module plan.....	21
I.9.3.2.8. Les espaceurs	21
I.9.3.2.8.1. Rôle des espaceurs	22
I.9.3.2.8. Les problèmes techniques rencontrés dans le dessalement.....	22
I.9.3.2.8.1. Biofouling.....	23
I.9.3.2.8.2. L'encrassement organique.....	23
I.9.3.2.8.3. L'entartrage.....	23
I.9.3.2.8.4. La corrosion.....	23
I.9.3.2.8.5. La polarisation.....	23
I.9.3.2.8.6. L'encrassement par particules.....	24
I.9.3.2.8.7. Colmatage des membranes.....	24
I.9.3.2.9. Les facteurs d'influence sur les membranes.....	25
I.9.3.2.10. Nettoyage des membranes d'osmose inverse	25
I.9.3.2.11. Les caractéristiques principales d'une unité d'osmose inverse.....	26

Sommaire

I.9.3.2.11.1. Mécanisme de transfert.....	26
I.9.3.2.11.2. Le taux de conversion.....	26
I.9.3.2.11.3. Le taux de rétention (sélectivité).....	26
I.9.3.2.11.4. Densité de flux de permeal.....	27
I.9.3.2.11.5. Pression osmotique	27
I.9.3.2.12. Osmose inverse Procédé de choix.....	27
I.9.3.2.13. La pompe haute pression	28
I.9.3.2.14. Le système de récupération d'énergie.....	28
I.9.3.2.14.1. Récupération indirecte.....	28
I.9.3.2.14.2. Récupération directe	28
I.9.3.2.15. Classification des différents procédés de dessalement.....	29
I.9.3.2.16. Les critères de choix d'un procédé de dessalement.....	30
I.9.4. Poste de traitement	31
I.9.4.1. La déminéralisation.....	31
I.9.4.2. Correction de PH	31
I.9.4.3. Désinfection	32
I.9.4.4. Aération	32
I.10. Conclusion	32

CHAPITRE II : Présentation de la zone d'étude (la station de dessalement de l'eau de mer de Fouka (SDEM de Fouka)

II.1. Introduction	33
II.2. Localisation De La Station De Fouka	33
II.3. Capacité de la station.....	34
II.4. Installation et processus	35
II.5. Description détaillée de l'usine	36

Sommaire

II.5.1. Têtes Des Prises D'eau	36
II.5.1.1. Critères De Conception.....	36
II.5.1.2. Conception	37
II.5.2. Conduite de prise d'eau.....	37
II.5.2.1. Critères de conception	37
II.5.3. Station De Pompage D'eau Brute	38
II.5.3.1. Critères De Conception Des Dégrilleurs.....	39
II.5.4. Le prétraitement d'eau de mer	40
II.5.4.1. La pré-chloration.....	40
II.5.4.2. Coagulant et polymère.....	40
II.5.4.3. L'acide sulfurique.....	41
II.5.4.4. Filtre à sable gravitaire.....	41
II.5.4.4.1. Lavage des filtres.....	42
II.5.4.4.2. Fréquence De Lavage Des Filtres.....	43
II.5.4.4.3. Le Réservoir D'eau Filtrée.....	43
II.5.4.5. Filtres A Cartouches.....	43
II.5.4.5.1. Les Caractéristiques Des Filtres A Cartouches	43
II.5.4.6. Le métabisulfite de sodium où Bisulfite sodium.....	44
II.5.5. Osmose inverse	45
II.5.5.1. Filières d'osmose inverse	45
II.5.5.2. Le Type De La Membrane Utilisée.....	45
II.5.5. 3. Caractéristique De La Membrane SWC4	45
II.5.5.4. La composition de la membrane utilisée au niveau de la station de FOUKA	45

Sommaire

II.5.5.5. Configuration Du Système D’osmose Inverse Et Taux De Récupération	47
II.5.5.6. Dimensionnement des pompes hautes pression.....	48
II.5.5.7. Système de récupération d’énergie	49
II.5.5.8. Procédure D’arrêt Des Filières (Rinçage)	50
II.5.5.8.1. Inversion.....	50
II.5.5.8.2. Rinçage (flushing).....	50
II.5.5.8. 3. Arrêt prolongé.....	50
II.5.5.8.4. Procédure de lavage des unités d’OI.....	50
II.5.6. Le post-traitement (la reminéralisation).....	51
II.5.7. Station de pompage d'eau traitée	52
II.5.8. Laboratoire	53
II.5. Salle de contrôle	54
II.6. Conclusion	54
CHAPITRE III: Les Analyse physico –chimiques et discussion des résultats	
III.1. Introduction.....	55
III.2. Echantillonnage Et Prélèvement Des Echantillons	55
III.3. Analyses Physico-Chimiques	55
III.3.1. Mesure La Température.....	56
III .3.2 Mesure du pH.....	56
III.3.3 Mesure de turbidité	57
III .3.4 Mesure de la conductivité	57
III .3.5 Détermination Le SDI (L'indice De Colmatage).....	58
III.3.6 Détermination de MES	60
III .3.7 Détermination de TDS.....	60
III .3.8 Test de chlore libre	61
III.3.9. Minéralisation globale.....	61

Sommaire

III.3.9.1 Détermination de l'alcalinité TA et TAC.....	61
III.3.9.2. Détermination de la dureté totale ou titre hydrométrique TH	61
III.3.9.3 Dosage du calcium et détermination du magnésium.....	62
III.3.9.4 Détermination des chlorures	62
III.3.10 Déterminé l'index de Langelier.....	63
III .4. Résultats des analyses et discussions.....	63
III .4 .1 La température (T°).....	63
III .4 .2 Le PH.....	64
III .4 .3 La turbidité (NTU).....	66
III .4 .4 La conductivité ($\mu\text{s}/\text{cm}$).....	67
III .4 .5 Le taux de sels (TDS) (mg/l).....	69
III .4 .6 Les Matières en suspensions (MES) (mg/l).....	71
III .4 .7 L'indice de colmatage (SDI ₅) (mg/l) , pendant 5 minutes.....	72
III .4 .8 L'indice de colmatage (SDI ₁₅)(mg/l) , pendant 15 minutes.....	73
III .4 .9 Ion calcium Ca ⁺² (mg/l CaCO ₃).....	74
III .4 .10 Mesure de magnésium (Mg) (mg/l).....	76
III .4 .11 Le titre hydrométrique (TH) (mg/l CaCO ₃).....	77
III .4 .12 Mesure de TA (mg/l CaCO ₃).....	79
III .4 .13 Le titre alcalimétrique complet (TAC) (mg/l CaCO ₃).....	80
III .4 .14 Les chlorures (cl ⁻) (mg/l).....	81
III .4 .15 Mesure de cl ₂ (mg/l).....	83
III .4 .16 Mesure de l'indice de langelier.....	84
III.5. Les solutions proposées	85
III.5.1. L'obligation de la chloration	85
III.5.2. L'ouvrages de coagulation-floculation-décantation.....	86
III.5.3. Méthodes de lutte contre la corrosion	86

Sommaire

III.5.4. La solution pour le système de fabrication de CO ₂	86
III.6. Conclusion.....	86
CHAPITRE IV : Impact de rejets de dessalement sur l'environnement	
IV. 1. Introduction.....	87
IV.2. Origine et type des rejets.....	87
IV.2.1. Rejets atmosphériques.....	87
IV.2.2. Les rejets chimiques	87
IV.2.3. La saumure.....	88
IV.3. L'impact de dessalement sur l'environnement	88
IV .3.1. Effets dus au prélèvement d'eau de mer.....	88
IV.3.2. L'influence de l'énergie dégagée par la station de dessalement sur la qualité de l'air.....	88
IV.3. 3. Les impacts du rejet de la saumure sur l'environnement.....	89
IV.3.4. Impacts de salinité Sur la qualité de l'eau du milieu récepteur.....	90
IV.3.5. Impact sur l'environnement marin en raison de différents produits chimiques utilisés	92
IV.3.5 .1 Effets dus aux produits de la corrosion.....	92
IV.3.5.2. Effets dus à l'additif antitartre	92
IV.3.5.3. Effets des additifs antisalissure	93
IV.3.5.4. Effets des additifs antimousses	93
IV.3.6. Rejet des eaux de lavage à contre-courant des membranes dans les usines OI.....	94
IV.3.7. Impact de bruit.....	94
IV.3.8. Pollution sonore.....	94
IV.4. L'impact de rejet de la station de dessalement de l'eau de mer de Fouka sur l'environnement.....	95

Sommaire

IV.4.1. Introduction	95
IV.4.2. Caractéristiques de la saumure	95
IV.4.3. Quantification des rejets de la Saumure de la station de dessalement de l'eau de mer de Fouka dans le milieu marin.....	96
IV.5. Impacte de rejet de la station de dessalement de l'eau de mer de Fouka sur le milieu récepteur(milieu marin)	98
IV.5.1. Les variations des paramètres physicochimiques	98
IV.5.1.1. La salinité S (PSU)	99
IV.5.1.2. La température T (C°)	99
IV.5.1.3. TDS.....	100
IV.5.1.4. Oxygène dissous (OD).....	100
IV.5.1.5. PH.....	100
IV.5.1.6. La conductivité.....	100
IV.5.1.7. La variation des paramètres indicateurs de pollution.....	101
IV.5.1.8. La variation des sels nutritifs	102
IV.5.1.9. La chlorophylle.....	102
IV.5.2. Impact de la station de dessalement de Fouka sur le biote (organismes marins)....	102
IV.6. Mesures d'atténuations des impacts sur les ressources Marines.....	103
IV.7. Les mesures prises par la station de Fouka	104
IV.8. Conclusion	104

Conclusion générale

Liste des tableaux

Chapitre I

Tableau I.1 : la salinité des différentes mers.....03

Tableau I.2 : Les Stations Monoblocs réalisées.....05

Tableau I.3 : Les 15 grandes Stations réalisées.....05

Chapitre II

Tableau II.1 : Capacité de la station de dessalement de FOUKA34

Le tableau II.2: caractéristiques concernant la membrane SWC4+45

Tableau II.3: Avantages et inconvénients des modules spirales.....47

Tableau II.4 : Résumé des caractéristiques des pompes.....53

Chapitre III

Tableau III.1 : la variation de température.....63

Tableau III.2 : l' variation de PH65

Tableau III.3 : la variation de turbidité.....66

Tableau III.4 : la variation de la conductivité.....68

Tableau III.5 : la variation de TDS.....69

Tableau III.6 : la variation de MES.....71

Tableau III.7 : la variation de SDI₅72

Tableau III.8 : la variation de SDI₁₅.....73

Tableau III.9 : la variation de la concentration de Ca⁺².....74

Tableau III.10 : la variation de Mg.....76

Tableau III.11 : la variation de TH.....77

Tableau III.12 : la variation de TA.....79

Liste des tableaux

Tableau III. 13 : la variation de TAC.....	80
Tableau III .14 : la variation de cl^-	81
Tableau III .15 : la variation de cl_2	83
Tableau III .16 : la variation de l'indice de l'angelier	84
 Chapitre IV	
Tableau IV.1_ : les limites de la salinité pour différents écosystèmes et espèces présentes en Méditerranée.....	91
Tableau IV.2 : Résumé des phases de la production d'eau potable par OI et devenir des Produit utilisés.....	94
Tableau IV.3 : présentation des résultats des analyses physico- chimiques de la saumure, effectuées à la sortie des quatre stations de dessalement.....	95
Tableau IV.4 : Les quantités journalières des différents éléments chimiques rejetées par la station de dessalement de Fouka (Tipaza).....	97
Tableau IV.5 : la variation de quelques paramètres physico- chimique pour l'étude N°1...98	
Tableau IV.6 : la variation de quelques paramètres physico- chimique pour l'étude N°2.....	98
Tableau IV.7 : la variation de quelques paramètres physico- chimique pour l'étude N°3...99	
Tableau IV.8 : La variation des paramètres indicateurs de pollution.....	101
Tableau IV.9 : La variation des sels nutritifs.....	101
Tableau IV.10 : la variation de la concentration de chlorophylle.....	102
Tableau IV.11. : Caractéristiques de l'effluent versé par l'émissaire sous-marin de station de dessalement de Fouka.....	104

Liste des figures

CHAPITRE. I.

Figure I.1 : la disponibilité en eau douce par état en 2007 en m ³ par habitant par an.....	06
Figure I.2 : Coagulation floculation.....	08
Figure : I.3 Les divers procédés de dessalement.....	10
Figure : I.4 : Le principe la distillation a simple effet.....	11
Figure: I.5 : Le principe de la distillation a effet multiple (MED).....	12
Figure : I.6 : Distillation par détente successives.....	13
Figure I.7: Principe de distillation à compression de vapeur.....	13
Figure I.8: Le fonctionnement du procédé d'électrodialyse.....	15
Figure I.9 : Principe de l'osmose et de l'osmose inverse.....	16
Figure I.10 : Schéma de principe d'une unité d'osmose inverse.....	17
Figure I.11 : membrane d'osmose inverse.	18
Figure I.12 : Représentation d'un module spirale.....	20
Figure I.13 : Schéma de principe d'un module tubulaire.....	20
Figure I.14 : Schéma de principe d'un module à fibres creuses.....	21
Figure I.15 : Schéma de principe d'un module plan.....	21
Figure I.16 : Représentation d'un espaceur.....	22
Figure I.17 : Mécanismes de limitation au transfert (colmatage et polarisation).....	24
Figure I.18 : illustre le mécanisme de colmatage.....	25
Figure I.19 : Schéma du système de nettoyage des membranes.....	26
Figure I.20: Schéma de récupération directe de l'énergie.....	28
Figure I.21: Schéma de récupération indirecte de l'énergie.....	29
Figure I.22 : schémas de classification des procédés de dessalement selon le principe sur lequel ils sont basent.....	30

Liste des figures

Figure I.23: schémas de classification des procédés de dessalement selon le type d'énergie consommé.....30

CHAPITRE .II

Figure II.1 : Photo de la station de Fouka.....34

Figure II.2 : l'installation de la station de dessalement de FOUKA.....35

Figure II.3: plan de la station de Fouka.....36

Figure II.4 : Tour De Captage. (Prise D'eau).....37

Figure II.5 : Conduite En PEHD.....38

Figure II.6 : Dégrilleurs.....39

Figure II.7: Station De Pompage D'eau De Mer.....40

Figure II.8 : Les prises des produits chimiques.....41

Figure II.9 : Les filtres gravitaires.....42

Figure II.10 : L'unité des filtres à cartouches.....44

Figure II.11 : membrane spiralé.....46

Figure II.12 : Membrane (Vue De L'intérieur).....47

Figure II.13 : Filières d'osmose inverse.....48

Figure II.14 : Pompe HP.....49

Figure II.14 : Système de récupération d'énergie.....49

Figure II.15 : Silos de la chaux.....52

Figure II.16 : CO₂ fabriqué sur site.....52

Figure II.17 : Station de pompage d'eau traitée.....53

CHAPITRE .III

Figure III .1 : image de laboratoire de la SDEM de FOUKA55

Figure III .2 : l'appareil PH mètre.....56

Figure III .3 : l'appareil turbidimètre.....57

Figure III .4 : l'appareil conductimètre.....58

Liste des figures

Figure III .5 : Kit de mesure du Fouling Index.....	59
Figure III .6 : principe de détermination de MES.....	60
Figure III .7 : principe de détermination de TDS.....	61
Figure III.8 : l'évolution de Température	64
Figure III.9 : l'évolution de PH.....	65
Figure III.10 : l'évolution de la turbidité.....	67
Figure III.11 : l'évolution de la conductivité.....	68
Figure III.12 : la variation de la concentration de TDS.....	70
Figure III.13 : l'évolution de MES	71
Figure III.14 : l'évolution de SDI ₅	72
Figure III.15 : l'évolution de SDI ₁₅	73
Figure III.16 : l'évolution de la concentration de Ca ⁺²	75
Figure III.17 : l'évolution de Mg.....	76
Figure III.18 : l'évolution de TH.....	78
Figure III.19 : l'évolution de TA.....	79
Figure III .20 : l'évolution de TAC.....	80
Figure III .21 : l'évolution de cl ⁻	82
Figure III .22 : l'évolution de cl ₂	83
Figure III .23 : l'évolution de l'indice de l'angelier.	85
CHAPITRE. IV	
Figure IV.1 : Etat initial pas de rejet de saumure.....	89
Figure IV.2 : Etat du milieu après implantation de l'usine de dessalement (rejet de saumure).....	90
Figure IV.3. : Images des échinodermes marins.....	90
Figure IV.4 : herbier de posidonies de Méditerranée.....	91
Figure IV.5 : Caulerpe proliféra de la Méditerranée.....	92
Figure IV.6 : Mussels de la méditerranée	92
Figure VI.7 : Schéma d'un émissaire de rejet par diffusion.....	103

Liste des abréviations

Liste des abréviations

SDEM : station de dessalement de l'eau de mer .

OI: Osmose Inverse.

g/l : gramme par litre

pH : Potentiel d'Hydrogène.

NTU: Unité Néphrélométrique de Turbidité

m³/j : Mètre cube par jour

OMS: Organisation Mondiale de la Santé

S: Salinité

T : Température

TH : Titre Hydrométrique (la dureté totale)

TDS: Solides Totaux Dissous

PPm : Partie par million

m³/h : Mètre cube par heure

EDTA: Ethyle Diamine Tétra Acitique

N : Normalité.

m/h : Mètre par heure

Km : Kilomètre

MSF: Multi Stage Flash.

Al : Alcalinité.

ED: Electrodialyse.

V : volume.

IL : Indice de Langelier.

MES : matières en suspension.

TAC : Titre alcalimétrique complet.

Sm : surface de membrane.

AEC : Algerian Energy Company.

π : pression osmotique.

ADE : Algérienne Des Eaux.

mg/l : Milligramme par litre

μm : micro mètre.

Liste des abréviations

μ s : microsiemens.

NEP : nettoyage en place.

IC : l'indice de colmatage.

mm : Millimètre.

m/s: Millimètre par second.

PSU : Pratical Salinity Unit.

Qp : Débit de permeat.

Y : Taux de conversion.

Q0 : Débit d'alimentation.

τ dilution : Taux de dilution.

MO : matière organique.

OD : oxygène dissous.

Q : Débit.

O₂ : oxygène.

DBO: Demande biologique en oxygène.

ml : millilitre.

HP : pompe à haut pression.

DPD : le diethyl-p-phénylénédiamine

SMBS : metabosulfite de sodium .

Introduction générale

Introduction générale

L'eau, en tant que bien commun, est indispensable à la vie. C'est l'élément primordial à fixer en un lieu où vit toute une population. La croissance démographique dans le monde s'accompagne d'une augmentation de la demande d'eau potable tandis que l'industrialisation, l'irrigation des sols et l'élévation des niveaux de vie se traduisent par un accroissement supplémentaire de la consommation d'eau douce par habitant.

Cependant, les populations ont un accès très inégal à ces ressources. En effet, seule une faible quantité de l'eau totale mondiale est de l'eau douce disponible ce qui implique que 2/3 de la population sera en situation de stress hydrique d'ici 2025. On estime en outre que 2,5 milliards de personnes pourraient souffrir du manque d'eau en 2050 compte-tenu de l'évolution de la démographie et de l'augmentation des consommations d'eau.

Pour faire face à cette pénurie d'eau, le dessalement d'eau de mer est présenté comme une alternative quand les ressources conventionnelles (cours d'eau, nappes phréatiques) viennent à être insuffisantes.

L'Algérie parmi les pays qui utilise la technique de dessalement des eaux de mer, elle a développé un programme ambitieux dans ce domaine en mettant en place, en premier lieu, 23 stations « Monobloc », réparties sur un littoral qui s'étale sur plus de 1200 Km de long. Suite à cette expérience, 14 grandes stations avec une capacité totale de 1.940.000 m³/j ont été réalisées entre 2003 et 2011. Notons que la plus grande station a été mise en service en Avril 2015 avec une capacité de 500.000 m³/j, il s'agit de la station de Magtaâ (wilaya d'Oran). Selon les experts, la production d'eau par dessalement de l'eau de mer en Algérie, passe de 500.000 m³/j en 2008, 1.1 million m³/j en 2009 et 2.26 million m³/j en 2011 à 2.580.000 en 2020. (F. MUSSEAU)

Le dessalement d'eau de mer est un processus qui permet de retirer le sel de l'eau salée ou saumâtre pour la rendre potable. Il se représente une solution efficace face au sérieux problème de Pénurie d'eau, mais, cette solution représente une menace potentielle pour l'environnement à cause de la composition des rejets qui modifient les paramètres de la mer, qui influe également négativement sur la faune et la flore. Il est grand temps d'alerter l'opinion publique sur cette autre catastrophe qui risque d'hypothéquer durablement le développement national. Le rejet généré par l'usine de dessalement se présente généralement sous la forme d'une saumure contenant divers sels, et composés organiques. Cette saumure est deux à trois fois plus salée (entre 50 et 80 g/L) que l'eau de mer habituelle.

Plusieurs méthodes physiques permettent l'obtention de l'eau douce à partir de l'eau de mer. Celles qui ont eu un grand succès à nos jours sont la distillation et l'osmose inverse. Ces deux techniques sont implémentées à l'échelle industrielle pour des grandes capacités de production et ont connu des développements technologiques considérables afin de les rendre plus compétitifs.

L'étude qui nous présentons d'intégrer dans le cadre de stage de formation qui nous avons effectué dans la station de dessalement de l'eau de mer de Fouka et nous avons pour objectif d'étudier et de suivre la performance de la station de dessalement des eaux de mer par osmose inverse de FOUKA (Wilaya de Tipaza) ainsi l'impact de la station sur l'environnement (milieu récepteur), et proposer par la suite des solutions adéquates aux problèmes rencontrés.

Introduction générale

Ce travail se présente sous la forme suivante :

Chapitre I : Généralité sur le dessalement, Cette partie explique les principales technologies et les installations des procédés de Dessalement et les Propriétés physico-chimiques de l'eau de mer et de l'eau potable.

Elle résume la composition et les différents paramètres pour l'eau de mer ainsi que pour L'eau potable et leur conformité aux normes d'OMS. On a aussi une partie sur le développement de dessalement dans le monde ainsi que dans l'ALGERIE.

Chapitre II : Ce chapitre basé sur la description générale de la station de dessalement de l'eau de mer de FOUKA (wilaya de TIPAZA) elle se poursuit par les principales techniques de dessalement, les prélèvements, les modes appliqués pour les analyses dans cette station.

Chapitre III : l'interprétation et la discussion sur les résultats obtenus pour les analyses des paramètres physicochimique de l'eau brute, l'eau filtré, l'eau de permeat et en fin l'eau traité.

Chapitre IV : Les impacts environnementaux de la station de dessalement de FOUKA, Cette partie traite les impacts de la station de dessalement de FOUKA sur l'environnement, et les solutions qu'il faut appliqués pour diminuer les effets d'impact sur l'environnement.

I.1 introduction

Pour dessaler l'eau il existe diverses techniques adaptables selon la nature de l'eau à dessaler, l'environnement et les besoins à pouvoir. Plusieurs procédés de dessalement ont été mis au point sur le marché mondial, le choix d'utilisation de chacun d'eux est relatif à la disponibilité de la source d'énergie qui fait fonctionner l'appareillage de dessalement. Il existe aujourd'hui de nombreux procédés de dessalement de l'eau de mer, dont beaucoup ont atteint le stade industriel grâce au développement technologique de ce domaine. Les deux procédés les plus courants à travers le monde sont la distillation et l'osmose inverse.

I.2 Définition eau de mer et eau saumâtre

Il existe une différence entre l'eau de mer salée et l'eau saumâtre. La distinction s'explique en grande partie par la concentration de sels dans chacune des solutions. L'eau de mer contient plus de 17 éléments chimiques dissouts dont seulement deux (le sodium et le chlore) représentent 85 % du poids total des éléments présents . Ainsi elle est caractérisée par la salinité qui est définie comme étant la quantité totale de résidus solides (en grammes) contenue dans un kilogramme d'eau de mer quand tous les carbonates ont été transformés en oxydes, de brome et l'iode remplacé par le chlore et que toute la matière organique ait été oxydée (SPIEGLER r & El-SAYED , 2001)

La concentration en sel de l'eau de mer est généralement d'environ 35 g/L, sachant que cette valeur varie en fonction de la géographie. Par définition une eau saumâtre est une eau non potable dont la salinité est comprise entre un et dix grammes de sels par litre donc inférieure à celle de l'eau de mer. Les eaux saumâtres regroupent généralement les eaux de surface et souterraines qui en traversant les sols se chargent en sels. Ainsi leur composition dépendra de la nature des sols.(Voir annexe I.1)

I.3 caractéristiques physico-chimiques des eaux de mer

I.3 .1 La température

La température d'eau de mer peut varier de 4°C dans l'océan jusqu'à 35°C autour de la péninsule arabique. Cette variation est influencé par les courants polaires, et peut avoir un avantage pour certains procédés de dessalement et un inconvénient pour d'autre. (FRANCIS ALBARED .FS)

I.3.2 Le pH

L'eau de mer est faiblement alcaline et son pH moyen est de 8.2 avec des variations entre 7.5 et 8.4. Cette variation est due à une modification de la concentration des formes ionisées et non ionisées

I.3.3 La turbidité

La turbidité désigne la teneur d'un fluide en matières qui le troublent. Dans les eaux de mer elle est causée par des matières en suspension et des particules colloïdales, micro-organisme

Chapitre I : Généralité sur le dessalement de l'eau de mer

qui absorbent, diffusent et/ou réfléchissent la lumière. La turbidité de l'eau de mer varie de 2 à 25 NTU. Plus la turbidité l'eau est minime on dit que l'eau est limpide, plus elle augmente on dit que c'est une eau turbide. (FRANCIS ALBARED .FS)

I.3.4 Conductivité

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

I.3.5 Densité (la masse volumique)

C'est le rapport d'une unité de masse rapporté à son volume a une température bien déterminer, la densité de l'eau de mer est l'ordre de 1.03g/cm

I.3.6 La dureté

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

- **Dureté temporaire** : indique la concentration ions Ca^{+2} et Mg^{+2} qui précipitent après ébullition d'eau.
- **Dureté permanente** : correspondant à la concentration ions Ca^{+2} et Mg^{+2} qui restent en solution après ébullition d'eau .la dureté d'une eau de mer et moyen de 705°F. (MONIQUE et HENRY,2002)

I.3.7 Métaux lourds

Les métaux lourds présents dans l'eau de mer peuvent être selon l'ordre de nocivité décroissante : Mercure, Cadmium, Plomb, Argent, Zinc, Nickel, Cobalt; leur toxicité dépend la forme chimique dans laquelle ils se trouvent. Les métaux lourds représentent un vrai problème de santé publique. De par leur composition chimique, ils ne peuvent être dégradés par les bactéries (D. A. E 2005).

I.3.8 Matières organiques

Les basses concentrations de matières organiques dans l'eau de mer rendent leur analyse chimique très compliquée. Les composés sont difficiles à isoler car dilués dans un milieu contenant beaucoup d'autres éléments à de plus fortes concentrations. Par convention, on sépare par filtration sur des filtres de 0,5 μ m les matières dissoutes des matières organiques particulaires. Parmi les matières organiques dissoutes, on trouve des chlorophylles et caroténoïdes, de la vitamine B, des monosaccharides, des aminoacides. Les matières organiques particulaires sont principalement constituées d'animaux et végétaux du zooplancton (ou leurs résidus). Elles peuvent représenter de 10 à 60% de la matière en suspension. [1]

I.3.9 Sels dissous

La quantité des sels dissous dans l'eau de mer change d'une eau à une autre selon que la mer soit ouverte ou fermée. Toutefois, dans le cas des mers ouvertes la proportion des différents sels en présence est relativement constante (voir tableau I.1) (MONIQUE et HENRY, 2002).

Mer	Teneurs en sels(g/l)
Mer Méditerrané	36 à 39 g/l
Mer Rouge	40 g/l
Mer Morte	270 g/l
Mer Caspienne	13 g/l
Mer Baltique	17 g/l

Tableau I.1 : la salinité des différentes mers.

I.4. l'eau potable

On entend Par eau potable, l'eau naturelle ou traitée qui convient à la consommation, à la Cuisson d'aliments, à la préparation de mets et au nettoyage d'objets entrant en contact avec les denrées alimentaires

I.5. Normes de la qualité physico-chimique des eaux potables

L'eau après traitement doit reprendre aux normes de qualité établis selon différents paramètres des analyses sont effectués pour vérifier le respect de ses normes (voir annexes I. 2 et I.3).

I.6 Le dessalement

Définition : Le dessalement de l'eau est un processus qui permet de supprimer les sels de l'eau salée ou saumâtre. Plusieurs procédés de dessalement ont été mis au point sur le marché mondial ; le choix d'utilisation de chacun d'eux est relatif à la disponibilité de la source d'énergie qui fait fonctionner l'appareillage de dessalement. (ALAIN MAUREL, 2006)

I.7 Le dessalement en Algérie

L'Algérie a fait des efforts importants pour augmenter et améliorer les ressources en eau depuis son indépendance, pour les domaines de l'industrie, l'irrigation et l'alimentation en eau potable, dans les zones urbaines et rurales du pays. Dans le domaine industriel, le dessalement est utilisé pour assurer la fourniture de l'eau pour les chaudières, le refroidissement et le traitement.

L'expérience algérienne en matière de dessalement des eaux est étroitement liée au développement de l'industrie, tout particulièrement de l'industrie pétrolière et sidérurgique.

Le recours au dessalement en vue d'un usage destiné exclusivement à l'alimentation de la population en eau potable est quasi-inexistant. Une seule expérience a été tentée dans une

Chapitre I : Généralité sur le dessalement de l'eau de mer

situation où il n'existait aucune autre solution. Il s'agit de l'unité de déminéralisation d'Ouled Djellaba, dans la wilaya de Biskra (sud-est Algérien). En 1964, trois petits blocs de 8 m³/h chacun ont été installés au complexe Gaz liquéfié d'Arzew (ville côtière à l'ouest du pays). Le procédé utilisé est la distillation à multiple effet «**Multi effet distillation, MED**».

En 1969, une autre installation a vu le jour à Arzew avec une capacité de production de 4560 m³/j. Le procédé utilisé est le multi stage flash - MSF» (.AMITOUCHE et REMINI ,2014).

D'autres installations ont été mises en exploitation pour les besoins en eau de haute pureté nécessaire au processus des complexes de production de l'électricité (Cap Djanet à l'Est d'Alger) et l'industrie de liquéfaction (Arzew et Skikda). Il y a également quelques installations qui sont destinées, principalement dans le sud, à fournir de l'eau de qualité pour la consommation humaine dans les bases pétrolières. Algérienne des eaux (entreprise nationale) qui a amorcé la première expérience en matière de dessalement de l'eau de mer par la réalisation de 13 station monobloc , d'une capacité totale de 57.500 m³/j ;dans le cadre d'un programme d'urgence ;dans les Wilayas de Tlemcen, Oran, Tipaza, Alger, Boumerdes Skikda et Tizi Ouzou et 14 grandes stations d'une capacité totale de 1.940.000 m³/j sont mises en service en 2003 et 2005 .(A. D .E ,2012)

des autres stations sont mises en service dans les années 2009,2011.il s'agit notamment des stations de Skikda (100000 m³/j), Beni Safé (200000 m³/j), souk Tlata et Honaine à Tlemcen(200000 m³/j),Fouka et Oued Sebt à Tipaza (respectivement (120000 m³/j et 100000 m³/j)et Cap Jinet à wilaya de Boumerdes (100000 m³/j).des autres stations sont également e cours de la réalisation à la Wilyz de Chlef (200000 m³/j), et Tarf (50000 m³/j)et la plus importante station est celle de Magtaa à Mostaganem, avec une capacité de production de(500000 m³/j)(Mozas et Ghosn,2013).la production en eau dessalée sera , selon les experts, passe de 500000 m³/j en 2008 à 1100000 m³/j en 2009 et 2260000 m³/j en 2011 pour atteindre 4 m³/j en 2020.(LATTEMANN .2010 et MOUSTIRI. 2011).(voir tableau I.2 et I.3)

Chapitre I : Généralité sur le dessalement de l'eau de mer

Wilaya	Site	Commune	Capacité m ³ /j	Population à servir
Alger	Palm Beach	Staoueli	2 500	16 660
Alger	Champ de tir	Zéralda	5 000	33 330
Tlemcen	Ghazaouet	Ghazaouet	5 000	33 330
Tipasa	Bou Ismail	Bou Ismail	5 000	33 330
Skikda	L.BenMhidi	L.BenMhidi	7 000	47 000
Tizi Ouzou	Tigzirt	Tigzirt	2 500	16 660
Oran	Bou Sfer	Bou Sfer	5 500	33 330
Oran	Les Dunes	Ain Turk	5000	33 330
Alger	La Fontaine	Ain Benian	5 000	33 330
A.Temouchent	Bou Zdjer	Bou Zdjer	5 000	33 330
A.Temouchent	Chatt el Ward	Bou Zdjer	5 000	33 330

Tableau I.2 : Les Stations Monoblocs réalisées. [4].

Localité	Capacité (10 ³ m ³ /j)	Date de mise en service
Kahram	90	Novembre 2005
Skikda	100	Juin 2008
Hamma (Alger)	200	Février 2008
Beni Saf (A.Timouchent)	200	2010-2011
Fouka (Tipaza)	120	2010-2011
Souk Telta (Tlemcen)	200	2010-2011
Magtaa (Oran)	500	Juin 2014
Mostaganem	200	2011
Oued Sebt (Tipaza)	100	en cour de construction
Cap Djinet (Boumerdes)	100	2011
Tenes (Chelef)	200	en cour de construction
Honaine	200	2011
El Kala(El Taref)	50	2011
Djijel	100	-
Bejaia	100	-
Total : 15 Stations	2460	

Tableau I.3 : Les 15 grandes Stations réalisées. [4]

I.8. le dessalement dans le monde.

Le dessalement de l'eau est en très forte croissance dans le monde. L'approvisionnement en eau potable sur le plan quantitatif et qualitatif s'impose de plus en plus, parallèlement aux risques de pollutions (vecteurs de maladies, toxines ou matières en suspension ou agents pathogènes) qui perdurent à chaque étape du parcours de l'eau. La disponibilité géographique en eau douce est inégalement répartie dans le monde (Figure I.1). Face à cette réalité, le dessalement de l'eau de mer est venu s'imposer pour pallier à ce déséquilibre. La capacité installée de dessalement augmente chaque année en moyenne de plus de 10%. 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. Rappelons que la capacité mondiale de production en eau potable est de l'ordre de 500 millions de m³/j (Figure I.1). (PATIER X. & BLANCHON D. 2010).

La Chine a annoncé 1 million de m³/j d'eau de mer traitée en 2010 et jusqu'à 3 millions de m³/j en 2020. 60% des besoins en eau douce des pays du Golfe Persique sont satisfaits par le dessalement d'eau de mer. En Méditerranée, la production artificielle d'eau douce par dessalement d'eau de mer ou d'eau saumâtre souterraine a débuté d'abord dans des situations d'isolement insulaire (Malte, Baléares, Dalmatie, Chypre, Cyclades...), littorales (Libye) et désertiques (Algérie), et essaime aujourd'hui très rapidement tout autour de la Méditerranée. L'Algérie et l'Espagne ont clairement opté pour cette option pour résoudre leur problème de pénurie. A ce jour, la Méditerranée représente environ un quart du dessalement mondial. Vers 2030, la région pourrait approcher le chiffre du dessalement mondial actuel (soit environ de 30 à 40 millions de m³/j). (BOYE .H(2008)).

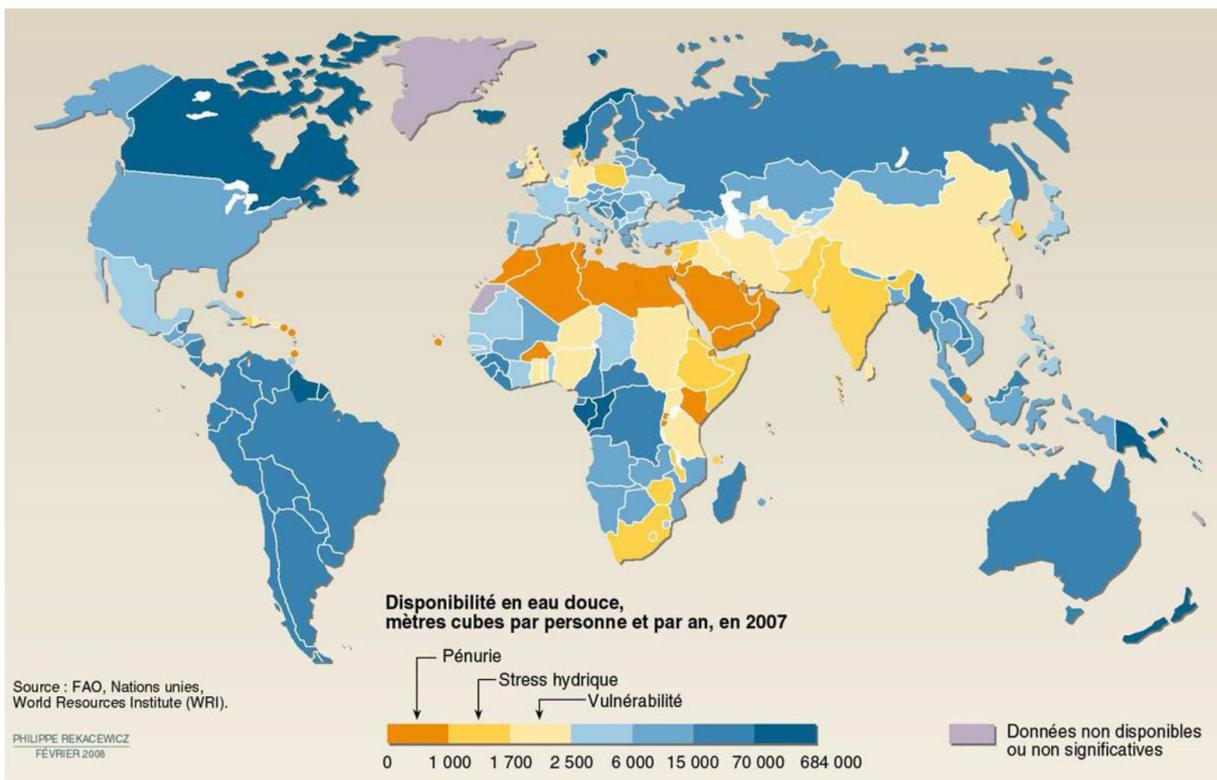


Figure I.1 : la disponibilité en eau douce par état en 2007 en m³ par habitant par an. [2]

I.9. Les étapes du dessalement

Le cycle suivi par l'eau de mer dans une installation de dessalement se subdivise principalement en quatre groupes :

- Une prise d'eau de mer
- Un poste de prétraitement
- L'installation de dessalement
- Le poste de traitement

I.9.1. Captation d'eau de mer

Consiste à pomper l'eau de mer vers la station de dessalement, cette eau doit être bonne du point de vue matières en suspension. Sont utilisés dans cette étape deux types de technologies :

- **Les forages côtiers** : soit verticaux soit sous forme de galeries horizontales permettant d'obtenir une eau de très bonne qualité et relativement stables,
- **La prise d'eau de surface** : peut être faite en pleine mer. Dans le cas idéal, le captage doit être effectué en zone profonde, éloigné de la côte, protégé des pollutions et des forts courants (ALAIN MAUREL. 2006).

I.9.2. Le prétraitement de l'eau de mer (LAIN MAUREL 2001).

Les objectifs du prétraitement sont les suivants :

- éviter le colmatage des membranes par les micro-organismes et les matières en suspension ;
- Donner à l'eau à traiter des caractéristiques compatibles avec la nature des membranes : pH, température, teneur en chlore

Les principaux facteurs qui interviennent dans la définition d'un prétraitement sont :

- les caractéristiques physicochimiques de l'eau à traiter : MES (matières en suspension), turbidité, COT (carbone organique total), algues, pH, hydrocarbures.
- les conditions de fonctionnement des membranes : pression, taux de conversion.
- les types de membranes et de modules utilisés : membranes en acétate de cellulose Ou en polyamide, modules spirales ou fibres creuses.

Les principaux postes d'un prétraitement sont les suivants : chloration, clarification, Prévention de l'entartrage, déchloration, filtration sur cartouche.

I.9.2.1 Chloration

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

La dose de chlore standard est de 3 mg/l de chlore actif. Ceci est injecté en dosant de l'Hypochlorite de Sodium (NaOCl) pour des petites unités ou du chlore gazeux (Cl₂) pour des unités de taille moyenne.

Le pH devrait être de l'ordre de 7.5 afin d'avoir un potentiel de désinfection optimal.

I.9.2.2. Clarification de l'eau brute

Les objectifs visés pour la clarification de l'eau brute sont :

- turbidité : $\leq 0,1$ NTU
- matière organique : COT < 3mg /l
- métaux : Fe < 100mg/l, Al < 503mg /l
- SDI (silt density index) < 3

Les procédés classiques de la clarification sont : coagulation, floculation, décantation, filtration sur sable.

I.9.2.2.1 La coagulation

Elle a pour objectif de neutraliser les colloïdes, chargés négativement le plus souvent, par des sels d'aluminium ou de fer : chlorure ferrique FeCl_3 , sulfate ferrique $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$, sulfate d'aluminium $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$.

I.9.2.2.2 La floculation

Elle consiste à agglomérer sous forme de floes des particules colloïdales neutralisées auparavant par coagulation. Les membranes d'osmose inverse étant chargées négativement, il est recommandé d'utiliser des floculants non ioniques ou anioniques, pour éviter le colmatage, comme le polyacrylamide.

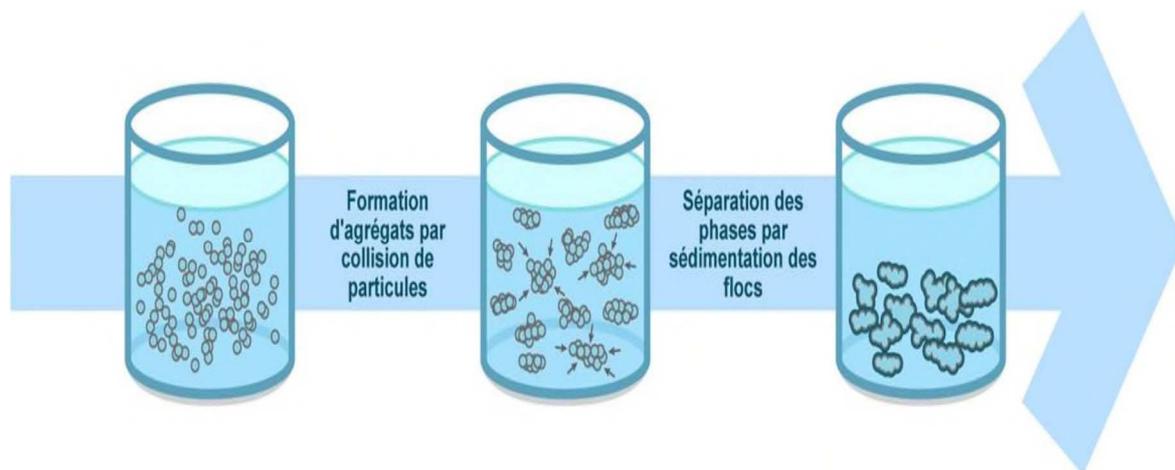


Figure I.2 : Coagulation floculation. (VALLIRON.F, Paris, 1989).

I.9.2.2.3 La décantation

Elle est utilisée principalement après une décarbonatation à la chaux et sur des eaux très turbides, on utilise des décanteurs lamellaires avec une charge hydraulique allant de 8 à 12m³/h par m² de surface plane et recyclage des bouts pour améliorer la décantation.

Les lamelles sont inclinées de 55° minimum de façon à favoriser l'écoulement des boues se déposant sur celle-ci vers le fond de l'ouvrage.

I.9.2.2.4 La filtration sur sable

Elle peut être effectuée sous pression ou de façon gravitaire. La filtration sous pression est utilisée en général pour les débits faibles et moyens. Les vitesses de filtration sont d'environ 10 à 15 m/h. La filtration gravitaire est utilisée en général pour les débits élevés. Les vitesses de filtration sont d'environ 5 à 8 m/h. La masse filtrante peut être monocouche ou bicouche.

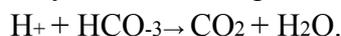
- le filtre monocouche est constitué par une hauteur de sable de granulométrie comprise entre 0,4 et 1mm sur une hauteur de 1m ;
- le filtre bicouche est constitué par une couche de 0,7 m de sable surmontée d'une couche de 0,3 m d'antracite, ce qui lui permet d'avoir des cycles de fonctionnement plus long.

I.9.2.3 Prévention de l'entartrage

La méthode la plus utilisée pour éviter les dépôts de tartre (CaCO_3 , CaSO_4) dans les modules d'OI consiste à injecter dans l'eau brute des inhibiteurs d'entartrage ou antitartres. Les produits les plus utilisés sont :

- les polyphosphates : ces produits sont efficaces et bon marché. Mais ils peuvent poser des problèmes environnementaux, compte tenu de la réglementation de plus en plus restrictive sur les rejets de phosphate.
- les polymères carboxyliques : efficaces sur la plupart des tartres, ces produits ne posent pas de problèmes pour les rejets. Ils présentent l'inconvénient d'être chers.

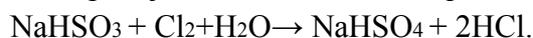
L'acidification de l'eau brute, en provoquant la décomposition des bicarbonates, est aussi un moyen efficace de prévenir les dépôts de CaCO_3 :



I.9.2.4 Déchloration

Compte tenu de la grande sensibilité des membranes d'osmose inverse en polyamide, membranes les plus utilisées actuellement, il est indispensable d'assurer une déchloration de l'eau de mer avant son entrée dans les modules.

- Soit par ajouts de réactifs chimiques : bisulfite de sodium le plus souvent :



- soit par passage sur charbon actif.

I.9.2.5 Filtration de sécurité sur cartouches (la microfiltration)

La microfiltration est assurée par l'utilisation d'un filtre à cartouche type bobiné. Entre le collecteur d'entrée et de sortie, il y'a un manomètre différentiel muni de contact électrique pour alarme, qui indiquera quand il sera nécessaire de remplacer les cartouches filtrantes. La microfiltration élimine toutes les bactéries grâce à des membranes aux pores variant de 0,1 à 10 μm . (CHENAOUÏ, 2010).

I.9.3. DIFFERENTS PROCEDES DE DESSALEMENT

La totalité des installations de dessalement fait appel à deux grandes familles de procédés,

- **les procédés thermiques** qui se basent sur le principe de l'évaporation de la successive condensation
- **les techniques membranaires** qui utilisent les capacités de certaines membranes à retenir les particules dissoutes dans l'eau.
- Il existe autres procédés sont **Les procédés chimiques** :
 - échange d'ions.
 - extraction par solvant.

Actuellement, cinq technologies seulement sont présentes sur le marché du dessalement de l'eau de mer :

- la distillation Flash
- la distillation à multiples effets
- la distillation à compression de vapeur
- l'osmose inverse
- l'électrodialyse.

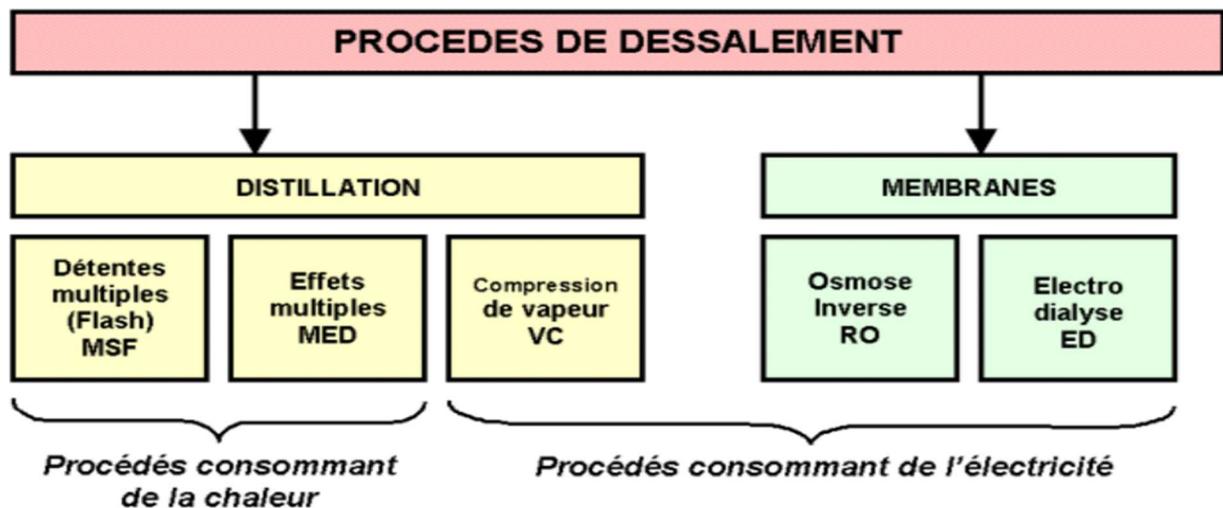


Figure : I.3 Les divers procédés de dessalement (MAUREL, A.2006)

I.9.3.1. procédés de distillation.

Les techniques de dessalement de l'eau de mer les plus utilisées La distillation ou dessalement thermique. L'eau de mer est chauffée jusqu'à évaporation. Seules les molécules d'eau s'échappent, laissant en dépôt les sels et les autres substances. La vapeur d'eau est condensée pour obtenir de l'eau douce. Ce principe de dessalement très simple est utilisé depuis longtemps.

Chapitre I : Généralité sur le dessalement de l'eau de mer

Le principe fondamental mis en œuvre dans les procédés de distillation est le fait que la température d'ébullition de l'eau diminue avec la pression. Il s'agit dans tous les cas de distillation sous vide qui permet de travailler à des températures inférieures à 120°C (MERIRICQ, 2009) et (UNEP/MAP, 2003).

I.9.3.1.1. Distillation à simple effet

Un faisceau tubulaire, alimenté par un fluide chauffant est plongé dans l'eau de mer à la partie basse d'une enceinte étanche et sous vide. Le fluide chauffant provoque alors une évaporation de l'eau de mer.

La vapeur ainsi formée est condensée sur un faisceau tubulaire, placé dans la partie haute de l'enceinte et dans lequel circule l'eau de mer froide. L'eau distillée et condensée s'écoule du faisceau et est recueillie dans une goutte à goutte d'où elle est pompée pour des usages divers. La température d'ébullition de l'eau de mer varie avec la pression donnée, il est important de noter que, pour une pression donnée, il existe un écart entre la température d'ébullition de l'eau pure et celle d'une eau saline. (DANIS. P, (2003).

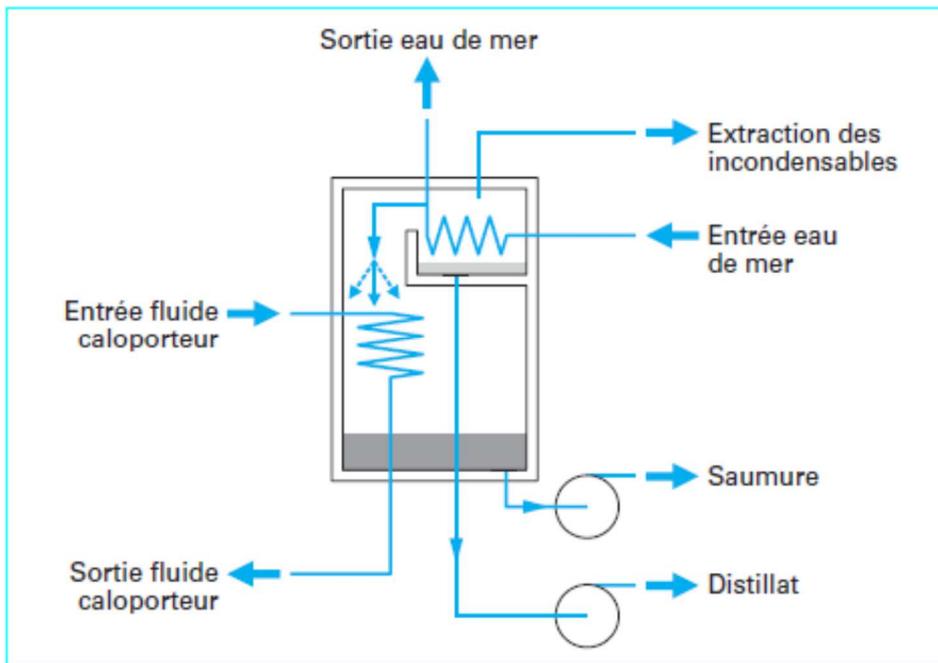


Figure : I.4 : Le principe la distillation a simple effet. (PHILIPPE APTEL, W4120- (2-3)).

I.9.3.1.2. Distillation à multiples effets

On utilise la distillation à multiples effets pour améliorer le rendement thermique du cycle évaporation-condensation. La chaleur de condensation de la vapeur produite dans une première chambre d'évaporation réchauffe une seconde chambre à pression et température plus faibles et ainsi de suite.

Chapitre I : Généralité sur le dessalement de l'eau de mer

L'eau de mer est chauffée dans le premier effet, vaporisant une fraction d'eau de mer, une partie de cette vapeur est condensée par le faisceau tubulaire où circule de l'eau de mer froide. L'autre partie de la vapeur est renvoyée dans l'effet suivant, maintenu à une pression plus faible que le premier. De même, une partie de la saumure chauffée dans le premier effet est également utilisée pour chauffer l'eau de mer dans le second. à chaque effet, l'eau distillée est envoyée dans un collecteur (DANIS , 2003).

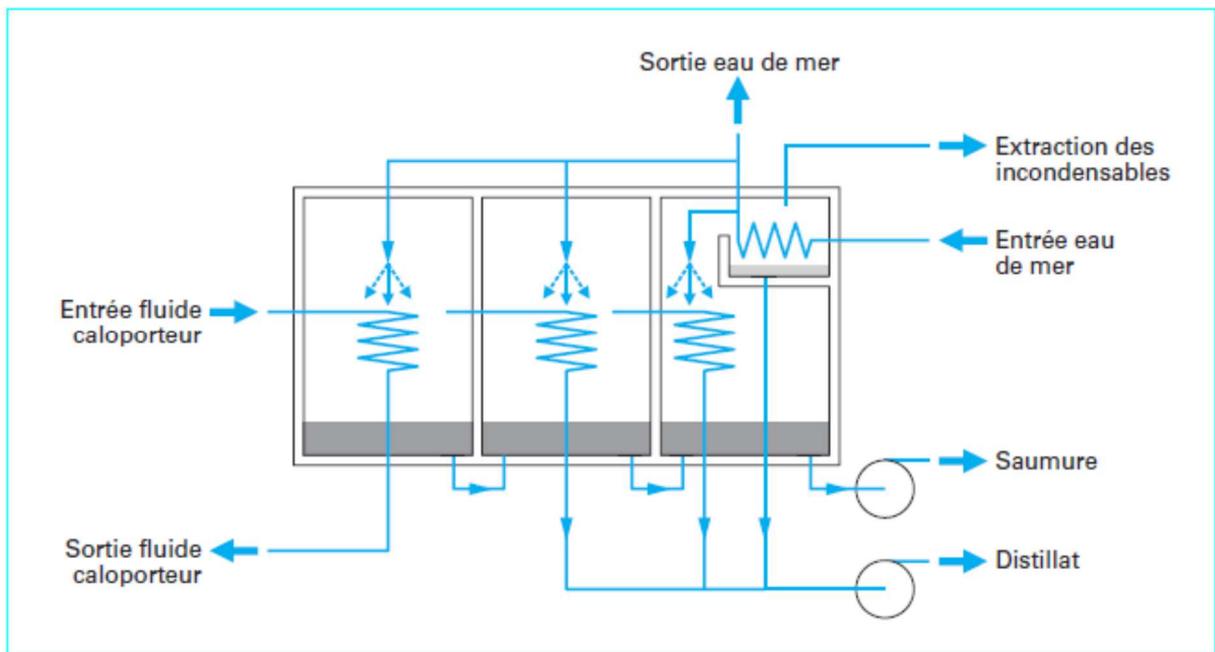


Figure: I.5 : Le principe de la distillation à effet multiple (MED). (PHILIPPE APTEL)

I.9.3.1.3. Distillation par détente successives (Multistage Flash, MSF)

Ce procédé dit Flash consiste à maintenir l'eau sous pression pendant toute la durée du chauffage ; lorsqu'elle atteint une température de l'ordre de 120°C, elle est introduite dans une enceinte (ou étage) où règne une pression réduite. Il en résulte une vaporisation instantanée par détente appelée Flash. Une fraction de l'eau s'évapore puis va se condenser sur les tubes condenseurs placés en haut de l'enceinte, et l'eau liquide est recueillie dans des réceptacles en dessous des tubes. (ALAIN. M, 2006).

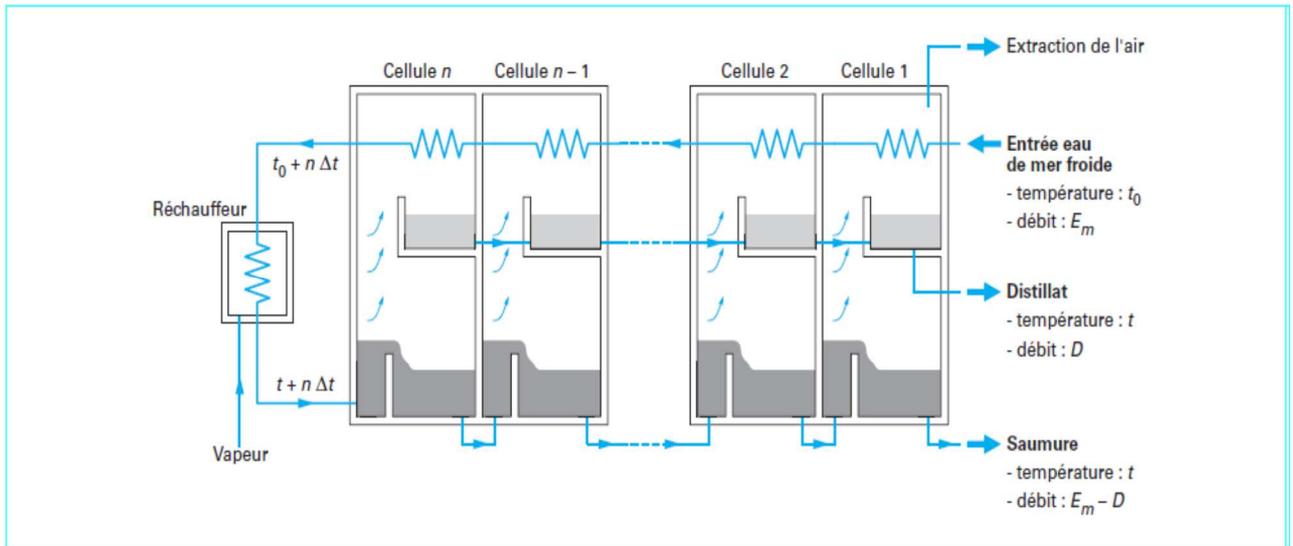


Figure : I.6 : Distillation par détentes successives. (PHILIPPE APTEL, W4120- (2-3)).

I.9.3.1.4. Distillation par compression de vapeur (VC)

L'eau de mer à dessaler est portée à ébullition dans une enceinte thermique isolée. La vapeur produite est aspirée par le compresseur qui élève sa température de saturation. Cette vapeur traverse ensuite un faisceau tubulaire placé à la base de l'enceinte et se condense en provoquant l'ébullition de l'eau salée (NISAN.S 2007)

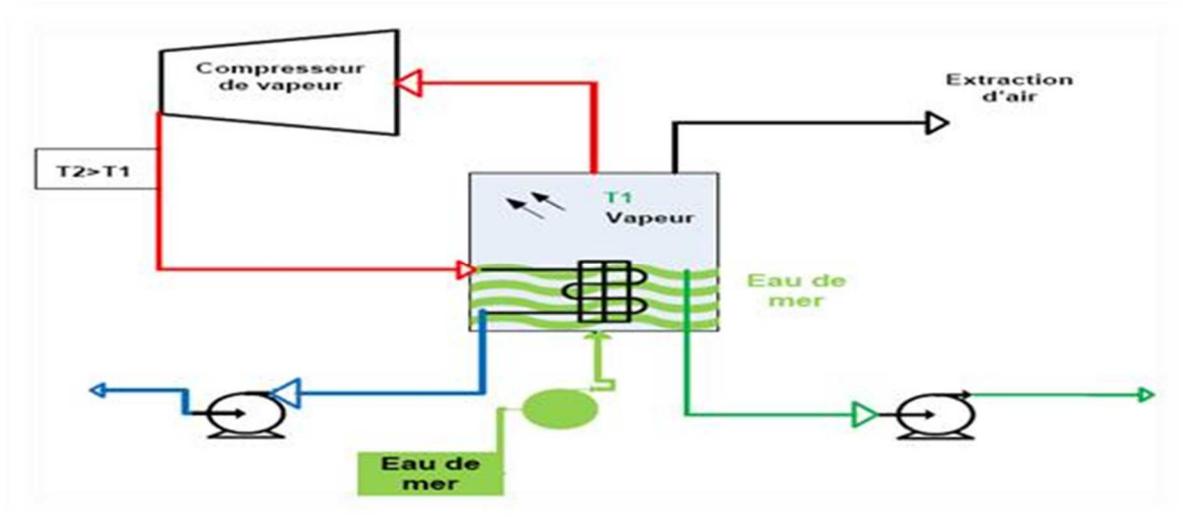


Figure I.7: Principe de distillation à compression de vapeur.(VIVIANE RENAUDIN, CNRS, NANCY, 2003)

I.9.3.1.5 La congélation

Il est possible de dessaler l'eau par congélation. La température de congélation est presque indépendante de la pression. Plus la concentration en sels est élevée et plus la température de solidification de l'eau est faible. Alors qu'elle est de 0°C pour de l'eau pure, elle descend à -2°C pour l'eau de mer et -4°C pour une eau qui a une concentration en sels deux fois supérieure à celle de l'eau de mer.

Leur principe est basé sur le fait que, lorsque l'on congèle une solution aqueuse (eau de mer), les cristaux de glace formés sont constitués d'eau pure, le soluté ou polluant restant dans la phase liquide aqueuse. (ANO AUR RICH, YOUSSEF MANDRI. 2017).

I.9.3.2. Les procédés membranaires

Les membranes ont la capacité de différencier et séparer sélectivement les sels et l'eau. En utilisant ces capacités mais différemment dans chaque cas, deux procédés de dessalement à membrane ont été développés et sont actuellement disponibles au marché. L'électrodialyse (ED) est un processus qui emploie le potentiel électrique pour déplacer les sels sélectivement par une membrane. L'eau produite est sortie comme eau douce. L'osmose inverse (OI) est un processus à pression-conduit, la pression étant employé pour la séparation en permettant à l'eau douce de se déplacer à travers une membrane, et les sels se disposent dans la solution de saumure. (NICOX. X. TSIOURTIS, 2005).

I.9.3.2.1. Electrodialyse

L'électrodialyse est un procédé à membranes très ancien puisque la première installation date des années 1960. C'est une méthode électrochimique dans laquelle le sel est séparé de l'eau par transfert d'ions et migration à travers des membranes sélectives sous l'action d'un champ électrique.

Soit une cellule d'électrolyse dans laquelle on fait circuler une solution saline : les cations vont se diriger vers la cathode et les anions vers l'anode. Ainsi que seuls les anions peuvent traverser une membrane anionique et seuls les cations peuvent traverser une membrane cationique. Si l'on intercale entre les électrodes des membranes perméables respectivement aux anions et aux cations, il y aura concentration et recombinaison des ions dans certains compartiments ou la solution s'enrichira en sels (compartiments de concentration), alors que dans les autres la salinité diminuera (compartiments de déminéralisation). (ALAIN .M.2006)

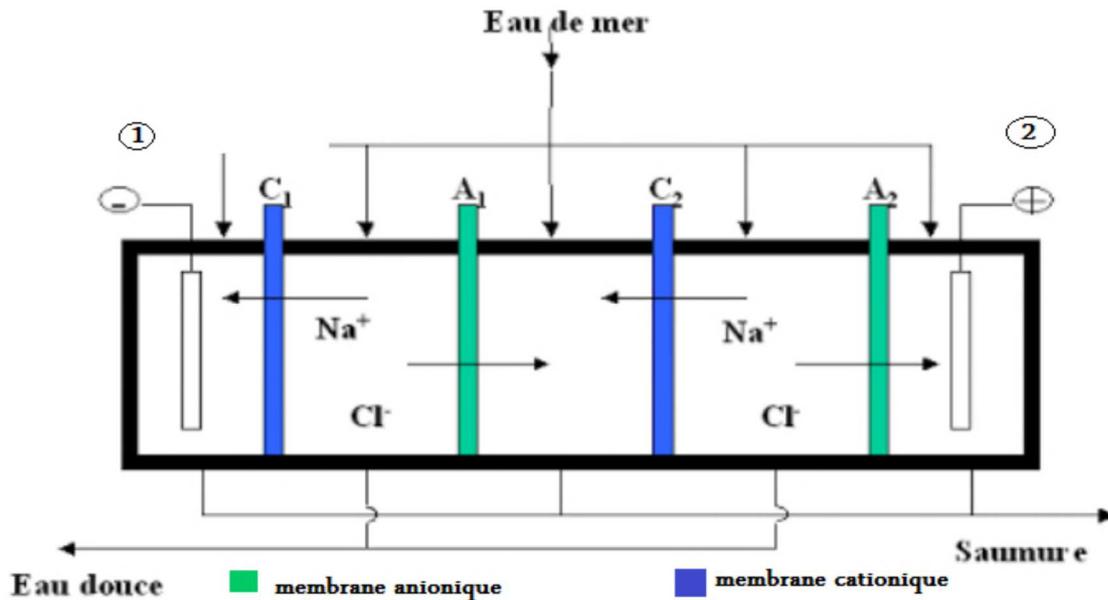


Figure I.8: Le fonctionnement du procédé d'électrodialyse. [2]

I.9.3.2.2. Osmose inverse

L'osmose inverse est un procédé de séparation de l'eau et des sels dissous au moyen de membranes semi-perméables sous l'action de la pression (54 à 80 bars pour le traitement de l'eau de mer). Ce procédé fonctionne à température ambiante et n'implique pas de changement de phase. Les membranes polymères utilisées laissent passer les molécules d'eau et ne laissent pas passer les particules, les sels dissous, les molécules organiques de 10^{-7} mm de taille. La teneur en sels de l'eau osmosée est de l'ordre de $0,5 \text{ g.L}^{-1}$. (VIVIANE RENAUDIN, NANCY, 2003).

I.9.3.2.3.1. Principe de l'osmose inverse

On appelle osmose le transfert de solvant (eau dans la plupart des cas) à travers une membrane semi-perméable sous l'action d'un gradient de concentration. Soit un système à deux compartiments séparés par une membrane semi-perméable et contenant deux solutions de concentrations différentes. Le phénomène d'osmose va se traduire par un écoulement d'eau dirigé de la solution diluée vers la solution concentrée.

Si l'on essaie d'empêcher ce flux d'eau en appliquant une pression sur la solution concentrée, la quantité d'eau transférée par osmose va diminuer. Il arrivera un moment où la pression appliquée sera telle que le flux d'eau s'annulera. Si, pour simplifier, nous supposons que la solution diluée est de l'eau pure. Cette pression d'équilibre est appelée pression osmotique.

Une augmentation de la pression au-delà de la pression osmotique va se traduire par un flux d'eau dirigé en sens inverse du flux osmotique, c'est-à-dire de la solution concentrée vers la solution diluée : c'est le phénomène d'osmose inverse. (VIVIANE RENAUDIN, NANCY, 2003). La pression osmotique est importante, et ne peut pas être négligée devant la pression opératoire. Elle est de quelques bars pour une eau moyennement saumâtre, mais avoisine de $2,5 \text{ MPa}$ (25 bars) pour l'eau océanique, et dépasse nettement cette valeur en mer rouge ou

dans le golfe persique, où sa concentration atteint 41 g/l. (J.P. BRUN; MASSON ; 1989).

L'osmose inverse permet en principe d'atteindre deux objectifs, selon que le produit valorisable est constitué par le perméat (a) ou par le rétentat (b) :

a) réduire la concentration totale en solutés ; les principales applications sont la production d'eau potable à partir de gisements saumâtres ou d'eau de mer, et l'amélioration de la qualité de l'eau à usage industriel, notamment dans l'industrie des composants électroniques.

b) Augmenter la concentration d'une solution ; la déshydratation partielle des jus dans l'industrie alimentaire en constituant une application intéressante, à en juger par l'expansion du procédé par rapport aux méthodes concurrentes (évaporation, congélation),(J.P. BRUN , MASSON , 1989)

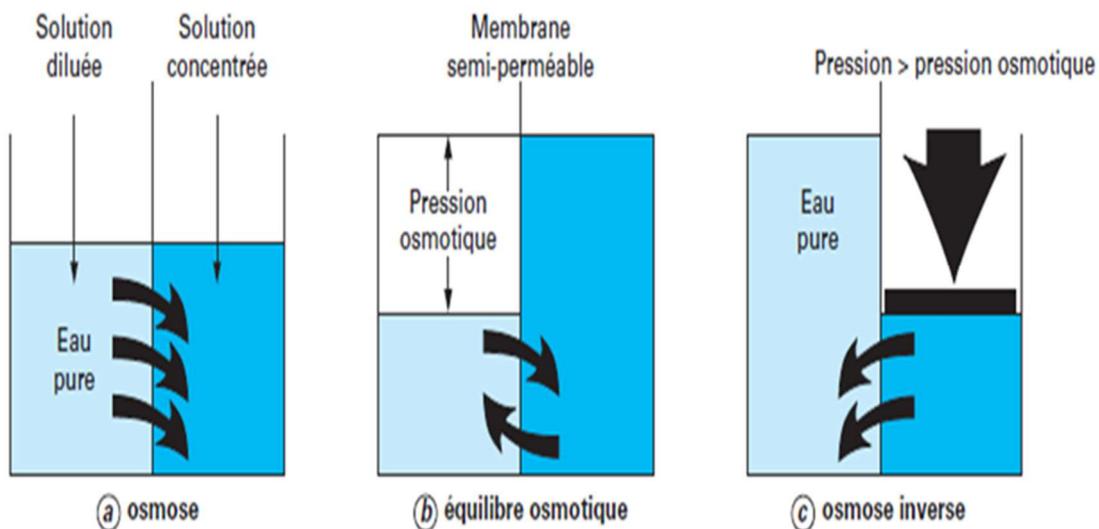


Figure I.9 : Principe de l'osmose et de l'osmose inverse. [5].

I.9.3.2.3.2. Schéma général d'une installation d'osmose inverse

- Les principaux constituants d'une installation d'osmose inverse sont les suivants (figure I.10)
- La pompe haute pression.
- La membrane proprement dite.
- Le module.
- Éventuellement un système de récupération d'énergie.

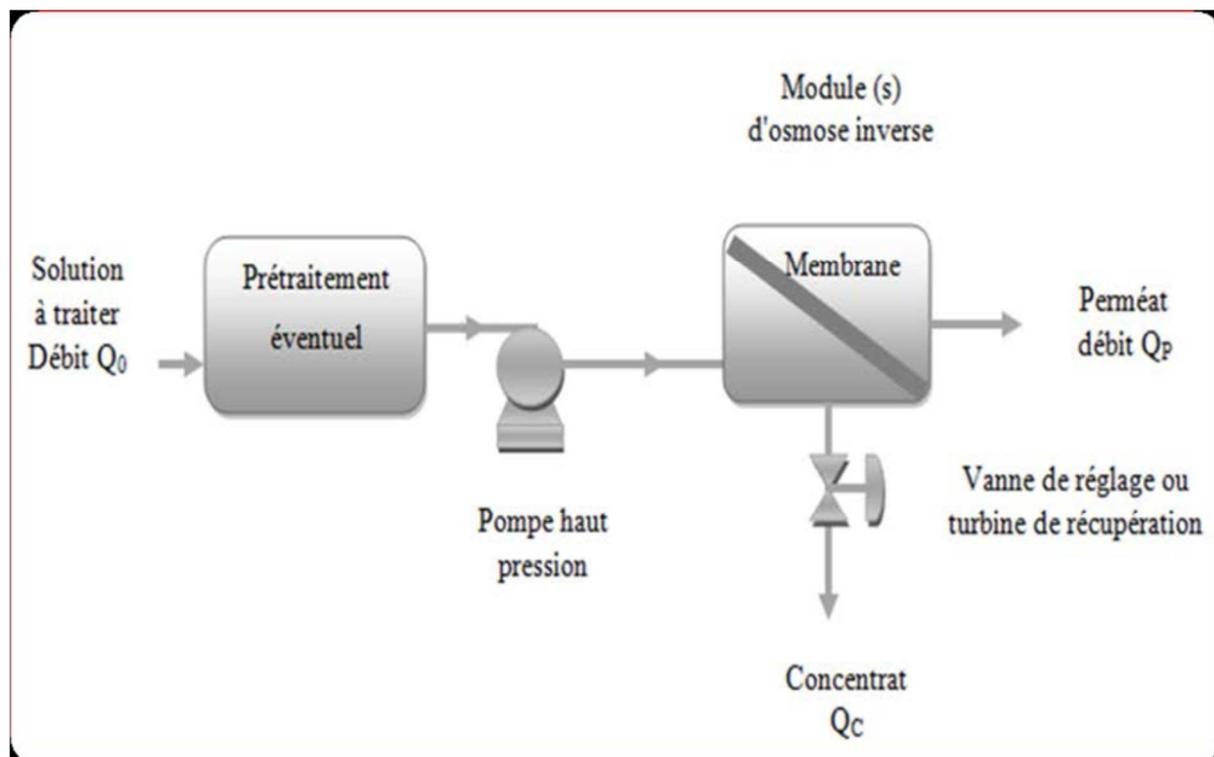


Figure I.10 : Schéma de principe d'une unité d'osmose inverse. (ALAIN. M, 2006).

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

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

L'objectif de l'écoulement tangentiel est d'éviter, autant que faire se peut, l'accumulation continue sur la membrane des espèces (particules, molécules, ions) retenues par cette dernière. (ALAIN .M, 2006).

I.9.3.2.4. Définition de la membrane

Une barrière séparant deux compartiments et permettant le passage préférentiel d'au moins une espèce parmi les autres sous l'action d'une force de transfert chimique (concentration ...etc.) ou physique (pression).

Le bon rôle que peut jouer une membrane consiste en une haute perméabilité associée à une haute sélectivité ainsi qu'une bonne résistance thermique, chimique et mécanique, pour un coût d'installation et de renouvellement contrôlé, relativement à l'application/produit considérés. La perméabilité des membranes est liée la taille et à la densité des pores, mais aussi à l'épaisseur de la couche sélective. (voir tableau 4) (S.D. JEAN –CHRISTOPHE, 2007)

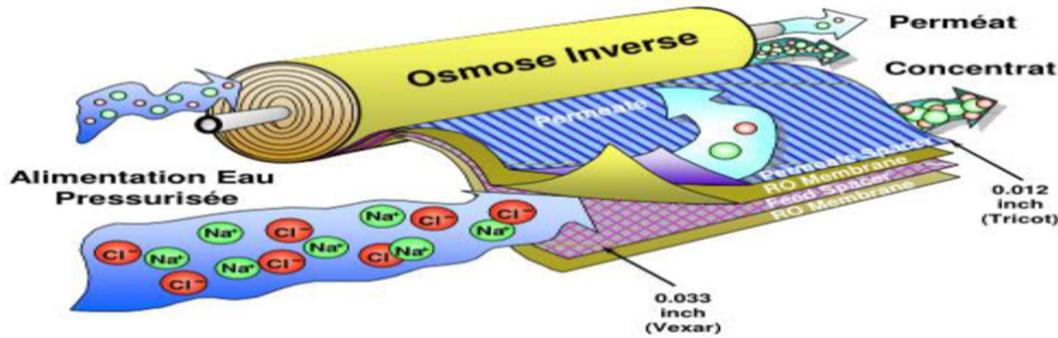


Figure I.11 : membrane d'osmose inverse. (BUSHNAK, 2012).

I.9.3.2.5. Classification des membranes. (M.BERLAND ET C. JUERY, 2002).

L'essor des matériaux de synthèse a permis de réaliser des parois semi-perméables éminemment plus pratiques et on peut les classer suivant le critère adopté en plusieurs catégories. La structure des matériaux permet de distinguer trois types de membranes : les membranes isotropes, elles ont des propriétés structurelles constantes sur toute leur épaisseur, les membranes anisotropes, leur structure composite varie de la surface de la membrane vers l'intérieur ; les membranes liquides. Selon la nature des matériaux constitutifs des membranes on parle également de :

I.9.3.2.5.1. Membranes organiques

La plupart d'entre elles sont actuellement fabriquées à partir de polymères organiques (Acétate de cellulose, polysulfones, polyamides, etc.) dont les qualités leur confèrent une grande adaptabilité aux différentes applications. La majeure partie des membranes d'ultrafiltration et de microfiltration sont constituées de membranes organiques (90%).

I.9.3.2.5.2. Membranes minérales ou inorganiques

De commercialisation plus tardive que les membranes organiques, ces membranes sont composées de corps entièrement minéraux, principalement les matières céramiques, le métal fritté et le verre. Leur arrivée a permis de travailler dans des conditions extrêmes de température et d'agression chimique, ce qui a ouvert de nouvelles voies dans la séparation par membrane.

I.9.3.2.5.3. Membranes composites

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

I.9.3.2.5.4. Membranes échangeuses d'ions

Introduites en 1950, elles fonctionnent sur le principe du rejet d'ions grâce à leur charge. Les techniques d'électrodialyse, la dialyse et l'électro-désionisation font appel à cette Technologie. Leur principal domaine d'application actuel est le dessalement de l'eau et le Traitement des effluents des installations de protection et de décoration des métaux."

Il y a deux facteurs qui déterminent l'efficacité d'un procédé de filtration sur membrane, la sélectivité et la productivité. La sélectivité est exprimée par un paramètre appelé la rétention ou le facteur de séparation. La productivité est exprimée par un paramètre appelé le débit (ou flux). La sélectivité et la productivité sont dépendantes de la membrane.

I.9.3.2.6. Caractérisations des membranes

La caractérisation d'une membrane revient à mesurer les paramètres suivant :

- la distribution des tailles des pores
- la perméabilité à l'eau
- la sélectivité de la membrane

I.9.3.2.7. Les modules d'osmose inverse

Les membranes les plus répandues sont assemblées sous forme de modules regroupant généralement plusieurs membranes. Actuellement, trois principaux types de modules sont commercialisés, il s'agit des modules spiraux (les plus utilisés), les modules tubulaires et les modules fibres creuses. (S.D. JEAN –CHRISTOPHE. R, 2007).

I.9.3.2.7.1. Module spirale

Une membrane en polyamide composite plane est enroulée autour d'un tube creux collecteur perméable.

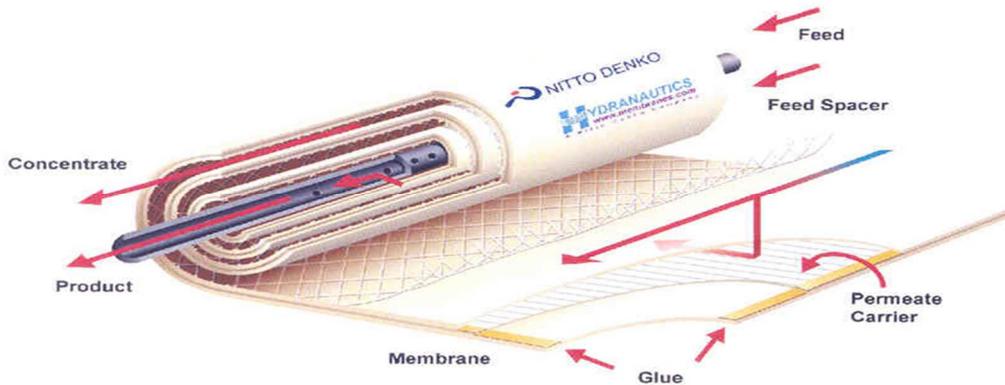


Figure I.12 : Représentation d'un module spirale . [3]

I.9.3.2.7.2. Module tubulaire. [4].

Une membrane tubulaire est fixée sur un support poreux.

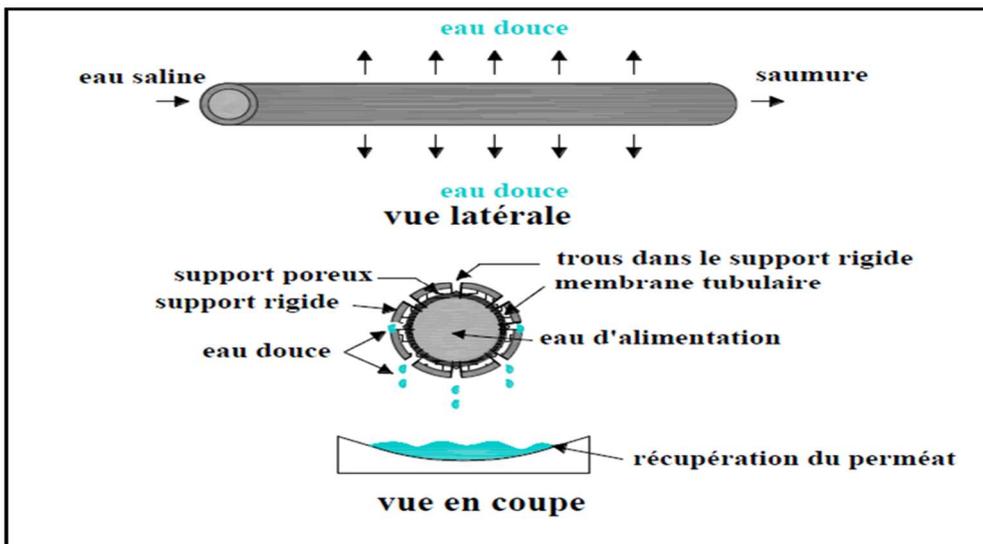


Figure I.13 : Schéma de principe d'un module tubulaire. (TAIBI .S ,2015).

I.9.3.2.7.3. Module à fibre creuses (tri acétate de cellulose). [4].

Les fibres en U sont mises en faisceau et assemblée de façon à réaliser l'étanchéité aux deux extrémités du module. Le liquide à traiter circule perpendiculairement à l'axe des fibres tandis que le concentrât est recueilli dans une enceinte qui enveloppe le faisceau et permet son évacuation à une des extrémités du module.

Le perméat s'écoule à l'intérieur de chacune des fibres puis dans un collecteur. La production par module : 17 à 32 m³/j .

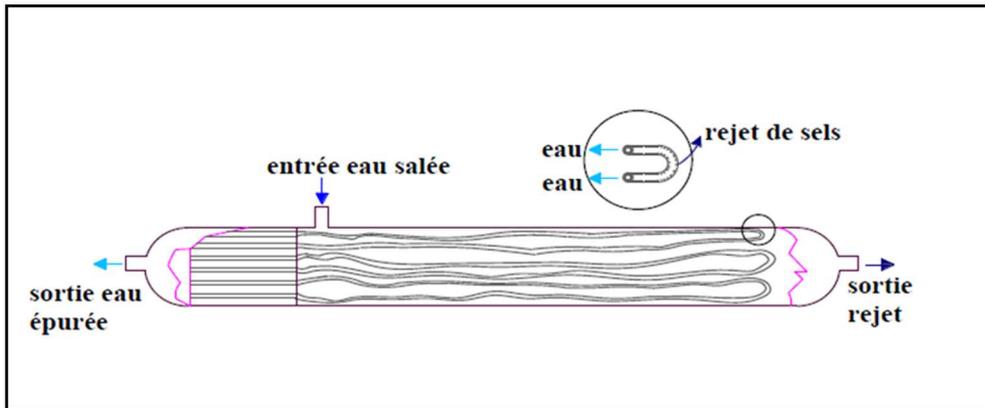


Figure I.14 : Schéma de principe d'un module à fibres creuses

I.9.3.2.7.4. Module plan

Ce type de module est le plus simple :

Les membranes sont empilées en mille feuilles séparées par cadres intermédiaires qui assurent la circulation des fluides, et les plus anciens de technologie calquée directement sur celle des filtres presses. Il peut se présenter soit sous forme de plaques unitaires soit sous forme de cartouches.

Un des paramètres le plus importants la distance entre les membranes.

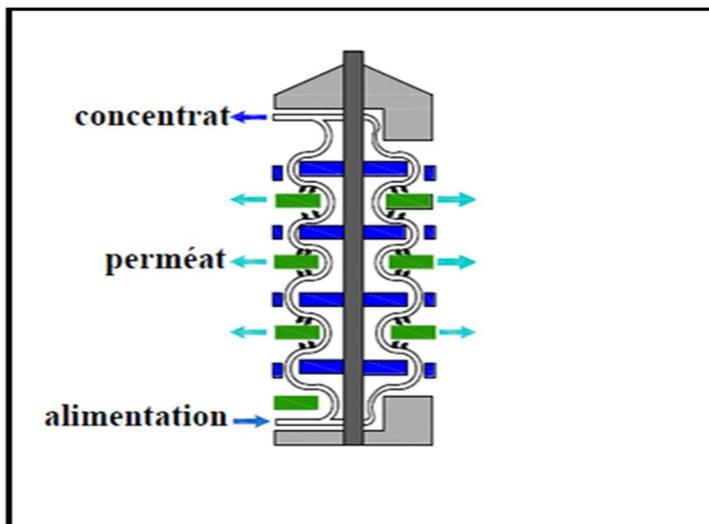


Figure I.15 : Schéma de principe d'un module plan

I.9.3.2.8. Les espaceurs

Les espaceurs sont considérés comme un composé de deux ensembles de droites parallèles tissées ou non-tissées de filaments (cylindriques ou carrés) en plastique, insérés entre les membranes d'osmose inverse, dans les modules en spirale. Deux types d'espaceurs sont commercialisés avec différentes caractéristiques d'espacement, à savoir, le diamètre du

filament et la distance inter-filament. Ils provoquent des changements de direction du fluide qui s'écoule différemment dans le canal et sont par conséquent l'objet de plusieurs réflexions afin d'augmenter leur efficacité (ASHWANI .K, Y.H. ZURIGAT , 2004).

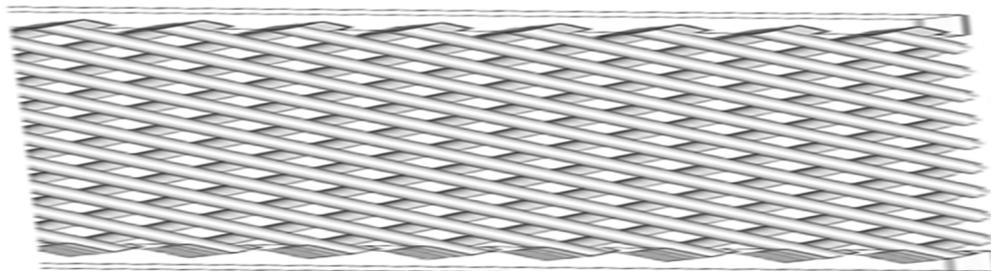


Figure I.16 : Représentation d'un espaceur. (MESLEK .F ,2014)

I.9.3.2.8.1. Rôle des espaceurs

Ces espaceurs jouent un double rôle, à savoir :

- Garder les membranes adjacentes en écart de manière à former un canal d'alimentation.
- Contribuer à la perturbation du fluide essentiellement sur les surfaces des membranes, de façon à maintenir par l'effet de cisaillement la surface de la membrane relativement propre.

L'efficacité et la performance des membranes dépendent de la fiabilité des espaceurs pour augmenter le transport de masse loin de la surface de la membrane et de réduire la polarisation de concentration en augmentant la vitesse du fluide à la surface de la membrane. (MESLEK. F ,2014).

I.9.3.2.8. Les problèmes techniques rencontrés dans le dessalement

La membrane est le point clef des installations par osmose inverse. Or la séparation membranaire possède un talon d'Achille : le colmatage de la membrane.

Que peut-il causer l'encrassement des systèmes d'osmose inverse?

Quatre différents types d'encrassement sont identifiés:

- Encrassement par les particules
- Biofouling (encrassement biologique)
- Encrassement Organique
- Colmatage

I.9.3.2.8.1. Biofouling

Défini comme l'accumulation des bactéries, y compris sur la surface due à l'attachement et la croissance bactérienne. L'accumulation de biomasse/ formation du biofilm à tel niveau que des problèmes opérationnels surviennent, est appelée. «**Biofouling** » (MAUREL.A , 2006) Le Biofouling dans les systèmes d'Osmose Inverse et nanofiltration est causé par les bactéries, sont partout. Même dans l'eau potable. La taille d'une Bactérie est petite entre 0.1–10 µm. Les Bactéries ont tendances pour adhérer aux surfaces, y compris les surfaces membranaires. Elle produisent des substances polymères extra cellulaire (Polysaccharides, Protéines, Glycoprotéines, Lipoprotéines, autres macromolécules), ces substances sont à l'extérieur des cellules et agissent comme une "colle". (ALAIN .M, 2006)

I.9.3.2.8.2. L'encrassement organique

Il peut être provoquée par la matière organique naturelle; acides humiques due à:

- L'adsorption ou la réaction chimique avec le matériau de la membrane.
- Précipitation due au changement du pH dans l'eau d'alimentation (dose d'acide) dépassant la solubilité due à la concentration dans les saumures « Produits de pétrole, Polymères organiques utilisés dans le prétraitement ».

I.9.3.2.8.3. L'entartrage. [6].

L'entartrage est un dépôt de sels minéraux qui a tendance à se former sur la surface d'échange

- Les composés inorganiques faiblement solubles présents l'eau brute, voient leurs concentrations augmenter dans la saumure (concentrât).
- La précipitation peut avoir lieu quand la solubilité va être dépassée.

I.9.3.2.8.4. La corrosion. (MOURAD AMITOUCH , 2016)

Dans l'ensemble, les cas de corrosion les plus courants sont dus à.

- Une présence excessive en sels minéraux (chlorures, sulfates).
- Un pH inférieur au pH de saturation (pHs) .
- Une saturation en oxygène dissous.

I.9.3.2.8.5. La polarisation. [6].

Le phénomène de polarisation est caractérisé par une accumulation à la surface de la membrane des espèces retenues. La concentration étant à la surface plus élevée que dans le volume de la solution, il s'ensuit une augmentation de la pression osmotique près de la membrane et donc une diminution de la pression efficace ce qui engendre une diminution du flux du perméat.

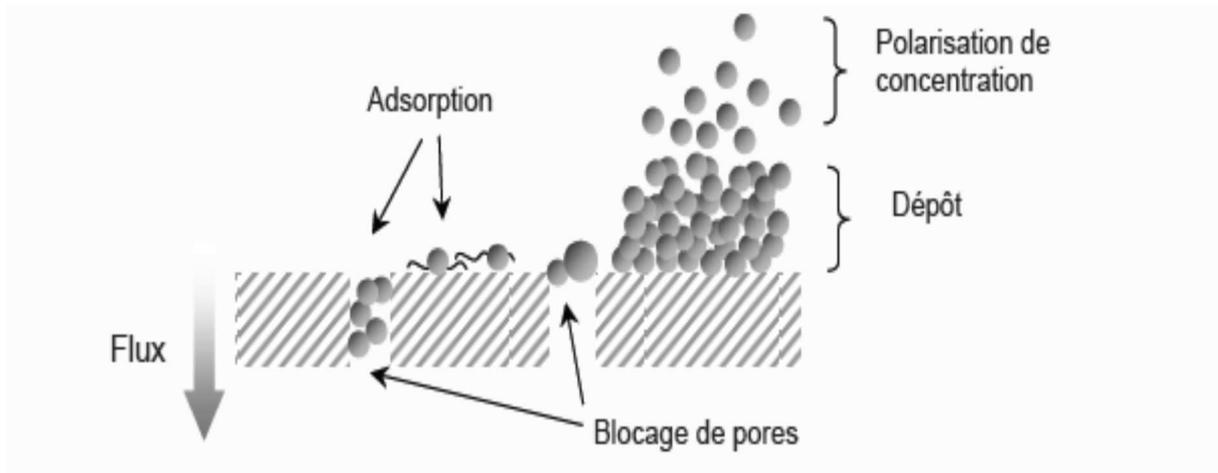


Figure I.17 : Mécanismes de limitation au transfert (colmatage et polarisation). [6].

I.9.3.2.8.6. L'encrassement par particules. (AMITOUCH.M, 2016).

Les particules en suspension et colloïdales exemple :

- ✓ argile
- ✓ Matières organiques
- ✓ Coagulants « $\text{Fe}(\text{OH})_3$, $\text{Al}(\text{OH})_3$ »
- ✓ Algues
- ✓ Bactérie, sans multiplication
- ✓ fer (II) adsorbé et oxydé en $\text{Fe}(\text{OH})_3$
- ✓ Manganèse (II) adsorbé et oxydé en Mn_3O_4 MnO_2

I.9.3.2.8.7. Colmatage des membranes

- Le dépôt de matières entraîne la formation d'une couche à la surface de la membrane ce qui a pour conséquence de réduire le débit de filtration et donc les Performances de l'opération. Le colmatage est responsable dans trois quarts des cas du vieillissement de la membrane.

Le colmatage est un des problèmes les plus importants que l'on rencontre lors de la mise en œuvre des techniques à membranes. Il peut être défini comme une diminution de débit de perméat au cours du temps qui associée en générale à une variation de la sélectivité.

- Les dépôts qu'ils rencontrent peuvent être de nature très diverses :
- les sels minéraux (carbonate de calcium, sulfate de calcium, sulfate de magnésium).
- Les hydroxydes (hydroxyde de fer).
- Les matières organiques (protéine, gels divers).
- Les films biologiques provenant de développement, bactérien.
- La concentration top élevée (soit la concentration moyenne, soit les surconcentrations local dues aux phénomènes de polarisation).
- La présence des matières en suspension qui se déposent sur les membranes par suite de conditions hydrodynamiques favorables (vitesse faible).
- La réaction d'adsorption entre certaines molécules et les matériaux membranaires.

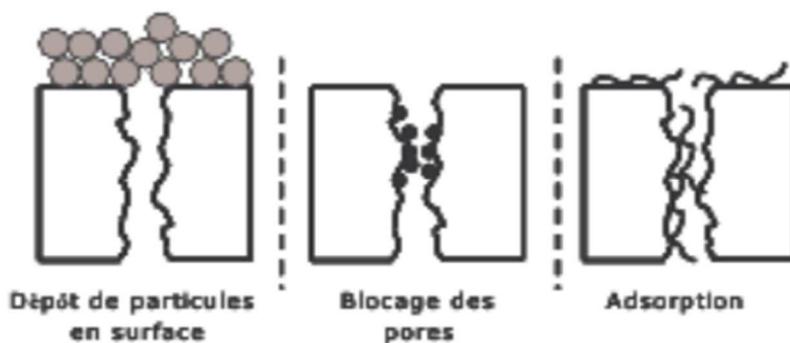


Figure I.18 : illustre le mécanisme de colmatage (CHATKAEW.T, 2009).

I.9.3.2.9. Les facteurs d'influence sur les membranes. (AMITOUCH.A 2016)

La nature et la rapidité du colmatage dépend de plusieurs facteurs, comme :

- la qualité d'eau d'alimentation.

le taux de conversion. Etc.

- Un colmatage évolue progressivement
- il doit être contrôlé dès le début.
- il peut détériorer la membrane.
- Il diminue d'une manière remarquable les performances des membranes dans un court délai.

I.9.3.2.10. Nettoyage des membranes d'osmose inverse

Il y a 3 procédures de nettoyage des membranes

- Rinçage post-service
- Nettoyage chimique standard : 1 à 4 fois par an (moyenne)
- Nettoyage chimique spécifique.

L'eau de mer s'écoule de façon tangentielle le long de la membrane, créant un gradient de Concentration horizontal sur la longueur de la membrane. Les membranes doivent

Typiquement être nettoyées lorsque:

- Le flux normalisé de permeat varie de 10-15% ;
- La conductivité normalisée du permeat varie de 10-15% ;
- La perte de charge normalisée entre l'alimentation et le concentrât varie de 10- 15%.

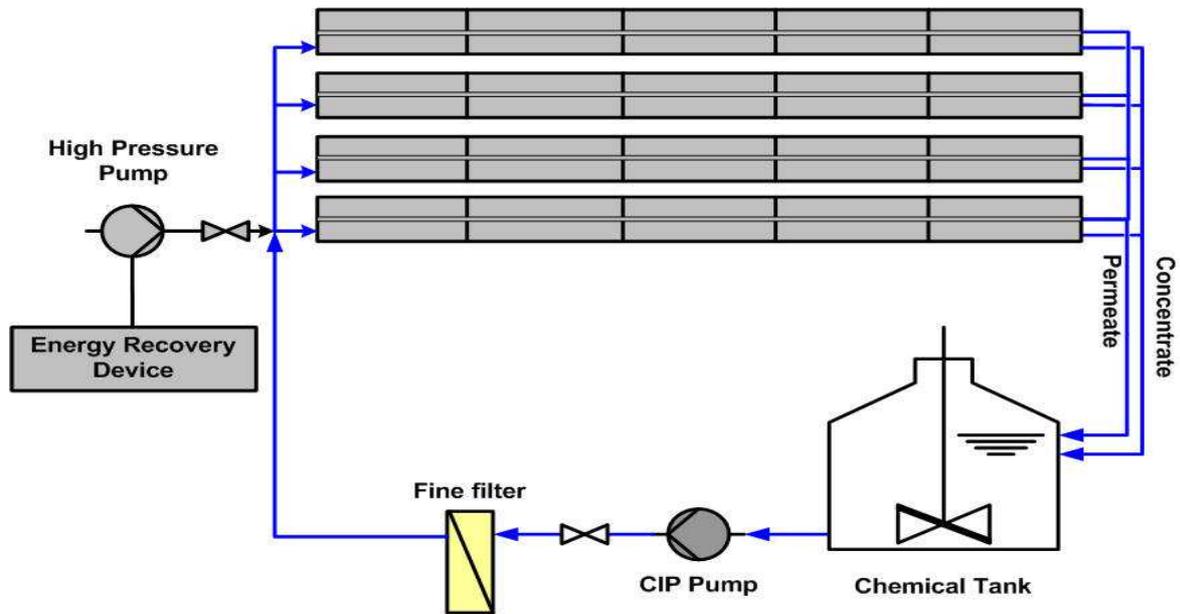


Figure I.19 : Schéma du système de nettoyage des membranes. [7].

Afin de faciliter le nettoyage chronique, nos systèmes peuvent être équipés de stations de Nettoyage En Place (NEP), déjà connecté aux membranes:

La station NEP inclut une cuve de produits chimiques avec agitation manuelle ou Mécanique, en fonction de la taille de l'unité, une pompe NEP et une filtration fine pour Empêcher les débris d'entrer dans les membranes. La cuve de produits chimiques dépend du Nombre de membranes à nettoyer en même temps. Les solutions de nettoyage acides et Basiques circulent en boucle à travers les membranes pendant au moins 30 minutes. (JAMALY ,S et al, 2014)

I.9.3.2.11. Les caractéristiques principales d'une unité d'osmose inverse

I.9.3.2.11.1. Mécanisme de transfert

Les transferts de solvant et de soluté au travers d'une membrane semi-perméable se font par le phénomène de solubilisation-diffusion ; toutes les espèces moléculaires (soluté et solvant) se dissolvent dans la membrane et diffusent à l'intérieur de celle-ci sous l'action d'un gradient de concentration et de pression. (MARJORIE .G, 2010).

I.9.3.2.11.2. Le taux de conversion

Le taux de conversion par définition (Y) c'est la fraction de débit de solution qui traverse la membrane, permet d'évaluer le rendement de permeat produit par rapport à la solution d'alimentation traitée : $Y=Q_p QA$. (ALAIN.M , 2006).

I.9.3.2.11.3. Le taux de rétention (sélectivité)

Le taux de rétention R(%) reflète la capacité de rétention des solutés et la sélectivité de la membrane. (CAMILLE . S, 2008).

I.9.3.2.11.4. Densité de flux de permeat

La vitesse de permeation ou la densité de flux de permeat représente la productivité de permeat par rapport à la surface de membrane mise en œuvre. La densité de flux de permeat J_p est le rapport du débit de permeat Q_p par unité de surface membranaire : $J_p = Q_p / S_m$. (ALAIN. M, 2006).

I.9.3.2.11.5. Pression osmotique

En première approximation, la pression osmotique peut être calculée en assimilant le comportement des molécules du soluté à celles de molécules gazeuses. Dans le cas d'une solution diluée, on peut appliquer la loi des gaz parfaits. La loi de Van't Hoff exprime que la pression osmotique exercée par le soluté est égale à la pression que ce corps aurait exercé dans l'état gazeux parfait dans le même volume V et à la même température T . Si le soluté est dissocié en i ions, la pression osmotique sera i fois supérieure. (DANIS.P, 2003).

La pression osmotique d'une solution est proportionnelle à la concentration en soluté selon la relation. (DANIS.P, 2003).

$$\pi = i \cdot C \cdot R \cdot T.$$

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

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

T : la température (K)

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

π : est exprimée en bar.

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

I.9.3.2.12. Osmose inverse Procédé de choix. (ALAIN .M, 2006).

L'osmose inverse progresse sur le marché de dessalement pour les raisons suivantes:

- Amélioration des performances des membranes d'osmose inverse (augmentation de la surface, réjection, perméabilité, matériaux...)
- Amélioration des performances des technologies de récupération d'énergie.
- Mise en œuvre plus facile
- Effet de tailles des projets
- Baisse des prix des équipements et des membranes.
- éprouvé et maîtrisable techniquement
- Modulable et flexible eu égard la demande en eau

I.9.3.2.13. La pompe haute pression

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

I.9.3.2.14. Le système de récupération d'énergie

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

I.9.3.2.14.1. Récupération indirecte

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

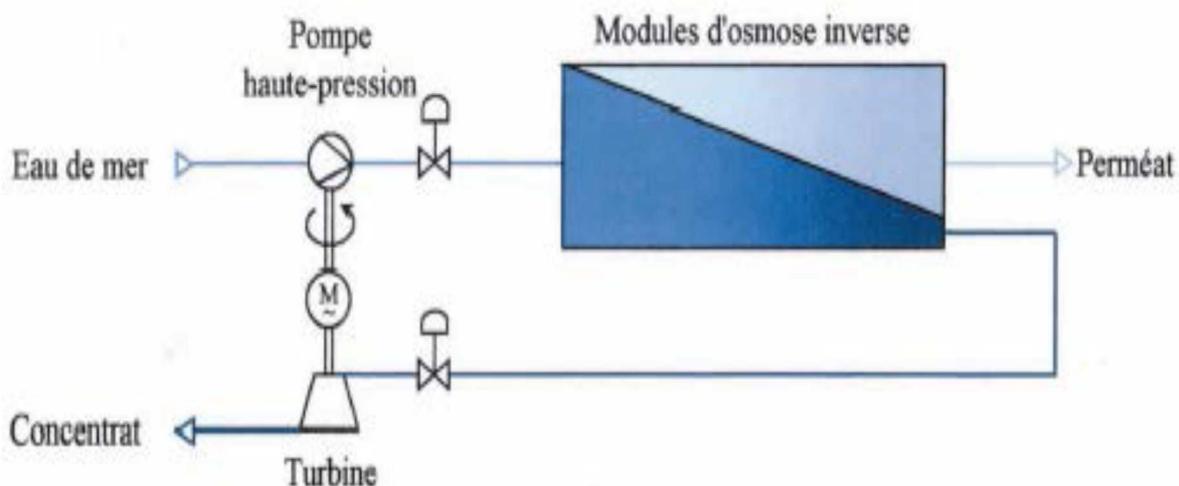


Figure I.20: Schéma de récupération directe de l'énergie. (ZAMICHE.S, 2014).

I.9.3.2.14.2. Récupération directe

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

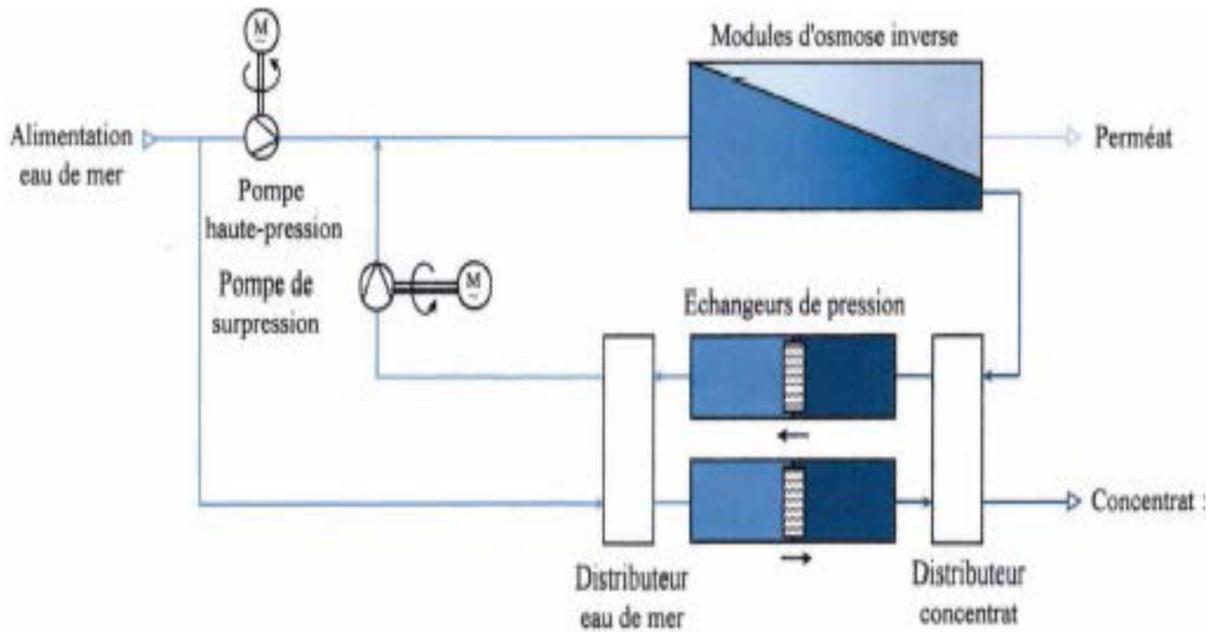


Figure I.21: Schéma de récupération indirecte de l'énergie. (ZAMICHE.S, 2014).

I.9.3.2.15. Classification des différents procédés de dessalement. (ALAIN ,M .2001).

On peut classer les méthodes de dessalement en fonction des procédés utilisés, pour se faire,

Un auteur a recensé 27 procédés différents de dessalement, soient :

- Les procédés qui font intervenir un changement de phase (distillation et congélation) ;
- Les procédés qui utilisent des membranes (électrodialyse et osmose inverse) ;
- Les procédés qui agissent sur les liaisons chimiques (échange d'ions et extraction par solvant sélectif).

Ces procédés peuvent être classés plus précisément (figure I.22 et I.23)

A) Selon le principe sur lequel ils se basent :

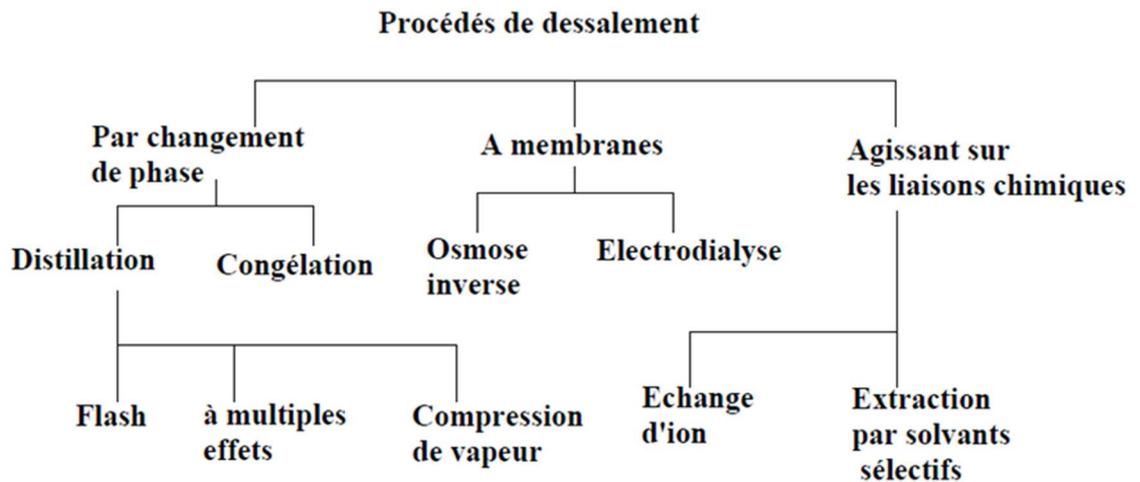


Figure I.22 : schémas de classification des procédés de dessalement selon le principe sur lequel ils sont basent. (MASLEK. F, 2014)

B) Selon le type d'énergie consommée :

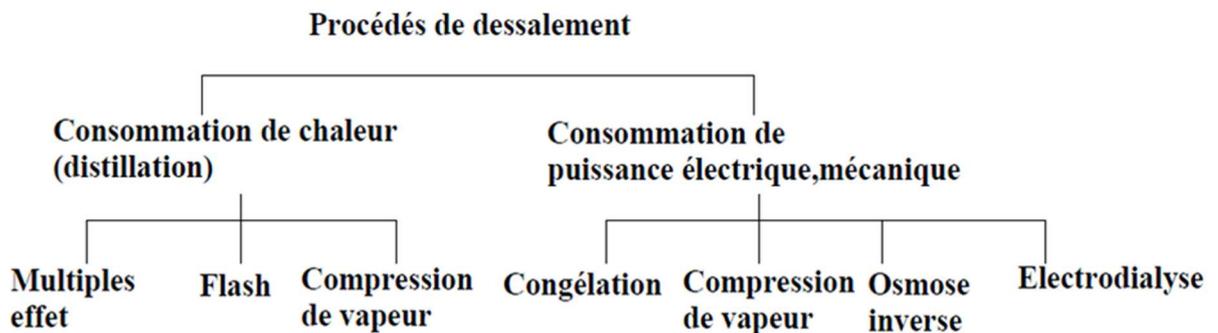


Figure I.23: schémas de classification des procédés de dessalement selon le type d'énergie consommé. (MASLEK. F , 2014)

I.9.3.2.16. Les critères de choix d'un procédé de dessalement. [6]

Le choix d'un procédé de dessalement dépend de plusieurs paramètres

- Techniques et Économiques
- L'énergie consommée
- Composition physico-chimique de l'eau à traiter (turbidité, salinité, T°....)
- Coût des produits chimiques
- Coût des équipements

- Qualité de l'eau produite exigée
- Capacité de production de l'unité
- Durée de vie de l'unité
- Coût de la main d'œuvre
- Impact sur l'environnement
- Qualité d'eau brute

I.9.4. Poste de traitement

A la sortie de l'osmoseur il est constaté que :

- La minéralisation du perméat est constituée à 90% de sodium et de chlorures, ce qui confère à l'eau un goût fade ;
- Un TH calcique et un TAC très faibles ;
- Un PH très faible ;

Par conséquent cette eau de qualité très agressive et corrosive, donc il faudrait des traitements pour la rééquilibrer. (ALAIN . M , 2006).

I.9.4.1. La déminéralisation

La déminéralisation qui consiste à augmenter les valeurs du TH, Ca et TAC pour atteindre 8°F pour ces deux paramètres, peut être obtenue de plusieurs façons. (ALAIN. M, 2006)

- En faisant percoler l'eau à travers du carbonate de calcium. Le CO₂ présente dans l'eau va dissoudre le carbonate de calcium, ce qui provoquera l'augmentation de la dureté calcique 10g/m³ de CO₂ neutralisés apportent environ 2.3°F. mais du fait d'une concentration très faible du CO₂ dans le perméat, il faudrait en rajouter avant passage sur carbonate de calcium.
- En injectant la chaux (CaOH₂) sous forme d'eau de chaux, là encore la concentration en CO₂ est insuffisante.
- En injectant des réactifs permettant d'apporter du calcium et des carbonates, il peut être alors utilisé

- :
- Du chlorure de calcium (CaCl₂) qui élèvera le TH calcique (11.1g de CaCl₂ 100% l'élévé).
 - Du bicarbonate de sodium (NaHCO₃) qui élèvera le TAC(16.8g de NaHCO₃ 100% l'élévé).

I.9.4.2. Correction de PH

Après la déminéralisation, il est nécessaire de mettre à l'équilibre calco-carbonique l'eau en corrigeant son PH pour atteindre une valeur de l'indice de langelier légèrement positive, et donc une très légèrement incrustante. (ALAIN . M , 2006)

La correction de PH s'effectue à l'aide de :

- soude (NaOH).
- carbonate de sodium (Na_2CO_3).

I.9.4.3. Désinfection

Bien que le permeal soit d'une qualité bactériologique excellente, il est nécessaire de le désinfecter avant distribution, pour protéger l'eau contre toute pollution ultérieure lors de son stockage et de sa distribution. La désinfection permet également d'oxyder les polluants pouvant être apportés par l'injection des solutions de produits de post-traitement. Elle est assurée par l'injection de chlore sous forme d'hypochlorite de sodium ou d'une solution d'hypochlorite de calcium. (ALAIN .M, 2006)

I.9.4.4. Aération

Le permeal pouvant présenter un déficit en oxygène, surtout s'il est employé du bisulfite de sodium il peut donc être nécessaire de l'aérer en ménageant une ou plusieurs chutes d'eau (hauteur totale de chute pour atteindre la saturation : 1.20m). Cette chute peut s'effectuer à l'entrée de bassin de calcium. (ALAIN. M, 2006)

I.10. Conclusion

Le développement technologique des procédés de dessalement durant ces dernières années, a donné une solution viable, efficace et permanente pour produire une eau pure (douce) à des prix raisonnables. Des critères économiques tels que le coût de l'installation et la production (prix de 1m^3 d'eau dessalée) , et des critères techniques tels que la qualité des eaux et la capacité de traitement sont les mesures à prendre pour choisir un des procédés pour une station de dessalement. À l'instar des procédés thermiques qui étaient la seule option perpétuelle pour dessaler l'eau de mer pendant plusieurs années, le procédé MSF et le procédé MED sont des technologies utilisées à une échelle commerciale et elles ont montré leur efficacité et leur compétitivité. Néanmoins, avec l'avènement des technologies membranaires, l'osmose inverse commence à gagner de la place sur le marché du dessalement

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude (station de dessalement de l'eau de mer de FOUKA (SDEM de FOUKA))

II.1. Introduction

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

Cette station est destinée à couvrir les besoins en eau potable de la partie Est de la wilaya de Tipasa et d'une partie de la wilaya d'Alger. Elle utilise la technique d'osmose inverse pour dessaler l'eau de mer. Sa capacité journalière de dessalement est de 120 000 m³, dont 60000 m³ destinés à Alger, touchera les communes limitrophes de la wilaya de Tipasa, à savoir Zeralda, Mahelma, Staouéli et AïnBenian et 60 000 m³ seront réservés à la wilaya de Tipasa pour alimenter en eau potable les communes de Douaouda, Fouka, Bou Ismail, Aïn Tagourait, Attatba et Chaiba.

II.2. Localisation De La Station De Fouka

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

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

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

Le site considéré pour l'usine de dessalement offre une superficie de 4 hectares, et présente une longueur de 300 m et une largeur variant de 70-150 m.

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

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude (station de dessalement de l'eau de mer de FOUKA (SDEM de FOUKA))



Figure II.1 : Photo de la station de Fouka. [11]

II.3.Capacité de la station

La capacité de la station de traitement est de 120 000 m³/jour basée sur un approvisionnement en eau brute d'environ 273 697 m³/jour.

La production est étalée sur une période de 24 h/jour soit 5 000 m³/heure.

le système d'osmose inverse est conçu de façon modulaire. Il est composé de six (6) unités d'osmose inverse (OI) d'une capacité unitaire de 20 000 m³/jour chacune. Il n'y a pas d'unités en réserve. Il est possible de faire fonctionner l'usine afin de produire les gammes de débits journaliers suivantes :

Nombre d'osmose en service	d'unité inverse	Débit (m ³ /jour)	% du débit nominal
1		20 000	17 %
2		40 000	33 %
3		60 000	50 %
4		80 000	67 %
5		100 000	83 %
6		120 000	100 %

Tableau II.1 : Capacité de la station de dessalement de FOUKA .

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude (station de dessalement de l'eau de mer de FOUKA (SDEM de FOUKA))

De plus, l'usine pourra fonctionner avec une (1) des deux (2) conduites de la prise d'eau à l'arrêt. Il sera alors possible de passer 100% du débit dans une seule conduite pour une production de 120 000 m³/j.

II.4. Installation et processus

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

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

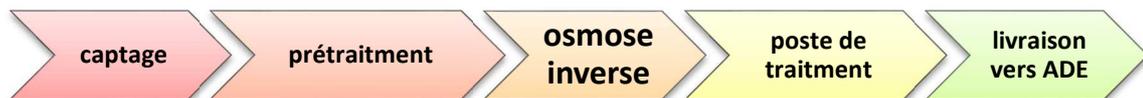


Figure II.2 : l'installation de la station de dessalement de FOUKA.

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude (station de dessalement de l'eau de mer de FOUKA (SDEM de FOUKA))

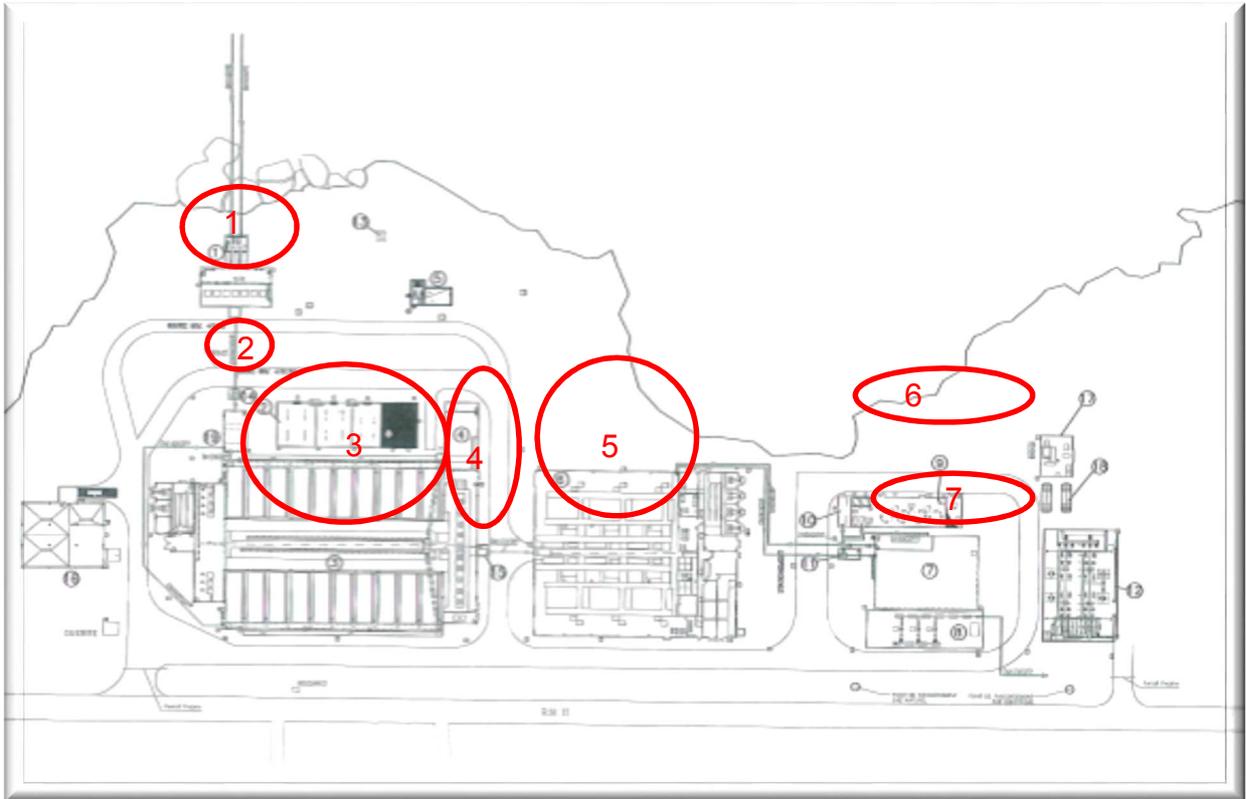


Figure II.3: plan de la station de Fouka

II.5. Description détaillée de l'usine

II.5.1. Têtes Des Prises D'eau

II.5.1.1. Critères De Conception

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

Les grilles d'entrée de la prise d'eau sont à environ 6 m du fond marin pour éviter l'entraînement de particules du fond marin remises en suspension par l'action des courants et pour éviter une mise à l'air lors des houles extrêmes. La vitesse d'entrée de la prise d'eau est limitée à 0,1 m/s afin d'éviter l'aspiration des solides en suspension et des débris. Des barreaux de 20 mm espacés de 100 mm sont prévus pour minimiser l'introduction de gros débris dans la prise d'eau. Ces barreaux sont montés sous la forme de grillages.

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude (station de dessalement de l'eau de mer de FOUKA (SDEM de FOUKA))



Figure II.4 : Tour De Captage. (Prise D'eau)

II.5.1.2. Conception

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

- Débit d'eau brute instantané 11 404 m³/h
- Débit par prise 5 702 m³/h
- Vitesse d'entrée au débit moyen 0,1 m/s
- Barreaux 20 mm espacés à 100 mm c/c
- Facteur d'encombrement 80 %
- Surface requise d'entrée 39,6 m²
- Longueur de grille 20.0 m
- Hauteur de grille 2.0 m retenu

II.5.2. Conduite de prise d'eau

II.5.2.1. Critères de conception

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

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

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

- Les conduites sont en PEHD.
- Le puits de pompage d'eau brute et les pompes sont conçus pour permettre le fonctionnement des prises d'eau lors de l'entretien d'une conduite.

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude (station de dessalement de l'eau de mer de FOUKA (SDEM de FOUKA))

- La longueur et l'emplacement des prises d'eau sont environ 1 100 m de longueur et à 15 m de profondeur d'eau.
- Les conduites d'adduction sont posées en pente constante à un niveau de radier croissant en direction de la berge afin d'éviter l'accumulation d'air ou de gaz.
- Des regards d'inspection sont prévus à tous les 300 m environ afin de permettre une inspection visuelle.
- La vitesse dans les conduites est comprise entre 1,0 et 2,0 m/s pour limiter la formation des dépôts et réduire l'incrustation de moules.
- Un coefficient de friction $C = 150$ a été retenu pour les calculs. Des vérifications sont également réalisées pour un $C = 130$, soit la condition selon laquelle des algues se développeraient à l'intérieur des conduites en polyéthylène. Notons que la perte de capacité en raison de prolifération de moules zébrées à l'intérieur des conduites n'est pas prévue, car la vitesse à l'intérieur des conduites est supérieure à 1,0 m/s. En effet, la littérature indique que les moules ne peuvent se former à cette vitesse.

Les conduites seront déposées sur le fond marin. Cependant, les 300 premiers mètres de conduite à partir de la station de pompage seront enfouis sous le fond marin pour protéger les conduites et assurer leur stabilité contre l'effet des vagues. Cette longueur correspond à une hauteur d'eau entre 5 et 6 m au-dessus des conduites. (Contrat EPC, Construction d'une usine de dessalement d'eau de mer de Fouka, 2005). [10]



Figure II.5 : Conduite En PEHD

II.5.3. 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 à l'entrée de la station pour la protection des pompes. Des vannes

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude (station de dessalement de l'eau de mer de FOUKA (SDEM de FOUKA))

murales permettront l'isolation du puits de pompage pour l'entretien. Des vannes d'isolement sont également prévues de chaque côté des dégrilleurs pour isoler chacun d'eux pour entretien. Les pompes de type horizontale verticalisée sont soigneusement choisies pour résister à la forte agressivité de l'eau de mer. La station de pompage est basé sur 6 + 1R pompes d'une capacité de 1974 m³/h chacune (total 11 844 m³/h > 11 404 m³/h pour absorber le débit supplémentaire pendant la maturation des filtres à sable).

II.5.3.1. Critères De Conception Des Dégrilleurs

- Débit (m³/h) 11 404
- Épaisseur des barreaux (mm) 10
- Espacement entre les barreaux (mm) 50
- Vitesse à travers les barreaux (m/s) ≈ 1,0
- Section équivalente à travers les barreaux (%) 83%



Figure II.6 : Dégrilleurs.

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude (station de dessalement de l'eau de mer de FOUKA (SDEM de FOUKA))



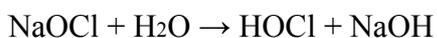
Figure II.7: Station De Pompage D'eau De Mer

II.5.4. Le prétraitement d'eau de mer

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

II.5.4.1. La pré-chloration

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



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

II.5.4.2. Coagulant et polymère

Avec un débit 110 l/hr et une concentration entre 3 et 5 ppm, le chlorure Ferrique est ajouté à l'eau brute en amont des filtres pour agir en tant que coagulant et agglomérer les particules fines. Un polymère pourrait être injecté lorsque l'eau brute sera très turbide. (TAIBI Sarah ; 2015)

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude (station de dessalement de l'eau de mer de FOUKA (SDEM de FOUKA))

II.5.4.3. L'acide sulfurique

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

a pour objectifs de :

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



Figure II.8 : Les prises des produits chimiques.

II.5.4.4. Filtre à sable gravitaire

Les filtres sont opérés à un niveau et débit constant.

- Au niveau de la filtration gravitaire, il est opté pour l'installation des filtres bicouches.

Dans les filtres bicouches, la couche supérieure est faite d'un matériel épais et de faible densité (anthracite dans notre cas). C'est dans cette première couche que la majorité des particules est retenue. La couche inférieure inclut un matériel fin et plus épais, constituant un traitement d'affinage. (ZAMICHE.S, 2014).

Les caractéristiques des filtres ouverts sont :

- Nombre d'unités en service : 18
- Nombre d'unités en maturation ou lavage : 2
- Type de filtre : Filtre ouvert
- Largeur: 5 m

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude (station de dessalement de l'eau de mer de FOUKA (SDEM de FOUKA))

- Longueur: 15,5 m
- Hauteur de couche : 1 000 mm
- Surface de filtration: 77,5 m²
- Surface totale: 1 395 m²
- Temps de rétention sur couche pour coagulation: 15 min
- Volume requis : 159 m³
- Hauteur d'eau : 2,1 m
- Perte de charge minimale: 0,32 m
- Perte de charge maximale admise: 2 m

Les bassins de filtration ont été couverts avec des dalles en plastique afin d'éviter le développement des algues.



Figure II.9 : Les filtres gravitaires.

II.5.4.4.1. Lavage des filtres

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

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

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

- La saumure est un sous-produit qui, dans ce cas, est réutilisée.

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude (station de dessalement de l'eau de mer de FOUKA (SDEM de FOUKA))

- Le lavage avec saumure permet une diminution des besoins en eau filtrée et donc une économie énergétique dans le pompage d'eau de mer.
- Le lavage avec saumure permet un choc osmotique aidant au contrôle de la croissance bactérienne.

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

II.5.4.4.2. Fréquence De Lavage Des Filtres

- La fréquence de lavage des filtres est en fonction des matières en suspension (MES) contenues dans l'eau brute.
- Les filtres sont conçus en fonction d'une charge massique de 2 kg/m².
- Pour une turbidité de 1,5 NTU (MES = 7,5 mg/l), le lavage s'effectue également aux 24 heures.
- En fonction de MES de l'ordre de 10 à 20 mg/l, les lavages s'effectueront respectivement aux 18 et 10 heures.

II.5.4.4.3. Le Réservoir D'eau Filtrée

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

II.5.4.5. Filtres A Cartouches

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

Lorsque la baisse de pression à travers les filtres à cartouches dépasse une valeur préétablie (environ 1,5 bars), la cartouche du filtre doit être remplacée. La fréquence de remplacement est estimée à environ 4 fois l'an.

II.5.4.5.1. Les Caractéristiques Des Filtres A Cartouches

➤ Nombre de vaisseaux	9 + 1R
➤ Nombre de filtres par vaisseau	360
➤ Nombre total de filtres	3 600
➤ Débit total maximum	11 409 m ³ /h
➤ Débit par filtre	1 268 m ³ /h
➤ Salinité	38 000 mg/l dans le CRS
➤ Densité	1 030 kg/m ³
➤ Température de l'eau	15 – 27 °C
➤ Solides totaux en suspension	< 4 mg/l
➤ Niveau de filtration	5 µm Nominal
➤ Pression à l'entrée	4 bars

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude (station de dessalement de l'eau de mer de FOUKA (SDEM de FOUKA))

- Perte de charge
- Minimum 0,5 bar
- Moyen 1,0 bar
 - Maximum 1,5 bars
- Diamètre du filtre 1 700 mm
- Composition des filtres Ebonited Carbon Steel
- Longueur unitaire des cartouches 1 500 mm (6 cartouches)
- Diamètre par cartouche 63 mm
- Composition des cartouches Polypropylène



Figure II.10 : L'unité des filtres à cartouches.

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

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

II.5.4.6. Le métabisulfite de sodium où Bisulfite sodium

Compte tenu de la grande sensibilité au chlore, des membranes en polyamide, utilisées dans la station, il est indispensable d'assurer une déchloration de l'eau de mer avant son entrée dans

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude (station de dessalement de l'eau de mer de FOUKA (SDEM de FOUKA))

les modules. Pour éliminer le chlore résiduel, le bisulfite de sodium d'une concentration entre 4 et 10 ppm, est injecté à un débit de 200 l/hr.



II.5.5. Osmose inverse

II.5.5.1. Filières d'osmose inverse

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

II.5.5.2. Le Type De La Membrane Utilisée

La Membrane utilisée dans l'étude c'est la membrane SW4+ était fabriquée en Poly amide.

II.5.5.3. Caractéristique De La Membrane SWC4

Le tableau (II.2) récapitule les caractéristiques concernant la membrane SWC4+

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

Le tableau II.2: caractéristiques concernant la membrane SWC4+.

II.5.5.4. La composition de la membrane utilisée au niveau de la station de FOUKA

Chaque membrane en spirale est composée de plusieurs membranes filtrantes enroulées autour d'un tube de plastique qui est appelé le tube à pression. Chaque tube à pression contient 7 membranes.

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude (station de dessalement de l'eau de mer de FOUKA (SDEM de FOUKA))

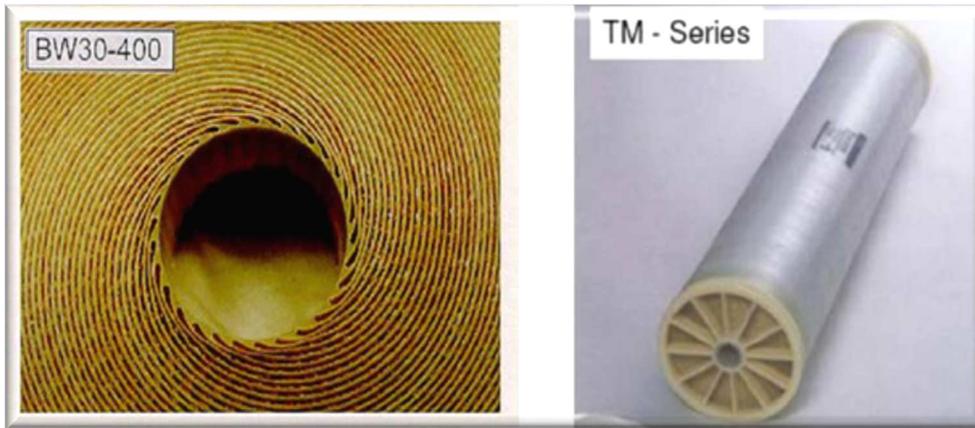


Figure II.11 : membrane spiralée.

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

➤ Nombre de <i>racks</i> en opération	6	
➤ Nombre de <i>racks</i> en <i>stand-by</i>	0	
➤ Conversion	≈ 45 %	Total
➤ Production par filière	842 m ³ /h	121 200 m ³ /jour
➤ Débit d'alimentation par filière	1 870 m ³ /h	269 333 m ³ /jour
➤ Débit de rejet	1 029 m ³ /h	148 133 m ³ /jour
➤ Fluide	Eau de mer	
➤ Salinité	38 000 mg/l	
➤ Nombre total de membranes	9 072	
➤ Espace libre	10 %	
➤ Caractéristiques des membranes :		
✓ Configuration	Spiralée	
✓ Matériel	Polyamide	
✓ Matériel du tube	Fibre de verre et époxy	
✓ Dimensions	Dia 8", longueur 40"	
✓ Pression maximale	1 000 psi	
✓ pH d'opération	2 – 11	
✓ Température maximale d'opération	45°	
✓ Débit de perméat	26,5 m ³ /jour	
✓ Réjection de sel	99,6 %	
✓ Variation de débit admissible	± 10 %	

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude (station de dessalement de l'eau de mer de FOUKA (SDEM de FOUKA))



Figure II.12 : Membrane (Vue De L'intérieur).

Avantages	Inconvénients
Compacité élevée (300 à 1000 m ² /m ³)	Sensible au colmatage
Faible volume mort	Difficulté de nettoyage
Coût d'investissement relativement faible	

Tableau II.3: Avantages et inconvénients des modules spirales

II.5.5.5. Configuration Du Système D'osmose Inverse Et Taux De Récupération

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

La station d'osmose est dotée des équipements suivants :

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

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude (station de dessalement de l'eau de mer de FOUKA (SDEM de FOUKA))

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

La station de Fouka possède 6 unités (racks) de production, composée de 216 tubes à pression, chaque tube à pression contient 7 membranes, donc 1512 membranes par rack d'où le nombre total de membrane est de 9072



Figure II.13 : Filières d'osmose inverse.

II.5.5.6. Dimensionnement des pompes hautes pression

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

➤ Pompe à haute pression

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

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude (station de dessalement de l'eau de mer de FOUKA (SDEM de FOUKA))



Figure II.14 : Pompe HP.

II.5.5.7. Système de récupération d'énergie

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



Figure II.14 : Système de récupération d'énergie

➤ Système De Récupération D'énergie

✓ Numéro d'unités en service 6

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude (station de dessalement de l'eau de mer de FOUKA (SDEM de FOUKA))

✓ Numéro d'unités en stand-by 0

II.5.5.8. Procédure D'arrêt Des Filières (Rinçage)

La procédure suivante sera suivie pour arrêter une filière.

II.5.5.8.1. Inversion

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

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

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

II.5.5.8.2. Rinçage (flushing)

Pour minimiser la corrosion des équipements (pompes, vannes, tuyaux) exposés à de l'eau salée stagnante et pour éviter les risques d'écrasement des membranes en présence de saumure stagnante, la saumure doit être évacuée des filières lorsqu'elles sont à l'arrêt.

Ceci est réalisé par le système de **flushing** et de lavage. Du perméat est pompé des réservoirs de **flushing** jusqu'à la filière d'osmose inverse.

II.5.5.8.3. Arrêt prolongé

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

II.5.5.8.4. Procédure de lavage des unités d'OI

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

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

Peu importe la qualité de l'eau après prétraitement, un nettoyage périodique des membranes est requis pour redonner la performance maximale aux membranes. Le tableau suivant résume les différents types d'encrassement et leur effet sur la performance de l'unité d'osmose inverse. Il n'est pas possible de déterminer, à priori, le type ou la fréquence de l'encrassement.

Trois (3) types de nettoyage sont généralement réalisés :

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude (station de dessalement de l'eau de mer de FOUKA (SDEM de FOUKA))

- Nettoyage à l'acide à cause de l'encrassement avec des sels et des métaux;
- Nettoyage aux détergents dans le cas d'encrassement par colloïdes et matières biologiques;
- Nettoyage aux biocides dans le cas d'encrassement par bactéries

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

Le débit du perméat a baissé de 10 à 15 % sous le débit nominal à pression normale;

La pression différentielle entre la pression d'entrée et du concentrât augmente de 30 %; le passage de sels augmente de 10 à 15 %.

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

II.5.6. Le post-traitement (la reminéralisation)

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

Le perméat d'osmose est traité (post-traitement) avant d'être distribué aux consommateurs. L'usine de Fouka est équipée de dispositifs de correction de la dureté et de l'alcalinité pour stabiliser la nature relativement agressive de l'eau dessalée produite et lui conférer un goût plus satisfaisant. Un dispositif additionnel de désinfection par chloration est également inclus pour prévenir tout risque de développements bactériens dans les réservoirs et les systèmes de distribution. (PNUE Athènes, 2001)

Le système de reminéralisation se fait avec la chaux (CaOH_2) et le CO_2 .

L'ajout de la chaux sert à :

- Augmente l'alcalinité
 - Augmente la dureté
 - Augmente le pH
- Une désinfection est réalisée avant distribution, un chlore résiduel de 0,5 mg/l est prévu au point de livraison.

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude (station de dessalement de l'eau de mer de FOUKA (SDEM de FOUKA))



Figure II.15 : Silos de la chaux



Figure II.16 : CO₂ fabriqué sur site.

II.5.7. Station de pompage d'eau traitée

- le système de stockage d'eau est constitué d'un bac de stockage d'une capacité de 3 600 m³ en béton armé.
- La station de pompage d'eau traitée permet de refouler l'eau commerciale jusqu'au point de livraison.

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude (station de dessalement de l'eau de mer de FOUKA (SDEM de FOUKA))

- 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 II.17 : Station de pompage d'eau traitée.

Le présent tableau résume les caractéristiques des pompes.

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

Tableau II.4 : Résumé des caractéristiques des pompes.

II.5.8 Laboratoire

Les équipements de laboratoire permettent la mesure des paramètres suivants :

- Calcium, Magnésium, Sodium, Potassium, Ammonium, Barium, Strontium, Aluminium, Fer et Manganèse.
- chlorures, sulfates, phosphate, nitrates, bicarbonate, carbonate, fluor, silice, bore et CO₂ libre.
- fer total en ions et mg équivalent.

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude (station de dessalement de l'eau de mer de FOUKA (SDEM de FOUKA))

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

II.5.9 Salle de contrôle

La salle de contrôle est munie de deux ordinateurs. L'opération de l'usine est suivie via un système SCADA installé dans les ordinateurs. L'opérateur a accès aux données d'opération telles que: l'état des équipements (ON-OFF-FAILURE) et des valeurs analogiques des différent éléments de l'usine. L'opérateur aura la possibilité de fonctionner/arrêter les pompes via les ordinateurs. (PNUE Athènes, 2001)

II.6. Conclusion

Dans ce chapitre on a détaillé le fonctionnement normale de la station de dessalement d'eau de mer de Fouka afin faire un diagnostic des différentes étapes : prétraitement, unité d'osmose inverse, et poste traitement.

CHAPITRE III: Les Analyses physico –chimiques et discussion des résultats

III.1. Introduction

Le travail que nous avons effectué durant la période (février, Mars, Avril et Mai) nous a permis de suivre les performances de la station de dessalement de Fouka .

A ce titre nous avons effectué des prélèvements au niveau de l'eau brute et l'eau traitée et nous avons déterminé les paramètres physico-chimiques.

Dans ce chapitre, nous exposons l'ensemble des résultats expérimentaux obtenus lors de cette étude, ainsi que leur interprétation.

III.2. Echantillonnage Et Prélèvement Des Echantillons

Le prélèvement d'un échantillon d'eau est une opération délicate à laquelle le plus grand soin doit être apporté, il doit être homogène, représentatif et obtenu sans modifier les caractéristique physico-chimique de l'eau, il convient que le préleveur a une connaissance précise des conditions du prélèvement et de son importance pour la qualité des résultats analytiques.

Dans le cadre de nos analyses le prélèvement c'est fait à partir de robinets, nous avons utilisé des flacons en plastique.

Ainsi, pour nos analyses, nous avons effectué deux types de prélèvement à savoir : la première prise est l'eau brute, la seconde est l'eau traitée.

Il est indispensable d'ouvrir le robinet et faire couler l'eau pendant un certain temps qui ne soit jamais inférieure à 10 mn. Les flacons de prélèvement ont été rincés plusieurs fois avec l'eau analysée.

III.3. Analyses Physico-Chimiques

Notre travail s'est effectué par l'application stricte des protocoles fournie par le laboratoire de la station de dessalement de l'eau de mer de FOUKA .



Figure III .1 : image de laboratoire de la SDEM de FOUKA .

CHAPITRE III: Les Analyses physico –chimiques et discussion des résultats

III.3.3 Mesure de turbidité

- **Principe :**

Pour tout échantillon d'eau, la mesure de la lumière diffusée et de la lumière transmise permet la détection de matières non dissoutes.

- **Appareillage :**

- Turbidimètre. 2100 N « HACH ».
- Cuvette d'évaluation de la transparence constituée d'une cuvette de verre incolore de 50 mm de diamètre. Pour 25 ml d'échantillon.



Figure III .3 : l'appareil turbidimètre.

III .3.4 Mesure de la conductivité

- **Principe :**

La mesure de la conductivité est effectuée grâce à deux électrodes de platine séparées l'une de l'autre de 1 cm, le tout est recouvert de noir de platine formant ainsi une cellule .Cette dernière est plongée dans le bêcher contenant l'eau à analyser.

- **Appareillage :**

- Conductimètre SENSION 7 HACH.



Figure III .4 : l'appareil conductimètre.

III .3.5 Détermination Le SDI (L'indice De Colmatage)

- **Principe :**
 - Détermination de l'encrassement d'une membrane de porosité $0,45 \mu\text{m}$ et de 47 mm de diamètre par filtration de l'eau au travers de cette membrane à une pression de 2,1 bars. Filtration de l'eau en continu avec mesures à différents intervalles de temps et de volumes.
- **Appareillage :**
 - Chronomètre électronique.
 - Éprouvette graduée 100 ou 500 ml.
 - Membranes $0,45\mu\text{m}$ (marque millipore).
 - Kit de mesure du Fouling Index.

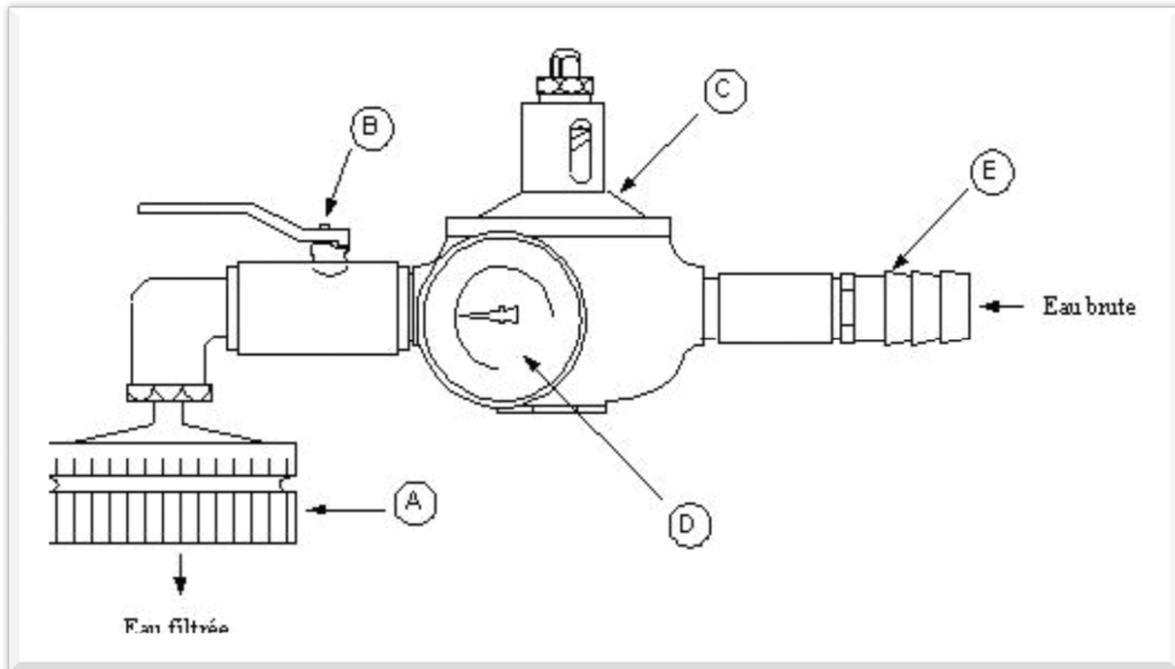


Figure III .5 : Kit de mesure du Fouling Index.

Ensemble comprenant embout de raccordement (E), détendeur régulateur de pression (C), manomètre (D), vanne d'isolement (B) et support de membrane (A).

• **Mode de calcul :**

Le pouvoir encrassant est donné par la relation :

$$P (\%) = 100 \times (1 - t_0 / t)$$

Calculer P avec $t = t_{15}$:

Si $P > 80 \%$ avec $t = t_{15}$, refaire le calcul avec $t = t_{10}$.

Si $P > 80 \%$ avec $t = t_{10}$, refaire le calcul avec $t = t_5$.

L'indice de colmatage est donné par la relation :

$$IC = P (\%) / T$$

T = temps total de la mesure : 5, 10 ou 15 min selon le temps retenu.

Valeurs repères :

0 à 3 Eau non comatant peut être utilisée directement sans traitement spécifique

3 à 6 Eau peu colmatant nécessite l'utilisation d'un traitement physique: Pré filtres

CHAPITRE III: Les Analyses physico –chimiques et discussion des résultats

6 à 20 Eau très comatante Traitement d'eau plus poussé obligatoire.

III.3.6 Détermination de MES

- **Principe :**

Vaporisation de l'échantillon à une température de 105°C pendant 2 heures, détermination des matières en suspension par pesée différentielle:

- Des eaux non chargées en MES : en utilise des filtres pour la filtration.
- Les eaux chargée en matière en suspension, on utilise directement les échangeons dans des capsule.



Figure III .6 : principe de détermination de MES

III .3.7 Détermination de TDS

- **Principe :**

La conductivité est un paramètre qui a une relation directe avec la minéralisation elle-même en relation direct avec le TDS et la salinité de l'eau, alors elle peut entraîner selon le cas un goût salé, une accélération de la corrosion à des dépôts dans les canalisations.

Remarque : le calcul de TDS dans l'eau se fait par la relation suivante :

$$SDT \text{ (mg/l)} = k \times \text{Conductivité } (\mu\text{s/cm}) \text{ à } 25^\circ\text{C}.$$

Où le coefficient k dépend du type d'eau (eau de mer, permeat, concentrât).

En première approximation :

- $k = 0,55$ pour du permeat .
- $k = 0,70$ pour l'eau de mer .
- $k = 0,75$ pour le concentrât.



Figure III .7 : principe de détermination de TDS.

III .3.8 Test de chlore libre

- **Principe :**

Le teste de chlore est obligatoire. En présence de chlore libre, le diethyl-p-phénylénédiamine (DPD) donne avec le chlore libre un complexe rougeâtre, l'intensité de la couleur est proportionnel à la teneur initiale en résiduel.

III.3.9. Minéralisation globale

Sont dosés par la méthode volumétrique.

III.3.9.1 Détermination de l'alcalinité TA et TAC

L'alcalinité d'une eau correspond à la présence bicarbonates, carbonates, et hydroxyde

- **Principe :**

La première détermination sert à calculer le Titre Alcalimétrique (TA) la seconde à calculer le Titre Alcalimétrique Complet (TAC), ils sont basés sur la neutralisation d'un certain volume d'eau par un acide minérale dilué, en présence d'un indicateur coloré.

- **Calcul simplifié :** $T.A \text{ en mg/l CaCO}_3 = V_1 \times 10.$
 $T.A.C \text{ en mg /l CaCO}_3 = V_2 \times 10.$

III.3.9.2. Détermination de la dureté totale ou titre hydrométrique TH

- **Principe :**

Les alcalino-terreux présents dans l'eau sont amenés à former un complexe du type chélate par le sel disodique de l'acide éthylène diaminotétracétique. La disparition des dernières traces d'éléments libres à doser est décelée par le virage d'un indicateur spécifique.

CHAPITRE III: Les Analyses physico –chimiques et discussion des résultats

- **Calcul**

$$\text{TH} = \frac{1000 \times C \times V_1}{V_2} \quad \text{mmol/l}$$

C : la concentration exprimé en mol/l d'EDTA.

V₁ : volume en ml de la solution d'EDTA.

V₂ : volume en ml d'échantillon (50ml).

- **Calcul simplifié :** TH en mg / l CaCO₃ = V x 20.

III.3.9.3 Dosage du calcium et détermination du magnésium

- **Principe :**

Le principe est de doser le calcium avec une solution aqueuse d'Ethylène Diamine Tétracétique Acide (E.D.T.A) à pH compris entre 12 - 13. Ce dosage se fait en présence du MUREXIDE. L'E.D.T.A réagi tout d'abord avec les ions calcium libres, puis avec les ions calcium combinés avec l'indicateur qui vire alors de la couleur rose à la couleur violette.

- **Calcul simplifié :**
- Concentration en calcium en mg / l = V x 8.016.
- Concentration en calcium en mg / l CaCO₃ = V x 20.04

Remarque : en détermine le magnésium avec cette équation.

$$\text{TH} = \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} \rightarrow \text{Mg}^{2+} = \text{TH} - \text{Ca}^{2+} \quad (\text{mg / l})$$

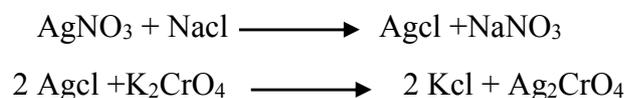
III.3.9.4 Détermination des chlorures

- **Principe :**

On fait agir en milieu neutre, pH= 6.7 ou 7, une solution à titrer de nitrate d'argent sur une prise d'essai connue de solution titrée de chlorure de sodium.

La réaction se fait en présence de chromate de potassium (indicateur colorée)

En premier lieu l'ions d'argent réagit avec l'ion chlorure pour former le précipite blanc « AgCl », ensuite ion argent réagit avec l'ion CrO₄²⁻ (chromate) pour former le précipite rouge brique Ag₂CrO₄ qui indique la fin de dosage.



CHAPITRE III: Les Analyses physico –chimiques et discussion des résultats

- **Calcul simplifié :**

Concentration en chlorure en mg/l = (V- 0,2) x 7,0906.

Concentration en chlorure en mg /l CaCO₃ = (V- 0,2) x 10.

III.3.10 Déterminé l'index de Langelier

- **Principe :**

L'index de Langelier est un moyen puissant pour calculer la balance de l'eau et pour définir si une eau est corrosive ou incrustante.

Si IL > 0, l'eau est incrustante.

Si IL < 0, l'eau est considérée comme agressive et hautement irritante.

Une tolérance de ±0.4 est normalement acceptable.

- Les différentes explications des méthodes d'analyse physicochimiques dans l'annexe (III .1 ; III.2 ; III.3 ;III.4et III.5)

III .4. Résultats des analyses et discussions

III .4 .1 La température (T°)

La norme c'est : 25°C

la date de la séance	N°d'analyse	Eau brute (°C)	Eau filtré (°C)	Eau permeat (°C)	Eau traité (°C)
04/03/2019	1	15,5	16,2	18	18,2
11/03/2019	2	15,4	16,1	16,9	18,2
18/03/2019	3	16,3	17,2	17,7	18,2
25/03/2019	4	15,4	16,4	17,1	18
28/03/2019	5	15,4	15,5	16,2	17,3
08/04/2019	6	15,7	16,6	17,1	17,7
15/04/2019	7	17,1	17,4	18,1	18,8
22/04/2019	8	16,6	17	17,7	18,4
29/04/2019	9	16,9	17,1	17,9	19,3
06/05/2019	10	17,5	18,4	19	19,5
13/05/2019	11	18.2	19.6	19.7	20
20/05/2019	12	18.9	19.1	19.7	21.7

Tableau III.1 : la variation de température.

CHAPITRE III: Les Analyses physico –chimiques et discussion des résultats

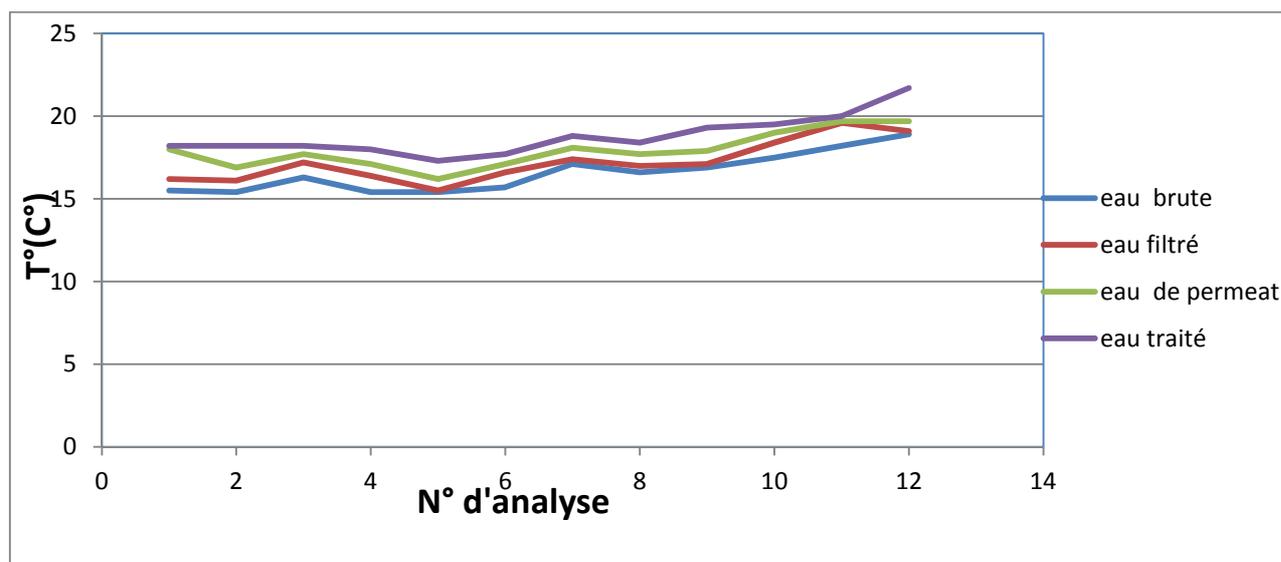


Figure III.8 : l'évolution de Température

Discussion

Les eaux à traiter pour la production d'eau destinée à la consommation humaine ont des températures très différentes en fonction de leurs origines, puisque la station utilise l'eau de mer qui est considérée comme une eau de surface. Alors elle a une température variable selon la saison (pouvant atteindre celle de 10°C en hiver à 30°C en été)

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

Ainsi, la température de l'eau brute (eau de mer) présente une variation allant de 15,40 C° à 18,90 C°, et l'eau à l'entrée de l'osmose inverse à une température qui varie entre 15 ,50C° et 19 ,6C°.et l'eau traite a une température varie entre 17.3et 21.8

III .4 .2 Le PH

La norme de l'usine c'est (7.5 - 8.5).

CHAPITRE III: Les Analyses physico –chimiques et discussion des résultats

la date de séance	N° d'analyse	Eau brute	Eau filtré	Eau permeat	Eau traité
04/03/2019	1	7,97	7,97	7,87	7,29
11/03/2019	2	8,12	8,19	7,66	8,27
18/03/2019	3	8,13	8,23	7,14	7,87
25/03/2019	4	8,02	7,93	7,26	8,35
28/03/2019	5	8,08	8	7,31	8,29
08/04/2019	6	8,2	8,32	7,77	8,29
15/04/2019	7	8,3	8,1	7,79	8,26
22/04/2019	8	8,26	8,17	7,07	8,26
29/04/2019	9	8,09	8,04	7,63	8,3
06/05/2019	10	8,04	8,11	8,04	8,34
13/05/2019	11	8,18	8,10	7,93	8,31
20/05/2019	12	8,17	8,02	8,09	8,32

Tableau III.2 : l' variation de PH .

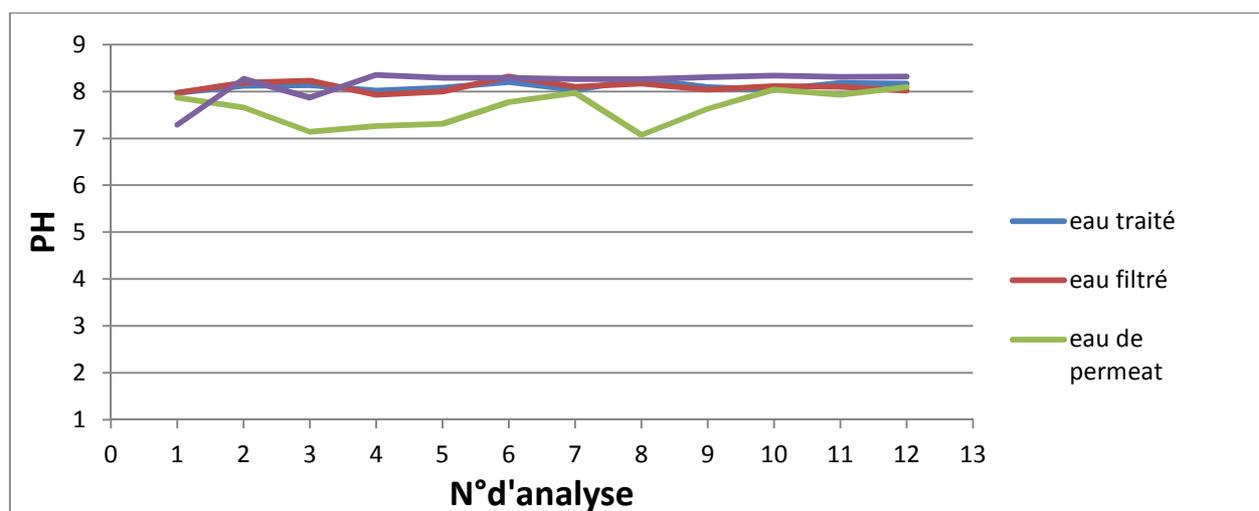


Figure III.9 : l'évolution de PH.

Discussion

Le PH est un paramètre important pour la détermination de l'agressivité d'une eau et l'opération de désinfection.

Selon les résultats obtenus, nous remarquons que la variation des valeurs du pH se situe entre (7.97 à 8,30) pour l'eau brute, ainsi le pH est légèrement basique.

Le pH de l'eau à l'entrée de l'osmose inverse reste stable par rapport au pH de l'eau de mer (7.93à 8.32), et cela est expliqué par l'ajout des produits chimiques de nature acide (l'acide sulfurique H₂SO₄), qui abaissent un peu le pH d'eau de mer jusqu'au PH optimum pour un meilleur comportement du coagulant. Lorsque la PH d'eau de mer tend vers le PH optimum, il n'injectant pas l'acide sulfurique.

CHAPITRE III: Les Analyses physico –chimiques et discussion des résultats

A partir des résultats on remarque qu'après le passage d'eau filtré à travers les membranes d'osmose inverse, on a obtenu une eau avec des valeurs de pH allant de 7.07 à 8.09. Ce qui traduit une baisse de pH dû à la rétention des sels par la membrane.

selon le graphe(III.2), on remarque la variation des valeurs de pH entre 8.19 et 8.27 pour l'eau traitée et on a des valeurs un peu élevé à cause de l'injection de la chaux et le CO₂. lors de l'étape de déminéralisation.

Toutes les valeurs mesurées pour l'eau traitée répondent aux normes de potabilité.

III .4 .3 La turbidité (NTU)

La norme c'est inférieur de 5 NTU ($\tau < 5$ NTU)

la date	N° d'analyse	Eau brute (NTU)	Eau filtré (NTU)	Eau permeat (NTU)	Eau traité (NTU)
04/03/2019	1	0,64	0,19	0,2	0,39
11/03/2019	2	0,56	0,37	0,16	0,38
18/03/2019	3	0,64	0,435	0,25	0,556
25/03/2019	4	0,96	0,18	0,199	0,32
28/03/2019	5	4,35	0,37	0,27	0,33
08/04/2019	6	0,88	0,19	0,18	0,794
15/04/2019	7	0,43	0,19	0,26	0,34
22/04/2019	8	1,36	0,407	0,17	0,57
29/04/2019	9	0,63	0,37	0,15	0,42
06/05/2019	10	0,54	0,14	0,18	0,59
13/05/2019	11	0,29	0,19	0,2	0,52
20/05/2019	12	0,66	0,17	0,36	0,71

Tableau III.3 : la variation de turbidité.

CHAPITRE III: Les Analyses physico –chimiques et discussion des résultats

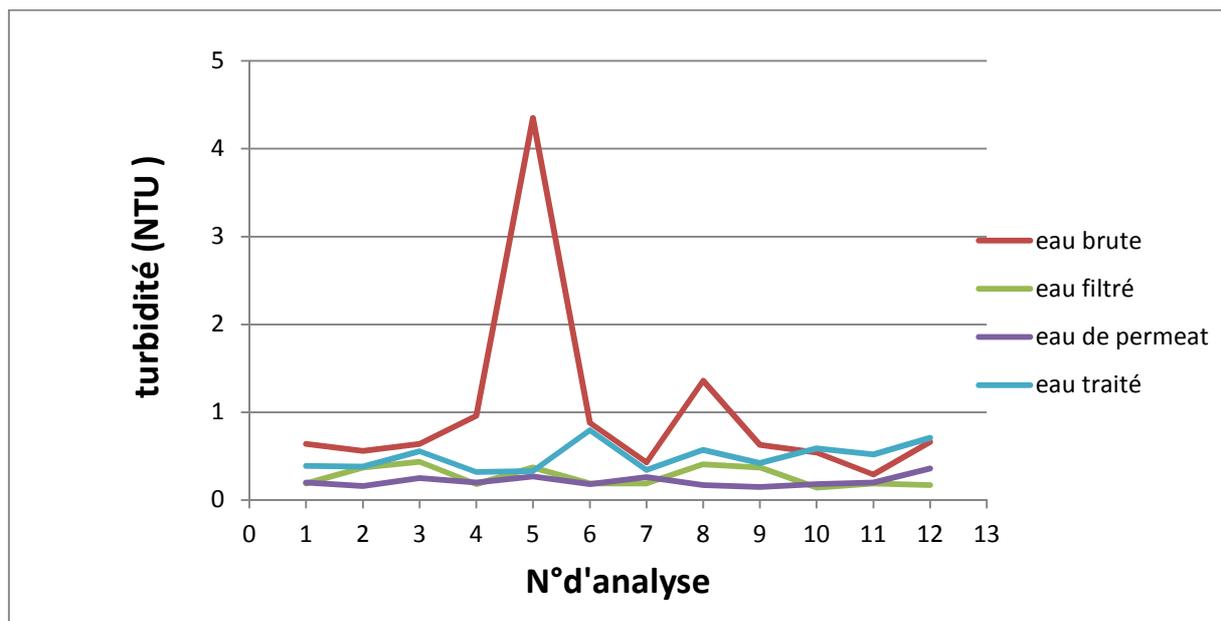


Figure III.10 : l'évolution de la turbidité.

Discussion

D'après les résultats obtenus, on remarque que les valeurs de la turbidité de l'eau brute varient de (0.29 NTU à 4.35 NTU) ceci est due au prélèvement de l'eau brute à 845 m de la station, et à une profondeur de 15m. Le passage de l'eau brute par les différentes étapes de prétraitement (injection du coagulant, filtration sur filtre à sable et filtre à cartouche) permet de ramener la turbidité à des valeurs inférieures à 0,435NTU. Le(28/03/2019) nous avons enregistré une valeur très élevée , en raison des perturbations météorologiques extrêmes de ce jour-là .

Les analyses de la turbidité de notre échantillon (eau produite) donnent des valeurs de (0.32 NTU à 0.794NTU) Ce qui indique l'élimination des matières colloïdales après le passage à travers les filtres. Ces valeurs respectent la norme Algérienne de potabilité qui est fixé à moins de 5 NTU.

III .4 .4 La conductivité ($\mu\text{s}/\text{cm}$)

La norme c'est : 2800 $\mu\text{s}/\text{cm}$

CHAPITRE III: Les Analyses physico –chimiques et discussion des résultats

la date	N° d'analyse	Eau brute ms/cm	Eau filtré ms/cm	Eau permeat $\mu\text{s/cm}$	Eau traité $\mu\text{s/cm}$
04/03/2019	1	54,9	54,9	641	675
11/03/2019	2	55,6	55,6	606	702
18/03/2019	3	55,1	54,9	636	782
25/03/2019	4	55,1	54,9	647	706
28/03/2019	5	56,1	55	644	707
08/04/2019	6	55,1	56	616	738
15/04/2019	7	55,3	54,7	648	742
22/04/2019	8	55,1	55,1	689	749
29/04/2019	9	55,3	53,8	530	742
06/05/2019	10	55,8	55,6	536	758
13/05/2019	11	55,1	55,7	663	774
20/05/2019	12	55,1	54,7	595	753

Tableau III.4 : la variation de la conductivité.

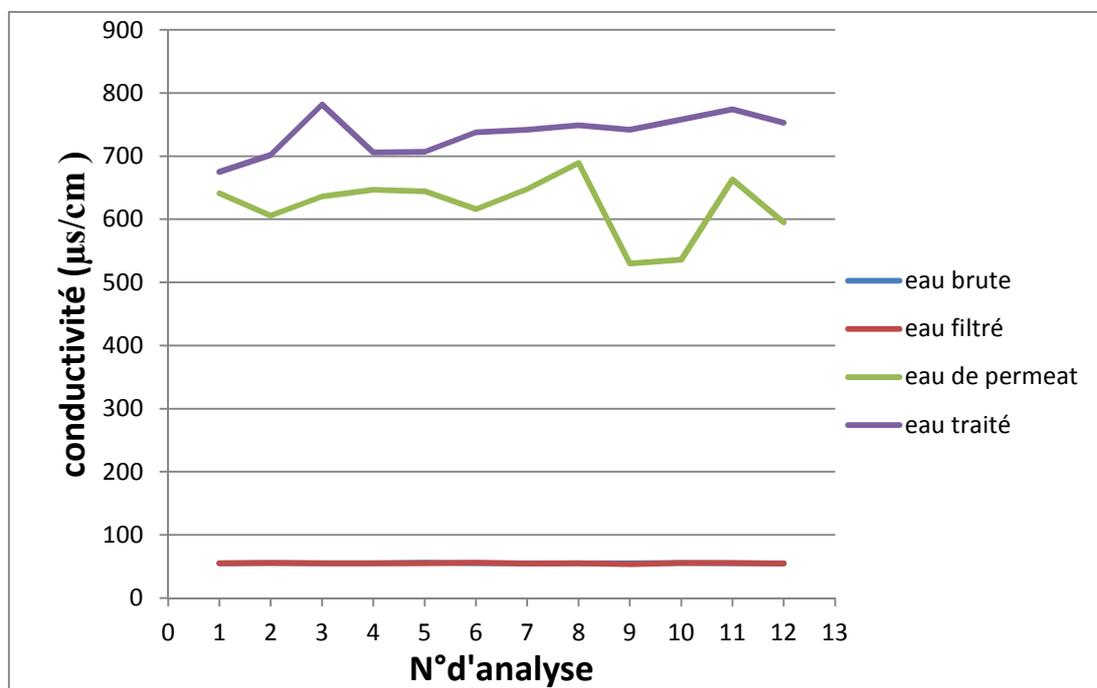


Figure III.11 : l'évolution de la conductivité

CHAPITRE III: Les Analyses physico –chimiques et discussion des résultats

Discussion

A partir des résultats obtenus on constate que les valeurs de la conductivité de l'eau brute sont élevées vu la teneur élevée en sels, elle varie de (54.9ms/cm à 55.8ms/cm) au cours des 3 mois de suivi du processus de dessalement, même chose pour la conductivité d'eau filtrée qui varie de (53.8ms/cm à 56ms/cm). Les deux courbes d'évolution (voire la figure III.4) sont presque confondues et au-dessus de la norme fixée par l'OMS car jusqu'au là l'eau de mer est saline.

Pour l'eau traitée la conductivité varie de (675 μ s/cm à 782 μ s/cm) cela s'explique par l'absence des sels dissouts après les modules d'osmose inverse .mais il existe une augmentation assez notable est observée (sur la figure III.4), cette augmentation est une conséquence de l'ajout de la chaux et de CO₂. L'évolution de la conductivité électrique reste respectable aux normes Algérienne, (Inferieurs à 2800 μ s/cm).

III .4 .5 Le taux de sels (TDS) (mg/l)

La norme de la station c'est : 150 à 500 mg/l

la date	N° d'analyse	Eau brute mg/l	Eau filtré mg/l	Eau permeat mg/l	Eau traité mg/l
04/03/2019	1	39	39,53	352,55	371,25
11/03/2019	2	39,2	40,032	332,75	386,1
18/03/2019	3	39,672	39,528	349,8	430,1
25/03/2019	4	39,4	39,528	355,85	388,3
28/03/2019	5	39,5	39,6	354,2	388,85
08/04/2019	6	39,2	40,32	338,8	405,9
15/04/2019	7	38,6	39,384	356,4	408,1
22/04/2019	8	39	39,67	378,95	411,95
29/04/2019	9	39.4	39.53	352.8	371.25
06/05/2019	10	38.7	40.032	294.8	416.9
13/05/2019	11	38.5	40.104	364.65	425.7
20/05/2019	12	38.9	39.38	325.25	414.15

Tableau III.5 : la variation de TDS.

CHAPITRE III: Les Analyses physico –chimiques et discussion des résultats

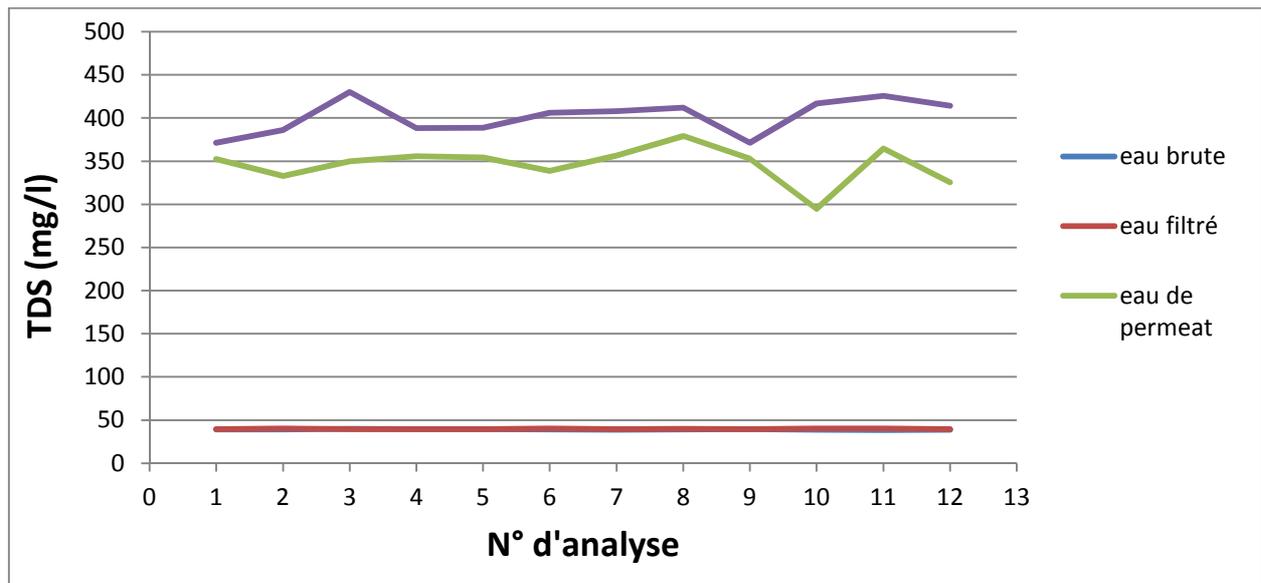


Figure III.12 : la variation de la concentration de TDS.

Discussion

On remarque que la valeur de TDS de l'eau brute et l'eau filtrée sont presque les mêmes, entre 38.5mg/l et 39.672 mg/l pour l'eau brute et 39.8mg/l et 40.32 mg/l pour l'eau filtrée. Les valeurs sont plus élevées par rapport à la norme fixée par l'OMS car jusqu'à cette étape, l'eau est saline et on n'a pas encore corrigé ce problème ce qui explique la variation de ces valeurs. La conductivité est un paramètre qui a une relation avec la minéralisation qui elle-même est en relation avec le TDS de l'eau, alors elles peuvent entraîner selon le cas un goût salé, une accélération de la corrosion et des dépôts dans les canalisations.

Une diminution de TDS est observée pour l'eau de permeal entre 294.8 mg/l et 378.95 mg/l à la cause de la rétention de la majorité des sels par la membrane d'OI.

Concernant le TDS de l'eau traité les valeurs ont augmenté il sont variés entre 371.25mg/l et 430.1mg/l ; le graphe de (la figure III.5) montre clairement que tous les valeurs sont incluses dans l'intervalle de la norme de l'OMS (150 à 500 ppm) .

CHAPITRE III: Les Analyses physico –chimiques et discussion des résultats

III .4 .6 Les Matières en suspensions (MES) (mg/l)

la date	N° d'analyse	Eau brute(mg/l)
04/03/2019	1	6
11/03/2019	2	4,2
18/03/2019	3	6
25/03/2019	4	6
28/03/2019	5	10,4
08/04/2019	6	10
15/04/2019	7	9,6
22/04/2019	8	9,4
29/04/2019	9	9,4
06/05/2019	10	9,2
13/05/2019	11	8,4
20/05/2019	12	8,2

Tableau III.6 : la variation de MES.

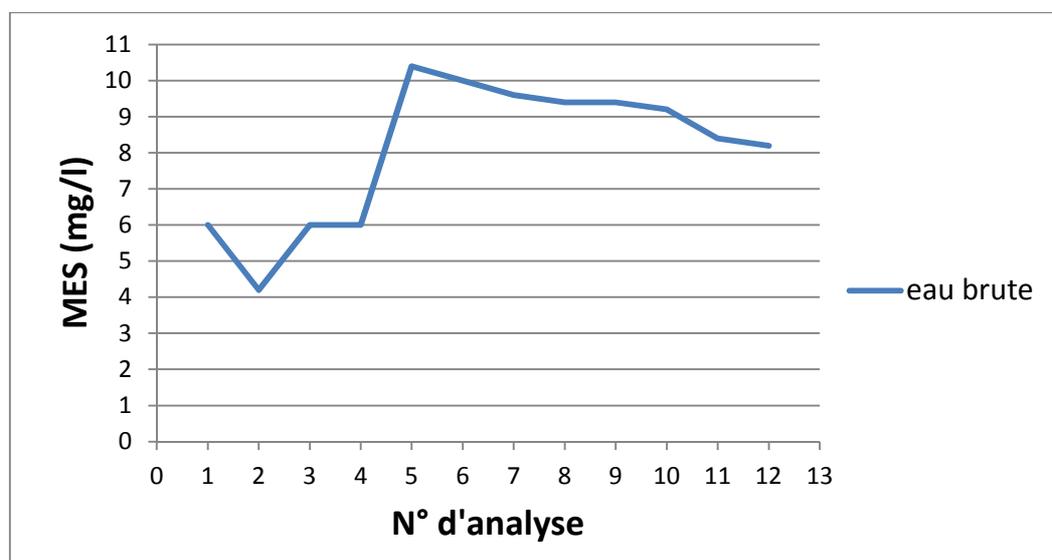


Figure III.13 : l'évolution de MES

Discussion

Les matières en suspensions dans l'eau sont soit des particules visibles, décantées ou colloïdales. Elles se composent d'argiles, de limons, de sable, de boues diverses, de particules colloïdales organiques, de planctons, de micro-organismes etc.... toute fois, leur présence dans une eau destinée au traitement a un niveau significatif peut inhiber une désinfection efficace. Le taux de MES dans l'eau brute est relativement faible, il varie de 4.2 mg/l à 10.4

CHAPITRE III: Les Analyses physico –chimiques et discussion des résultats

mg/l, la variation de ce paramètre est dû au mouvement de la mer et au changement climatique.

III .4 .7 L'indice de colmatage (SDI₅) (mg/l) , pendant 5 minutes

la date	N° d'analyse	Eau brute mg/l
04/03/2019	1	16,1
11/03/2019	2	16,47
18/03/2019	3	15,8
25/03/2019	4	16,64
28/03/2019	5	16,62
08/04/2019	6	16,79
15/04/2019	7	16,5
22/04/2019	8	17,7
29/04/2019	9	16.06
06/05/2019	10	15,35
13/05/2019	11	15.98
20/05/2019	12	15.9

Tableau III.7 : la variation de SDI₅.

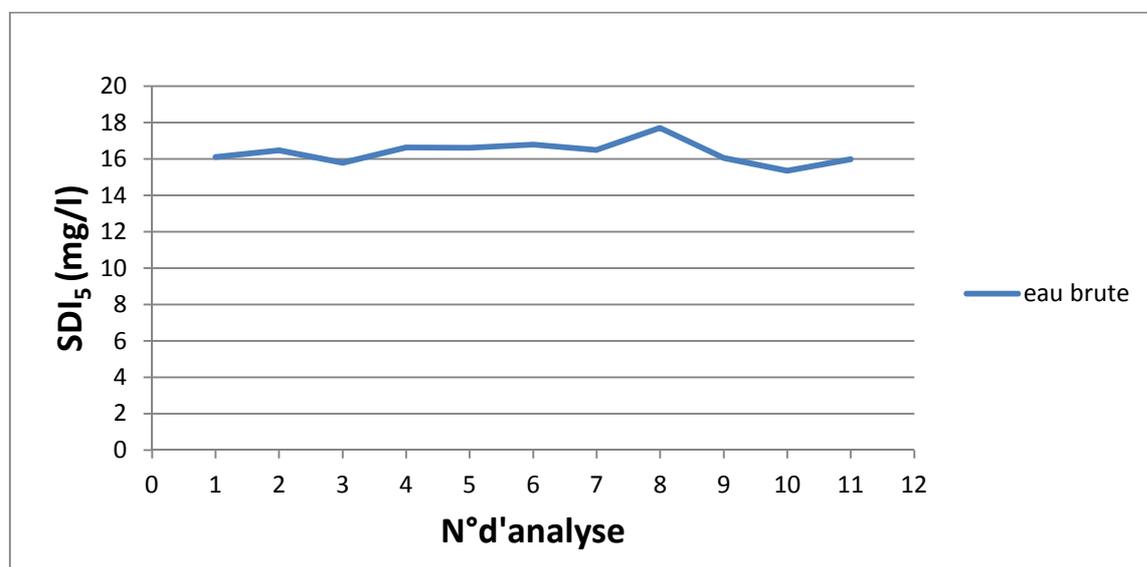


Figure III.14 : l'évolution de SDI₅

Discussion

Les résultats des analyses d'eau de mer montrent des variations de SDI₅ de 15.35 mg/l à 17.7 mg/l indiquant une eau très colmatant et la nécessité d'un traitement d'eau poussée (m avant le passage de l'eau dans l'unité d'osmose inverse. suite à la variation de la qualité de l'eau

CHAPITRE III: Les Analyses physico –chimiques et discussion des résultats

brute car il y a une relation entre : la turbidité, MES et le SDIs. Le calcul du SDI de l'eau de mer permet de choisir et de déterminer le mode de prétraitement (injection coagulant, floculant, filtration sur filtre à sable et filtre à cartouche)

III .4 .8 L'indice de colmatage (SDI₁₅)(mg/l) , pendant 15 minutes

la date	N° d'analyse	Eau filtré (mg/ml)
04/03/2019	1	2,47
11/03/2019	2	2,39
18/03/2019	3	2,4
25/03/2019	4	2,06
28/03/2019	5	2,34
08/04/2019	6	1,97
15/04/2019	7	2,04
22/04/2019	8	2,16
29/04/2019	9	2,4
06/05/2019	10	2,34
13/05/2019	11	2.10
20/05/2019	12	2.20

Tableau III.8 : la variation de SDI₁₅

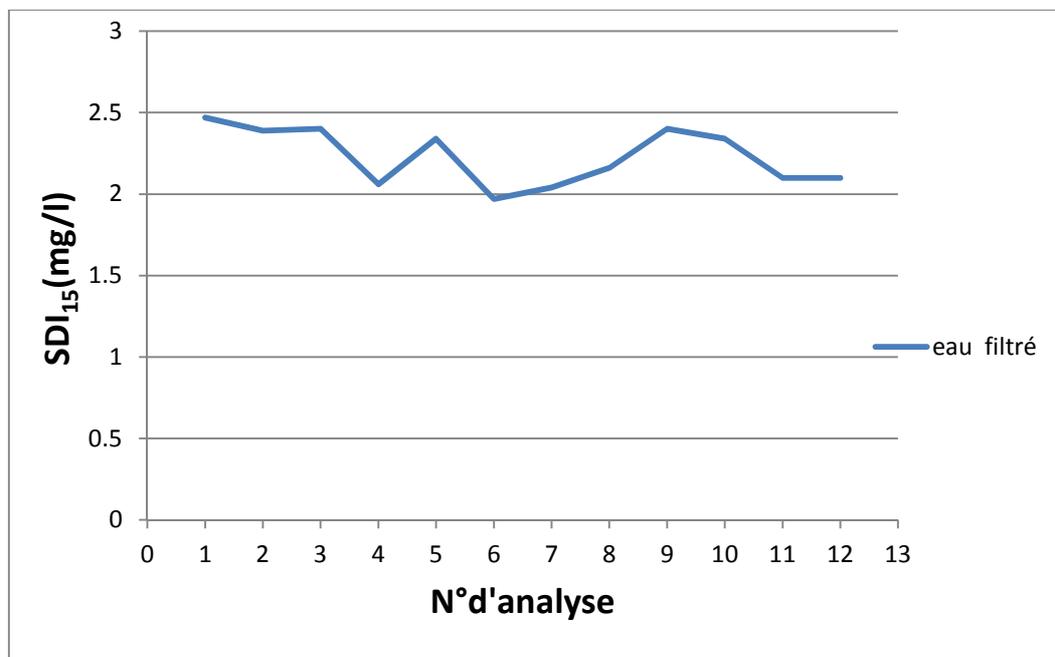


Figure III.15 : l'évolution de SDI₁₅

CHAPITRE III: Les Analyses physico –chimiques et discussion des résultats

Discussion

Selon les résultats obtenus, on remarque que la variation des valeurs de L'indice de Colmatage pendant 15 minutes (SDI₁₅) d'eau filtré varie de 1.97mg/l à 2.47mg/l au cours tous les semaines de suivi, avec une valeur moyenne de 2.23mg/l.

le SDI15 est déterminé pour l'eau filtrée afin d'établir un suivi des performances des prétraitements adaptés. Les prétraitements de la station de dessalement ont permis de ramener le SDI15 à une valeur inférieure à 3 ce qui est exigé pour assurer la protection des inférieures à ce seuil, cela traduit aussi une performance du prétraitement

III .4 .9 Ion calcium Ca⁺² (mg/l CaCO₃)

la date	N° d'analyse	Eau permeal (mg/l CaCO ₃)	Eau traité (mg/l CaCO ₃)
04/03/2019	1	4,008	60,12
11/03/2019	2	4,008	58,116
18/03/2019	3	4,008	64,128
25/03/2019	4	0	25,104
28/03/2019	5	8,016	58,116
08/04/2019	6	4,008	68,136
15/04/2019	7	4,008	64,128
22/04/2019	8	4,008	58,116
29/04/2019	9	4.008	56.112
06/05/2019	10	4.008	56.11
13/05/2019	11	6.012	60.12
20/05/2019	12	6.012	60.12

Tableau III.9 : la variation de la concentration de Ca⁺².

CHAPITRE III: Les Analyses physico –chimiques et discussion des résultats

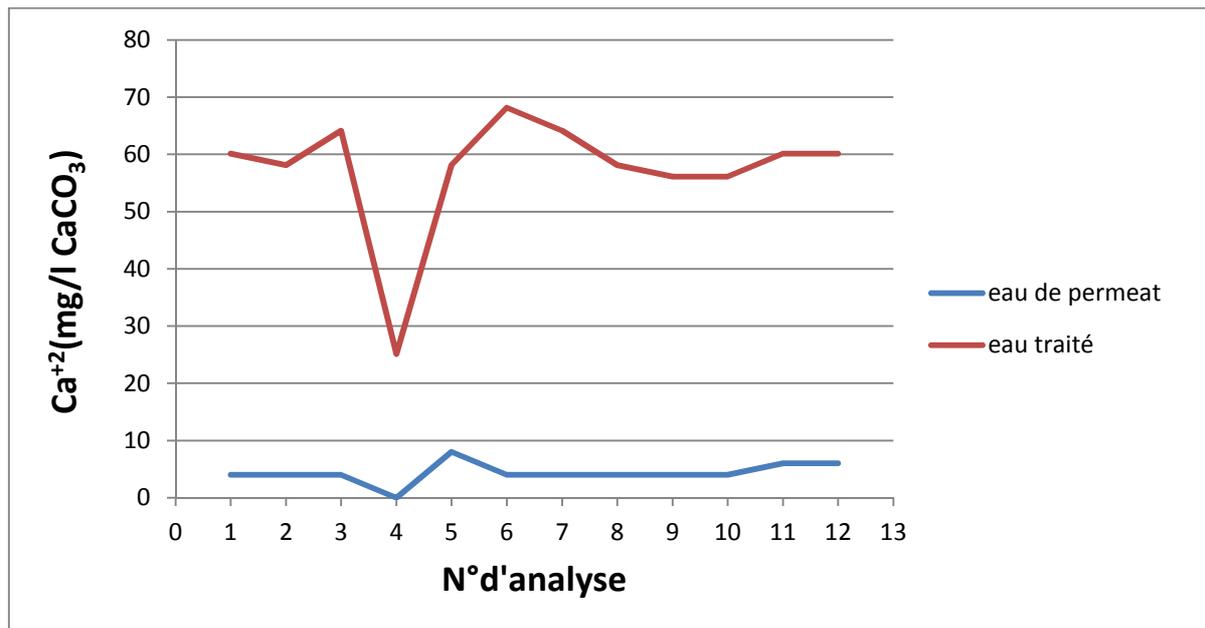


Figure III.16 : l'évolution de la concentration de Ca²⁺.

Discussion

L'analyse de (la figure III.9) montre des valeurs de calcium pour le permeat ≤ 8 mg/l de CaCO₃ des faibles valeurs (Après le passage de l'eau filtré à travers les membranes d'OI, on a obtenu des valeurs qui évoluent dans un intervalle de 4.008 mg/l à 6.012 mg/l CaCO₃, cela traduit que les membranes d'OI ont une performance d'élimination de 99,42 % de Ca²⁺), donc cette eau a un apport de Ca²⁺ pour le consommateur très faible et une eau potable doit contenir une quantité appréciable en Ca²⁺ et Mg²⁺ pour éviter les maladies cardiovasculaire selon l'OMS.

Une eau de bonne qualité en terme de minéralisation globale, les concentrations en calcium varient de **100 à 200 mg/l CaCO₃**. Ce qui montre le non équilibre du permeat avec les normes, de ce fait il faut ajouter une dernière étape de reminéralisations du permeat qui est des valeurs supérieurs à 60 mg/l de CaCO₃. pour rendre cette eau potable.

CHAPITRE III: Les Analyses physico –chimiques et discussion des résultats

III .4 .10 Mesure de magnésium (Mg) (mg/l)

la date	N° d'analyse	Eau permeat (mg/l)	Eau traité (mg/l)
04/03/2019	1	15,72	17,88
11/03/2019	2	15,992	23,884
18/03/2019	3	15,99	29,872
25/03/2019	4	24	25,896
28/03/2019	5	21,984	25,884
08/04/2019	6	19,992	19,864
15/04/2019	7	19,992	23,872
22/04/2019	8	23,992	35,884
29/04/2019	9	19.89	43.896
06/05/2019	10	11,992	27,896
13/05/2019	11	19.988	29.88
20/05/2019	12	17.988	25.88

Tableau III.10 : la variation de Mg.

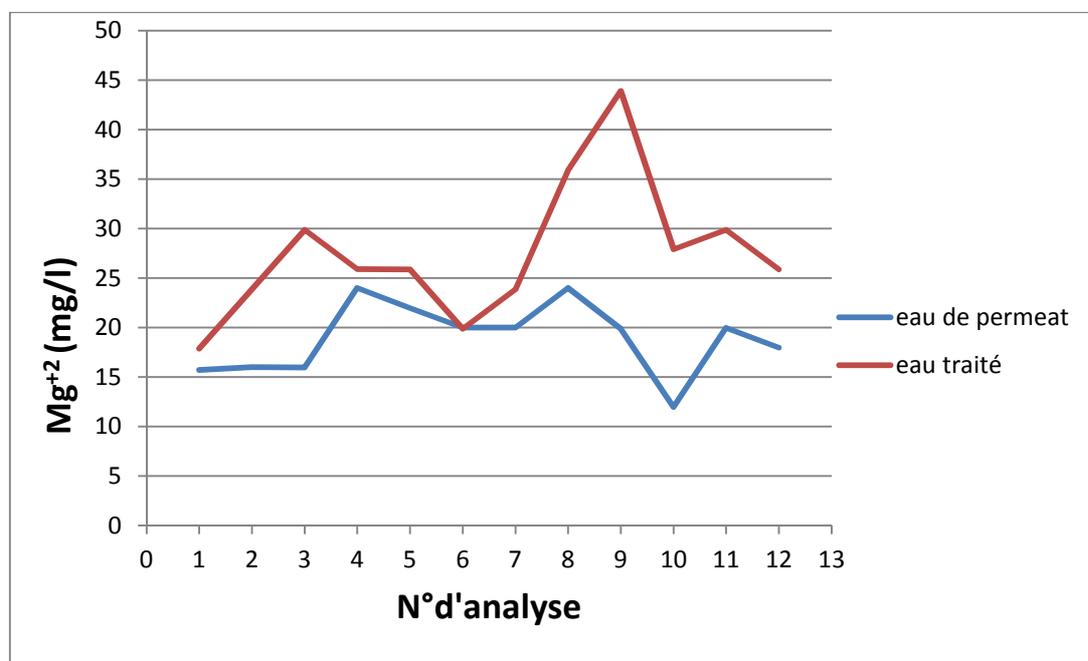


Figure III.17 : l'évolution de Mg.

CHAPITRE III: Les Analyses physico –chimiques et discussion des résultats

Discussion

Le magnésium constitue un élément significatif de la dureté de l'eau, à partir d'une concentration de 100mg/l et pour des sujets sensibles, le magnésium donne un goût désagréable à l'eau potable.

Les valeurs de magnésium dans l'eau de permeat sont instables et ne dépassent pas 20mg/l de CaCO₃ pour les analyses N°4 ,5 et 8 en raison de la rétention de la majorité des seles Mg⁺² par les membranes d'OI.

Pour l'eau traitée les teneurs en magnésium varient entre 17.88 et 43.896 mg/l de CaCO₃, approximativement ces teneurs sont faibles et sont très loin de la norme (le manque de magnésium peut se manifester par des tremblements spontanés des muscles ou par une faiblesse musculaire).(MEGHERFI YUCEF ET KHARROUBI HOUSSEYN).donc la reminéralisation n'a pas permet de ramener le concentration de Mg a des valeurs proche de la norme .

III .4 .11 Le titre hydrométrique (TH) (mg/l CaCO₃)

la date	N° d'analyse	Eau permeat (mg/l CaCO ₃)	Eau traité (mg/l CaCO ₃)
04/03/2019	1	20	78
11/03/2019	2	20	82
18/03/2019	3	20	94
25/03/2019	4	24	78
28/03/2019	5	30	84
08/04/2019	6	24	88
15/04/2019	7	24	88
22/04/2019	8	28	94
29/04/2019	9	16	80
06/05/2019	10	16	80
13/05/2019	11	26	82
20/05/2019	12	24	86

Tableau III.11 : la variation de TH.

CHAPITRE III: Les Analyses physico –chimiques et discussion des résultats

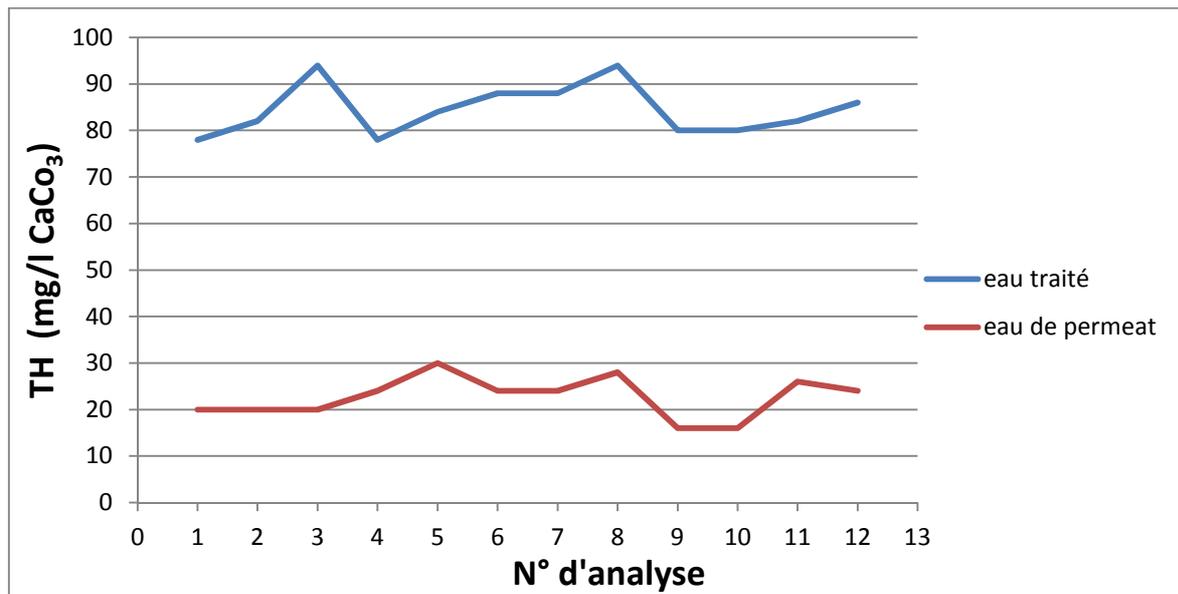


Figure III.18 : l'évolution de TH.

Discussion

Le TH d'une eau correspond essentiellement à la présence de sels de calcium et magnésium, c'est le paramètre qui traduit la dureté d'une eau sachant, que Ca^{2+} et Mg^{2+} sont des substances minérales essentielles pour l'organisme humain. Alors on doit toujours avoir une eau riche de ces éléments sans gêner l'usage de l'eau.

Les résultats d'analyses montrent que la dureté de l'eau de permeat présente une variation allant de 16 mg/l à 30 mg/l CaCO_3 . La concentration en ions calcium et magnésium subira une nette diminution par la rétention de ces sels par la membrane d'OI, ou 99% de ces sels sont éliminées. Une telle eau ne peut être distribuée, le TH est trop faible donc cette dureté traduit une eau très douce (agressive) qui risque de causer des problèmes de corrosion dans les réseaux de distribution d'eau potable. si elle est distribuée telle quelle, car cette eau ne peut pas former une couche protectrice de tartre (la couche de Tilman).

L'augmentation de ce dernier est assurée par l'ajoute du lait de chaux ou l'eau traitée donne des valeurs qui varient de 78 mg/l CaCO_3 de 94 mg/l CaCO_3 et elles évoluent dans l'intervalle de TH imposée par la station de 80 à 150 mg/l CaCO_3 .

CHAPITRE III: Les Analyses physico –chimiques et discussion des résultats

III .4 .12 Mesure de TA (mg/l CaCO₃)

la date	N° d'analyse	Eau permeat (mg/l CaCO ₃)	Eau traité (mg/l CaCO ₃)
04/03/2019	1	0	0
11/03/2019	2	0	0
18/03/2019	3	0	0
25/03/2019	4	0	0
28/03/2019	5	0	0
08/04/2019	6	0	0
15/04/2019	7	0	0
22/04/2019	8	0	0
29/04/2019	9	0	1
06/05/2019	10	0	0.1
13/05/2019	11	0	0.1
20/05/2019	12	0	0.1

Tableau III.12 : la variation de TA.

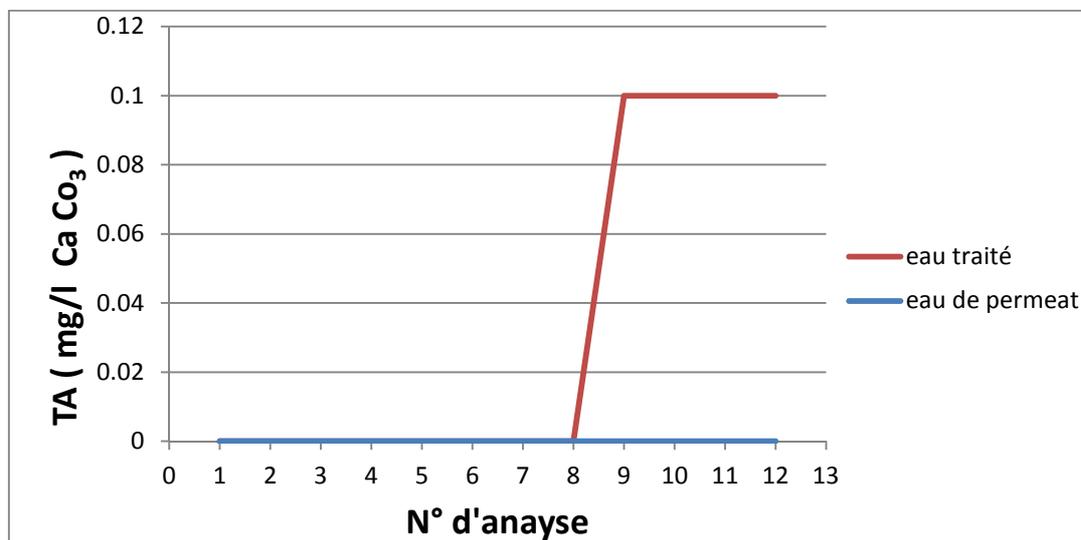


Figure III.19 : l'évolution de TA.

Discussion

Selon les résultats obtenus, on remarque que TA=0 mg/l CaCO₃ pour la majorité de résultats car le PH de l'eau <8.30 donc il y a d'absence des ions alcalins fort.

CHAPITRE III: Les Analyses physico –chimiques et discussion des résultats

Pour l'analyse N°10,11 et 12 on remarque bien sur (la figure III.12) Une faible valeur de TA(TA= 0.1 mg/l CaCO₃) car le PH est légèrement dépassé la limite de 8.30.

III .4 .13 Le titre alcalimétrique complet (TAC) (mg/l CaCO₃)

la date	N° d'analyse	Eau permeat (mg/l CaCO ₃)	Eau traité (mg/l CaCO ₃)
04/03/2019	1	6	67
11/03/2019	2	6	70
18/03/2019	3	0	85
25/03/2019	4	4	62
28/03/2019	5	3	63
08/04/2019	6	5	77
15/04/2019	7	5	73
22/04/2019	8	4	71
29/04/2019	9	4	71
06/05/2019	10	5	74
13/05/2019	11	6	72
20/05/2019	12	6	79

Tableau III. 13 : la variation de TAC.

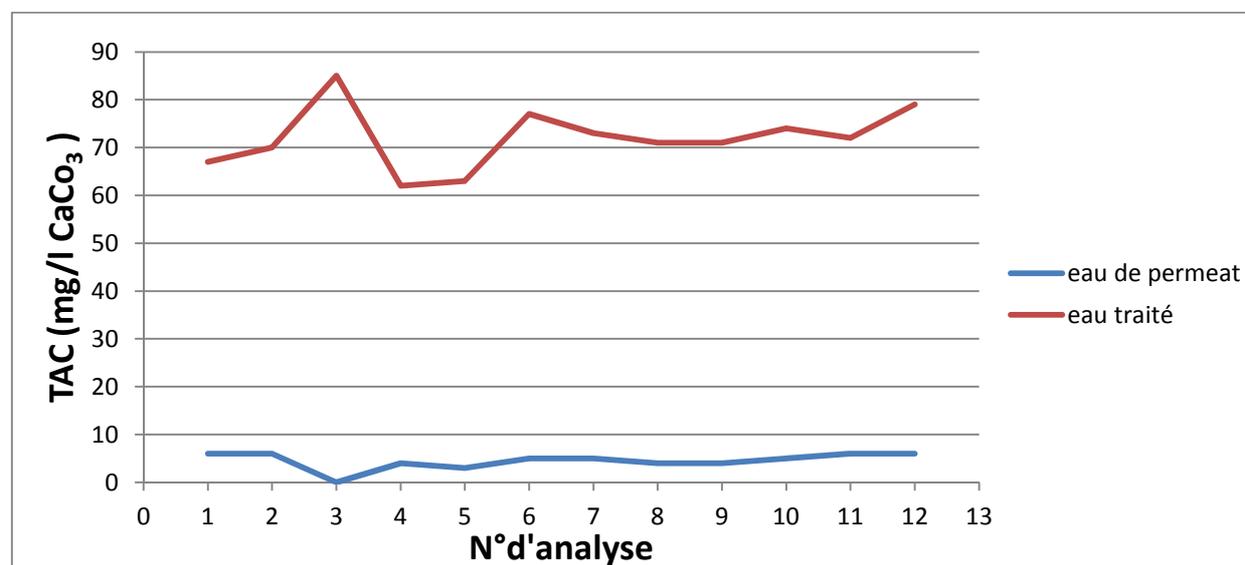


Figure III .20: l'évolution de TAC.

Discussion :

Le titre alcalimétrique complet TAC correspond à la teneur en ion CO₃²⁻, HCO₃⁻ et OH⁻, pour des pH inférieurs à 8,3, la teneur en ion OH⁻ et CO₃²⁻ est négligeable (TA=0) dans ce cas la mesure de TAC correspond au dosage des bicarbonates seuls, selon (Rodier 1996), le TAC

CHAPITRE III: Les Analyses physico –chimiques et discussion des résultats

(HCO_3^-) est directement lié à la dureté carbonatée de l'eau, il est nécessaire pour l'étude de l'agressivité d'une eau et dans certains cas il convient d'ajouter du carbonate de calcium (CaCO_3) pour donner à l'eau une certaine teneur en bicarbonate de calcium.

Selon les résultats de l'alcalinité de l'eau de permeal, nous remarquons une variation allant de 3 mg/l CaCO_3 à 6 mg/l CaCO_3 , cette alcalinité traduit une eau agressive qui provoquera la corrosion des canalisations de distribution d'eau potable, ce qui explique l'importance du passage de cette eau par le poste de reminéralisation car l'alcalinité du perméat représente une variation très faible par rapport à la norme qui exige un TAC minimum de 60 mg/l CaCO_3 .

(La figure III .13) montre que le TAC de l'eau traitée, varie de 62 mg/l CaCO_3 à 85 mg/l CaCO_3 ; une eau ne peut être distribuée car elle ne peut pas former une couche protectrice en carbonate de calcium pour les canalisations, c'est pour cela qu'il y a injection du CO_2 qui permet de faire augmenter le TAC pour atteindre des valeurs > 60mg/l CaCO_3 (valeur imposée par la station).

Finalement, on ce qui concerne le TAC il répond à la norme établie par l'entreprise, mais le TAC est toujours liée par l'équilibre calco-carbonique, donc on ne peut le considérer seul mais dans un ensemble de paramètres traduit par Indice de l' Langelier.

III .4 .14 Les chlorures (Cl^-) (mg/l)

la date	N° d'analyse	Eau permeal (mg/l)	Eau traité (mg/l)
04/03/2019	1	182,93748	185,77372
11/03/2019	2	174,428	186,482
18/03/2019	3	185,77372	201,37304
25/03/2019	4	204,202	190,737
28/03/2019	5	190,028	187,9
08/04/2019	6	180,8103	175,8468
15/04/2019	7	194,9915	192,8643
22/04/2019	8	190,73	179,392
29/04/2019	9	160.95	197.83
06/05/2019	10	160,247	179,392
13/05/2019	11	182.228	196.409
20/05/2019	12	175.1378	185.773

Tableau III .14 : la variation de Cl^-

CHAPITRE III: Les Analyses physico –chimiques et discussion des résultats

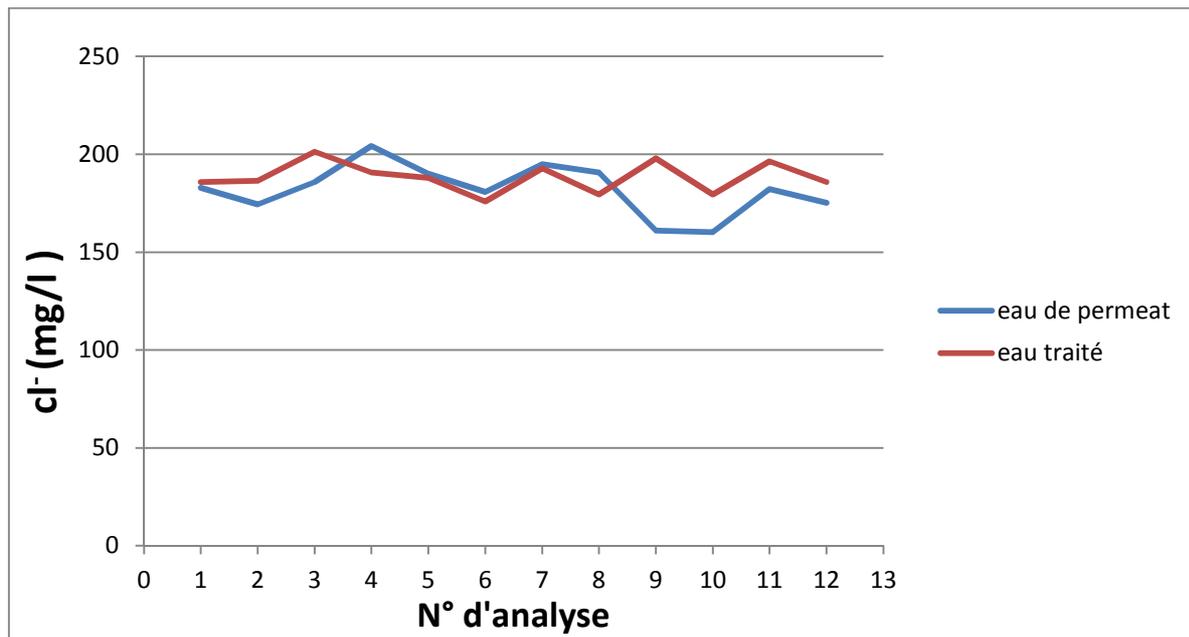


Figure III .21 : l'évolution de Cl^- .

Discussion

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

D'après les résultats d'analyses, nous remarquons que la concentration en chlorures d'eau du permeat varie de 160.247 mg/l à 204.028 mg/l, des valeurs assez élevées qui traduisant une sélectivité assez faible des membranes utilisées.

Pour l'eau traité (la figure III .14) montre que la teneur en chlorure de l'eau traitée et légèrement supérieure au permeat pour la majorité des échantillons .

La légère hausse des chlorures provient de la désinfection par hypochlorite de calcium et pour terminer toutes les valeurs répondent à la norme de l'usine (265mg/l).

CHAPITRE III: Les Analyses physico –chimiques et discussion des résultats

III .4 .15 Mesure de cl_2 (mg/l)

la date	N° d'analyse	Eau traité (mg/l)
04/03/2019	1	0,48
11/03/2019	2	0,61
18/03/2019	3	0,36
25/03/2019	4	0,61
28/03/2019	5	0,6
08/04/2019	6	0,62
15/04/2019	7	0,54
22/04/2019	8	0,56
29/04/2019	9	0,58
06/05/2019	10	0,68
13/05/2019	11	0,59
20/05/2019	12	0,6

Tableau III .15 : la variation de cl_2 .

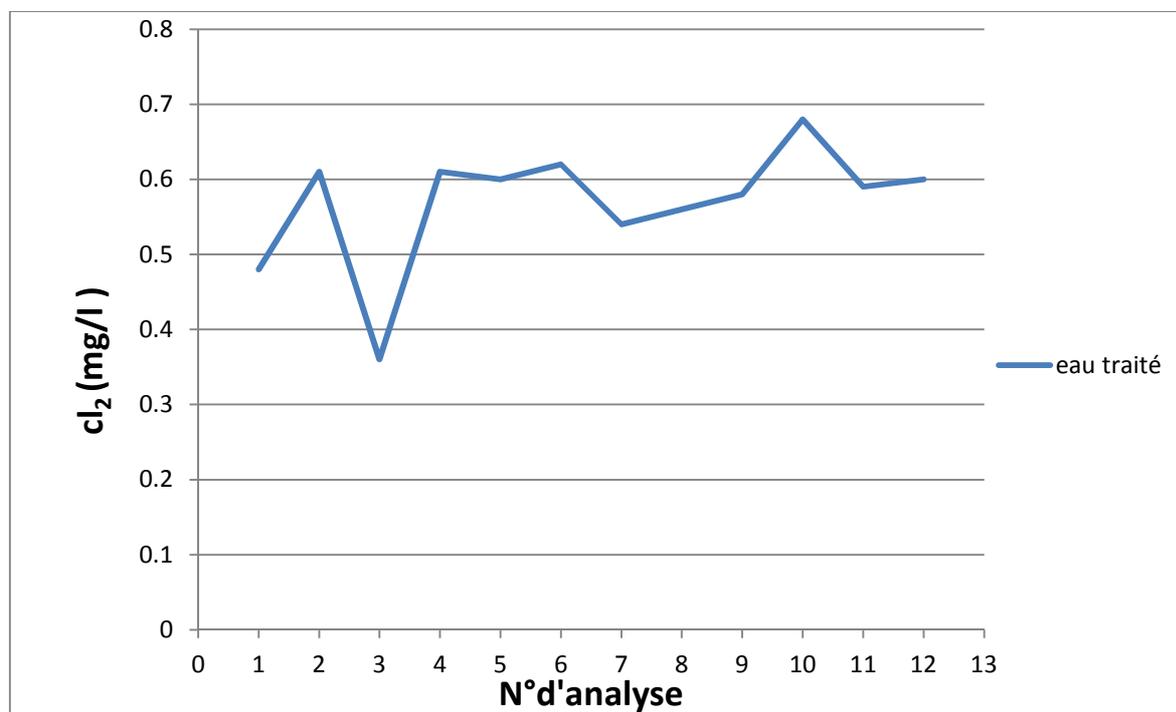


Figure III .22 : l'évolution de cl_2

CHAPITRE III: Les Analyses physico –chimiques et discussion des résultats

Discussion

Le chlore sous forme d'hypochlorite de calcium dans cette installation est injecté en tête de prise d'eau. Pour éliminer les microorganismes au niveau des installations, donc c'est un pré désinfection. Puis on assure son élimination avant l'entrée de l'eau dans l'osmoseur pour protéger Les membranes qui sont sensible au chlore par l'ajout du SMBS(metabosulfite de sodium). Une post- chloration par l'hypochlorite de calcium est effectuée sur l'eau traitée obtenue, afin de laisser un résiduel en chlore qui constitue un indicateur de non contamination du réseau après le traitement et un témoin de l'efficacité du traitement de désinfection chlore résiduel constitue une forme de sécurité pour traiter des petites contaminations éventuelles de l'eau.

Le taux de chlore libre fluctue entre 0.36 et 0,68mg/L, avec une valeur moyenne de 0.56 mg/L. Cette valeur est légèrement inférieure par rapport à la valeur préconisée par la norme algérienne qui est entre 0.5 mg/l et 5mg/l.

Les analyses N°1 et 3 ne répond pas aux normes ,il sont inferieur de 0.5 mg/l a cause des problèmes technique (tube d'injection de hypochlorite de sodium la partie de désinfection par eau de javel) .

III .4 .16 Mesure de l'indice de langelier

la date	N° d'analyse	Eau traité
04/03/2019	1	0,08
11/03/2019	2	0,06
18/03/2019	3	-0,22
25/03/2019	4	0,04
28/03/2019	5	0,02
08/04/2019	6	0,18
15/04/2019	7	0,12
22/04/2019	8	0,05
29/04/2019	9	0,09
06/05/2019	10	0,15
13/05/2019	11	0.15
20/05/2019	12	0.22

Tableau III .16 : la variation de l'indice de l'angelier

CHAPITRE III: Les Analyses physico –chimiques et discussion des résultats

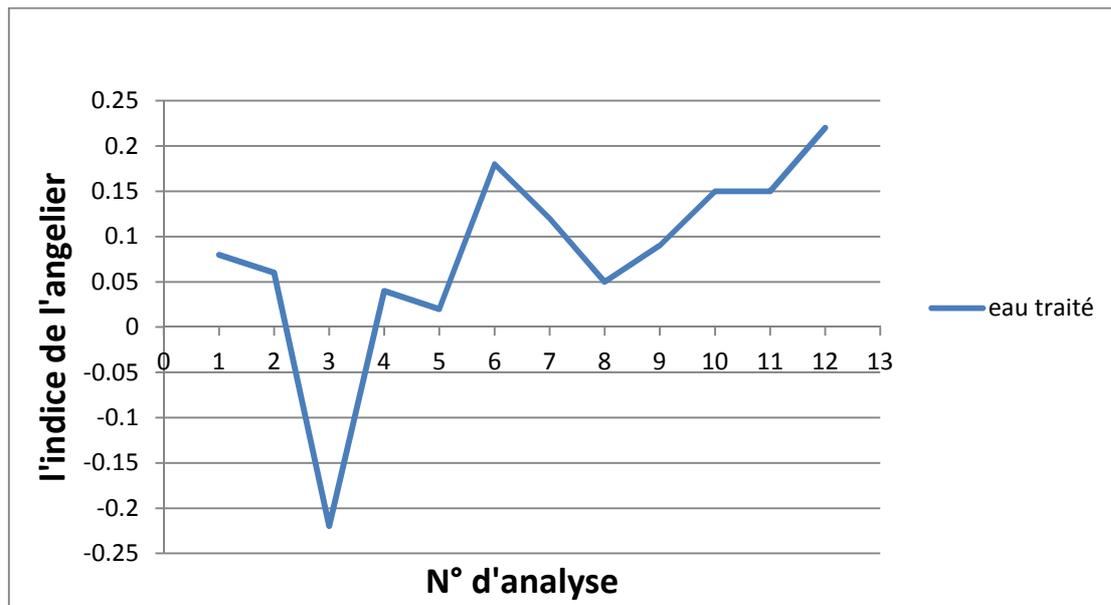


Figure III .23 : l'évolution de l'indice de l'angelier.

Discussion

L'indice de langelier permet de contrôler l'efficacité de recentralisation qui vise à produire une eau équilibre

- Si I.L <0 : l'eau est agressive est irritante une tolérance de (+ ou - de 0.4) est normalement acceptable.
- Si I.L>0 : l'eau est incrustante.

Les résultats obtenus montrent une faible variation de (-0.22 à 0,22) avec une moyenne de (0.07) se qui signifier que l'eau produite conforme à la potabilité (eau idéal).

Le 18/03/2019, nous avons constaté une valeur exceptionnelle pour l'indice de langelier ,en raison de certains problèmes rencontrés dans la station (deux racks ont cessé de fonctionner et il Ya un problème dans le tube d'injection de (cl⁻) ce qui a conduit a un changement dans les valeurs de certains paramètres) .

III.5. Les solutions proposées

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

III.5.1. L'obligation de la chloration

Il faut injecter l'hypochlorite de sodium dans la tour de captage , une dose entre 2ppm et 5ppm est suffisante. Pour ne pas dégrader les membranes il faut éliminer toute trace de chlore. En injectant du de bisulfite de sodium avant les pompes hautes pression. CHEKROUD.M (2014).

CHAPITRE III: Les Analyses physico –chimiques et discussion des résultats

III.5.2. L'ouvrages de coagulation-floculation-décantation

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

III.5.3. Méthodes de lutte contre la corrosion

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

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

Pour le circuit basse pression, les matériaux plastiques (PVC, polyéthylène) sont le plus souvent utilisés et les plus compatibles. [8]

III.5.4. La solution pour le système de fabrication de CO₂

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

III.6. Conclusion

Dans ce chapitre, et à l'aide des analyses physico chimiques qu'on a fait au niveau de laboratoire de la station de dessalement d'eau de mer de Fouka on a étudié la performance du prétraitement et du traitement par l'évolution des paramètres pendant la durée de stage de 03 mois, en comparant ces valeurs à la norme fixée par l'OMS et enfin on a comparé l'eau traitée à la norme pour vérifier sa conformité aux normes de potabilité. Ce qui nous permet de conclure que la qualité d'eau dessalée, distribuée aux habitants, est de bonne qualité et conforme aux normes de potabilité exigée par l'état

IV. 1. Introduction

Parmi les impacts dus à une usine de dessalement, il y a ceux qui se limitent à la phase de construction et ceux qui sont liés à la phase d'exploitation. Les impacts commencent avec la transformation de l'occupation du sol, puis continuent avec des conséquences visuelles et des nuisances sonores pour s'étendre à des émissions dans l'atmosphère et des rejets dans l'eau ainsi qu'à des dommages potentiels pour le milieu récepteur. Les activités de construction et d'exploitation peuvent se traduire par une série d'impacts sur les zones littorales, affectant notamment la qualité de l'air, la qualité de l'eau, la flore et la faune marines, la perturbation d'écosystèmes (dunes de sable, herbiers marins et autres habitats vulnérables par suite de l'emplacement choisi pour le trajet des canalisations), le dragage et l'élimination des déblais qui en résultent, le bruit, les entraves à l'accès du public et aux loisirs. Les plus importants de ces impacts concernent la qualité de l'air et la qualité de l'eau qui retentissent ensuite sur la flore, la faune et les écosystèmes marins.(PNUE ATHENES,2001)

- Une grille présentant les impacts néfastes sur l'environnement associés aux procédés de dessalement voir (L'Annexe IV .1).

IV.2. Origine et type des rejets

IV.2.1. Rejets atmosphériques

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

IV.2.2. Les rejets chimiques

Toutes les usines de dessalement utilisent des produits chimiques pour le prétraitement de l'eau d'alimentation ainsi que le post-traitement de l'eau produite. La plupart des produits sont utilisés avant tout comme flocculant, coagulant, antitartre et anticorrosion, et ils finissent par modifier la composition de la saumure concentrée. La présence de certains métaux, qui sont des produits de la corrosion du circuit, influent aussi sur la composition de la saumure concentrée. [12]

IV.2.3. La saumure

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.(TAIBI SARAH)

IV.3. L'impact de dessalement sur l'environnement

IV .3.1. Effets dus au prélèvement d'eau de mer

Les usines de dessalement de l'eau de mer ont des dispositifs d'admission situés au large qui leur permettent de prélever de grosses quantités d'eau à proximité de certains habitats marins. Par exemple, des tambours tamiseurs sont souvent disposés entre le dispositif d'apport et les pompes d'alimentation afin d'empêcher des débris flottants, des organismes marins volumineux et autres matières de pénétrer dans le circuit de pré- traitement de l'usine de dessalement.

Le prélèvement représente deux sources potentielles d'impact, à savoir le heurt du poisson sur les tambours et l'introduction de biotes dans le circuit d'eau d'alimentation qui représente une menace importante pour le phytoplancton et le zooplancton , pour conséquences des dommages physiques comme l'écaillage et des troubles tels qu'une désorientation. Ce phénomène entraîne une augmentation de la mortalité par maladie et une vulnérabilité accrue à la prédation. (NRC, 2008)

IV.3.2. L'influence de l'énergie dégagée par la station de dessalement sur la qualité de l'air.

Les techniques utilisées pour le dessalement de l'eau sont très consommatrices d'énergie, même si la tendance est à la baisse, notamment grâce au développement de l'osmose inverse et d'autre technologie innovante. Cette énergie est le plus souvent fournie par des combustibles fossiles (pétrole, gaz naturel, charbon) qui présentent pour l'environnement l'inconvénient d'émettre des polluants atmosphériques tels que l'émission de gaz à l'effet serre (CO₂) qui provoque les pluies acides.

Cependant, les usines de dessalement émettent aussi des gaz qui ne proviennent pas de la combustion de combustibles fossiles, mais qui étaient déjà dissous dans l'eau de mer.

Dans les usines thermiques, l'eau d'alimentation est habituellement désaérée et des gaz émanent de la saumure qui s'évapore dans les chaudières de détente.(TINYURL .com, ,2007). Les deux procédés (OI, MSF) augmentent les émissions de gaz carbonique (CO₂), qui est stocké dans les océans sous forme de bicarbonate. le rejet de la saumure est indiqué qu'Indépendamment de leurs impacts négatifs sur la santé, les émissions des gaz à effet de serre contribuent au changement climatique, avec ses effets négatifs sur l'élévation du niveau de mer, la vie marine côtière, les zones humides, les forêts, la biodiversité et la désertification.

CHAPITRE IV : Impacts des rejets de dessalement sur l'environnement

En général, environ 15% de la consommation totale en énergie est attribuable au secteur de l'eau. (HUSSEIN ABAZZA, 2012).

IV.3. 3. Les impacts du rejet de la saumure sur l'environnement

La saumure est un sous-produit de dessalement inévitable, qui est déchargée, généralement dans l'environnement marin. Les implications environnementales de cette solution de sel fortement concentrée (TDS) est auteur de 70 000 ppm sur les écosystèmes marins locaux qui ont été discutées de façon contre-versée pendant beaucoup d'années. La salinité totale de la saumure est de 63,8 g/l contre 38,95 g/l pour l'eau d'alimentation. (EINA.V.R and. LOKIEC.F , 2003). Les scientifiques s'accordent sur le fait que les impacts des effluents issus des usines de dessalement sont principalement dus à la forte concentration en sel et dans une moindre mesure à la présence de produits chimiques (utilisés pour le fonctionnement de l'usine) et à la température potentiellement élevée de ces eaux .(LOUNNAS .S)

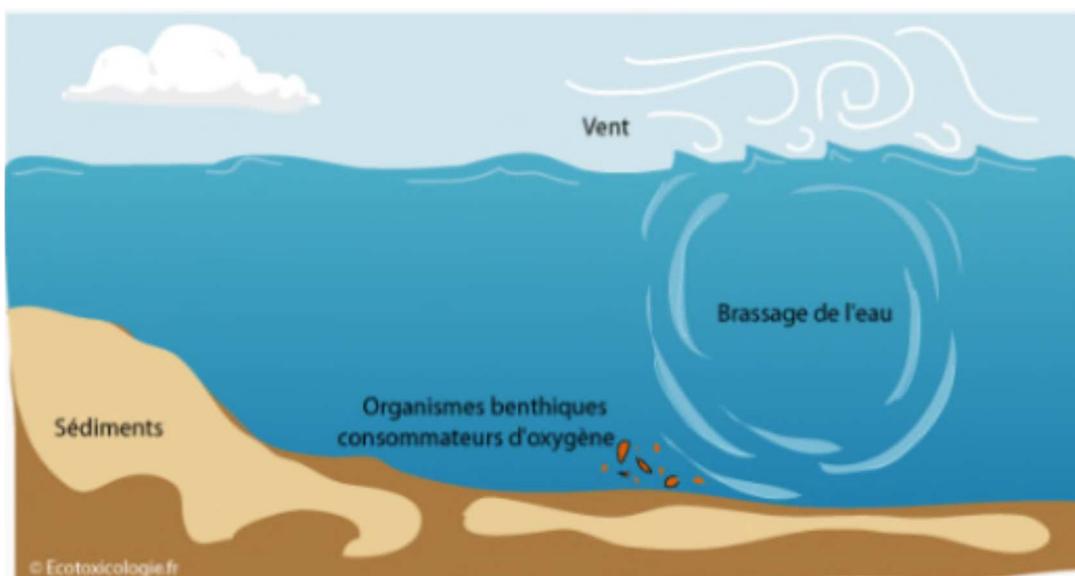
Un rejet continu d'eaux avec une forte salinité et une température élevée, induisant une diminution de la teneur en oxygène (**Anoxie (absence d'oxygène) au niveau de fond marin** : la diminution des brassages associée à la présence d'espèces consommatrices d'oxygène peut conduire à des périodes d'anoxie du fond marin, qui peut être fatal pour certains organismes et provoque aussi un changement durable dans la diversité des espèces.

Une disparition du corail et des organismes platoniques et une diminution des populations de poissons à proximité du rejet de l'unité de dessalement.

Une diminution de la diversité et de l'abondance de la macrofaune benthique

- Diminution de la lumière d'un brouillard qui rend difficile le passage de la lumière, affectant ainsi la photosynthèse des espèces marines végétales.
- Pour les autres espèces : Des recherches ont été élaborées sur les effets de rejets de saumure sur des espèces indicatrices comme les échinodermes (paracentrus lividus) et mysidacés (leptomysis posidonie). (SPA Alger, janvier 2009).

La plupart des échinodermes sont sténohalins et donc très susceptibles aux Changements de salinité, par rapport à la durée d'exposition et la concentration de sels dans la colonne d'eau.



CHAPITRE IV : Impacts des rejets de dessalement sur l'environnement

Figure IV.1 : Etat initial pas de rejet de saumure.(LOUNNAS .S)

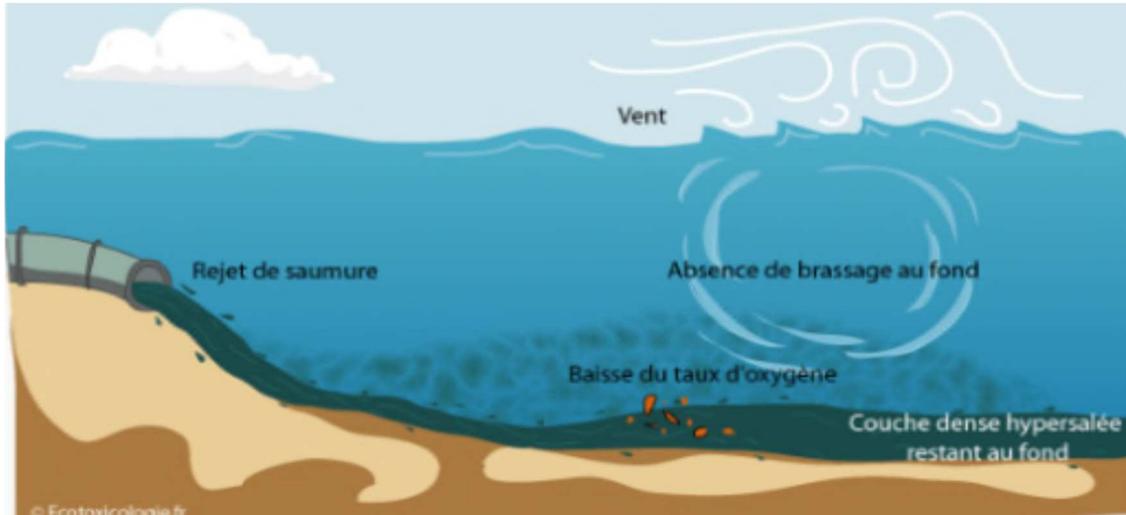


Figure IV.2: Etat du milieu après implantation de l'usine de dessalement (rejet de saumure).(LOUNNAS .S)



Figure IV.3. : Images des échinodermes marins .(SPA Alger, janvier 2009).

IV.3.4. Impacts de salinité Sur la qualité de l'eau du milieu récepteur

La concentration élevée de salinité entraîne une augmentation de la turbidité de l'eau. Ce genre de pollution est probable à empêcher la pénétration de la lumière, et perturbe le Processus de photosynthèse. L'effluent de saumure contient des substances dissoutes concentrées provenant de l'eau de mer, son poids spécifique élevé lui fait couler au fond de mer et empêchera son mélange, de ce fait créant un désert de sel à proximité du canal de décharge. (RACHID MIRI, ABDLWAHAB CHOUIKHI, 2005)



Figure IV.4 : herbier de posidonies de Méditerranée. [1]

La forte teneur en sel du concentré rejeté avec l'osmose inverse risque de porter préjudice aux bancs de Posidonie classés habitat prioritaire par la directive Européenne pour la conservation des habitats de la faune et de la flore. [1]

« **Herbier de posidonies** » : Une plante à fleurs aquatiques très sensibles aux variations du taux de salinité. Ces herbiers constituent un écosystème de premier plan en Méditerranée et exercent une fonction protectrice des littoraux contre l'érosion marine. Ces herbiers sont le refuge d'un grand nombre d'espèces animales (mollusques, poissons, crustacés etc.).

Les organismes marins	La limite de salinité
Posidonie Oceanica	Ne doit pas dépasser 40 g/l
Cymodocea nodosa	Ne doit pas dépasser 41 g/l
Caulerpa prolifera	Autour de 50-60 g/l
Zostera noltii	Ne doit pas dépasser 41g/l
Mussels	Autour de 50-70 g/l

Tableau IV.1_: les limites de la salinité pour différents écosystèmes et espèces présentes en Méditerranée. (PILAR PALOMAR and INIGO J. LOSADA ; Spain 2011)



Figure IV.5 : Caulerpe proliféra de la Méditerranée [13]



Figure IV.6 : Mussels de la méditerranée [13]

IV.3.5. Impact sur l'environnement marin en raison de différents produits chimiques utilisés (JAIME SADHWAMNI JOSE M. VEZA ; CARMELO SANTANA, 2005).

En plus de la concentration élevée des sels, la saumure déchargée contient de divers produits chimiques utilisés dans l'étape de prétraitement et de post-traitement de l'unité de dessalement :

IV.3.5.1 Effets dus aux produits de la corrosion

Les usines de dessalement par distillation rejettent des métaux tels que le cuivre, le nickel, le chrome et 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 suspensions 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 pas atténuer les effets en diluant le rejet.

IV.3.5.2. Effets dus à l'additif antitartre

Les produits utilisés contre l'entartrage sont les phosphates polymères. Dans une zone marine oligotrophe comme la mer méditerranée, le rejet de ces produits peut avoir des effets drastiques tels que des efflorescences algales, des proliférations d'algues macroscopiques, etc. Ces dernières années, les agents antitartre les plus utilisés ont été les polymères de l'acide maléique pour empêcher l'apparition d'effets eutrophisants.

CHAPITRE IV : Impacts des rejets de dessalement sur l'environnement

IV.3.5.3. Effets des additifs antiscalure

Si le chlore est un agent antiscalure 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 halogénant les constituants organiques de l'eau de mer.

IV.3.5.4. Effets des additifs antimousses

Les agents antimousses sont des détergents. Les détergents ont des effets nocifs sur les organismes en altérant le système membranaire intracellulaire

Phases	Objet	Produits chimiques ajoutés	Devenir des Produits
Ajustement du pH	-Diminue la concentration de carbonate. -protège la membrane contre l'hydrolyse.	Acide (H^2SO_4)	-Modifie le pH de l'eau brute et de la saumure ; Le sulfate est retenu dans la saumure concentrée.
Antitartre	-Prévient la formation de tartre sur les membranes	Agents chélateurs et dispersants	-Les complexes formés sont retenus dans la saumure concentrée
Coagulation - Flocculation	-Prévient les salissures et l'encrassement des membranes	Coagulants - Flocculants	-Les agents flocculants formés se séparent par décantation et sont éliminés par filtration.
Désinfection	-prévient l'encrassement biologique ; - Elimine-les microorganismes qui se nourrissent des matières des membranes.	Chlore (ou biocide, UV)	-Chlore également répartie dans le perméat et la saumure concentrée.
Décoloration	-Protéger les membranes sensibles au chlore	Bisulfite de sodium ou charbon actif granulaire (CAG)	Réagit avec le chlore pour former du sulfate et du chlorure

CHAPITRE IV : Impacts des rejets de dessalement sur l'environnement

			qui sont retenus dans la saumure.
Oxygénation	-Accroît l'oxygène dissout à un niveau concourant au développement de la flore et de la faune aquatique.	Aération	Accroît l'oxygénation dans la saumure concentrée.
Élimination d'autres formes chimiques.	-Diminue tous les Polluants susceptibles d'être présents dans l'eau brute.	Est fonction des formes chimiques	-Les complexes formés sont retenus dans la saumure concentrée

Tableau IV.2 : Résumé des phases de la production d'eau potable par OI et devenir des Produit utilisés (M. BESSENASSE¹ – A.GUENDOZ²).

IV.3.6. Rejet des eaux de lavage à contre-courant des membranes dans les usines OI

Dans les usines d'osmose inverse, le nettoyage des membranes peuvent engendrer des eaux potentiellement dangereuses. Les membranes doivent être nettoyées à des intervalles de trois à six mois en fonction de la qualité de l'eau d'alimentation et du fonctionnement de l'usine. Les formulations utilisées pour le nettoyage des membranes sont habituellement des solutions alcalines ou acides aqueuses. Ces produits chimiques sont normalement épurés avant leur rejet dans la mer. (PNUE, 2001) et (MABROOK, 1994)

IV.3.7. Impact de bruit

Une usine de dessalement d'eau de mer par osmose inverse est une usine bruyante. En général ce bruit est produit par des pompes à haute pression et par les turbines utilisées pour la récupération d'énergie. (Z.A SABRI, G.P LAGGAN and R.HAGENSON, 1980). Le niveau de bruit est plus de 90 dB (dB : Décibels (unité de mesure le bruit), ce qui cause des difficultés de vivre à côté d'une usine pareil. Donc, l'usine devrait être située loin des secteurs peuplés et être équipée de technologie acoustique appropriée pour réduire le niveau de bruit. (R. EINAV, K. HAMSSIB et D. PERIYB, 2002).

IV.3.8. Pollution sonore

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

CHAPITRE IV : Impacts des rejets de dessalement sur l'environnement

IV.4. L'impact de rejet de la station de dessalement de l'eau de mer de Fouka sur l'environnement

IV.4.1. Introduction

Afin de connaître et évaluer l'impact de la station de dessalement de l'eau de mer de Fouka sur le milieu récepteur, nous avons basé sur des études effectuées dans des projets de fin d'étude de (RACHEDI IMEN et ZERDOUD WASSILA, NAFAI ASMA et RAMDANE NAWEL), thèses de doctorat (MOURAD AMITOUICHE) de et sur des articles scientifiques (REMINI B. et LEFEKIR H. ce qui m'a amené à une recherche bibliographique approfondie pour améliorer le thème de mon projet.

IV.4.2. Caractéristiques de la saumure

Le tableau IV.3 : présente les résultats des analyses physico-chimiques de la saumure, effectuées à la sortie des quatre stations de dessalement (coté rejet). (REMINI .B. AMITOUICHE .M, LEFKIR .A)

Essais Paramètres	Unité	Station de Cap Djinet (Boumerdes)	Station Hamma (Alger)	Station Fouka (Tipaza)	Station Mostaganem
PH		7.98	7.95	6.90	7.45
Conductivité	ms/m	95.3	95.00	94.9	94.8
Turbidité	NTU	0.40	0.35	0.39	0.37
TDS	g/l	66.71	66.00	65.5	66.3
Ammonium	mg/l	00	00	00	00
Nitrite	mg/l	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
Nitrate	mg/l	15	12	10	14
TA	°F	00	00	00	00
TAC	°F	15	14	14.5	14
Bicarbonates	mg/l	150	140	145	144
HCO ₃		1340	1430	1390	1410

CHAPITRE IV : Impacts des rejets de dessalement sur l'environnement

TH	°F	300	285	310	302.5
Calcium	mg/l	940	945	930	934
Magnésium	mg/l	20800	20700	20750	20680
Chlorures	mg/l	0.02	0.01	0.01	0.02
Chlore totale	mg/l	0.03	0.02	0.02	0.03
MES	mg/l	13.3	13.2	14	12.9
Potassium K⁺⁺	Mg/l	850	842	890	838
Fe⁺⁺⁺	mg/l	0.045	-	-	0.043
Fe⁺⁺	mg/l	0.05	0.06	0.09	0.07
Résistivité	ms/m	10.5	11	10.8	11.5
O₂ dissués	mg/l	9.25	9.27	9.00	9.15
Sulfate SO₄⁻²	mg/l	5930	5900	5820	5880
Residus sec 180°	g/l	65.14	64.5	65.75	64.95

IV.4.3. Quantification des rejets de la Saumure de la station de dessalement de l'eau de mer de Fouka dans le milieu marin

Note :

- Pour la méthode des calculs ; on a pris le taux de conversion $Y=45\%$ pour tous les stations en Algérie.

Applications numériques :

- **Exemple de la station de dessalement de Fouka (Tipaza)**

$Y = 45\%$

Q entrée : 266666 (m³/j)

$$\rightarrow Q \text{ saumure} = Q \text{ entrée} - Q \text{ perméat}$$

Q perméat: 200000 (m³/j)

Q saumure = 266666 - 200000 (m³/j)

Q saumure = 66666 m³/j.

CHAPITRE IV : Impacts des rejets de dessalement sur l'environnement

IV.4.4. La quantité journalière des sels (cas de station de Fouka)

[TDS] : d'eau de mer = 39.03 g/l

[TDS] : de la saumure = 65.5 g/l

[Sels excédentaire] = 65.5- 39.03 (g/l)

[Sels excédentaire] = 26.47 g/l

[Sels excédentaire] journalière = [sels excédentaire] Kg/l * Q_{saumure}(l/j)

[Sels excédentaire] journalière = 26.47 * 10⁻⁶*66666 * 1000

[Sels excédentaire] journalière = 1764.64902Kg/j

[Sels excédentaire] journalière = 4834.7848268571ton/an.

- La même chose pour les quantités des différents éléments chimiques de la station de dessalement de Fouka (Tipaza) Algérie.

La Station de dessalement de Fouka (tipaza)	
Les éléments chimiques	Les quantités journalières
Ca ⁺² (kg/j)	10216
Mg ⁺² (kg/j)	12617.6
Chlorure cl ⁻ (kg/j)	2023003
Chlore libre (kg/j)	2.93
Chlore total (kg/j)	2.93
K ⁺ (kg/j)	82002
Fe ⁺² (kg/j)	4.399
Fe ⁺³ (kg/j)	4.399
SO ₄ ⁻² (kg/j)	630986

Tableau IV.4 : Les quantités journalières des différents éléments chimiques rejetées par la station de dessalement de Fouka (Tipaza)

CHAPITRE IV : Impacts des rejets de dessalement sur l'environnement

IV.5. Impacte de rejet de la station de dessalement de l'eau de mer de Fouka sur le milieu récepteur(milieu marin) .

➤ IV.5.1. Les variations des parametres physicochimiques

Etude N°01

Paramètres	T (C°)		S (psu)		MES (mg/l)		TDS (g/l)	
	1m	Profondeur	1m	Profondeur	1m	profondeur	1m	Profondeur
Moyenne	18.69	17.90	36.48	36.68	202.41	211.82	39.89	40.78
Maximum	19.30	18.90	36.60	37.40	494.70	478.23	41.60	42.44
Minimum	18.20	17.10	36.30	36.40	29.41	34.70	37.13	39.08

Tableau IV.5 : la variation de quelques paramètres physico- chimique pour l'étude N°1

Etude N°02

Paramètres	T (C°)		S (psu)		OD (mg/l)		TDS (g/l)	
	1m	Profondeur	1m	Profondeur	1m	profondeur	1m	Profondeur
Moyenne	21.49	21.27	35.90	36.99	7.07	5.58	38.56	38.66
Maximum	22.4	22.7	36.30	36.80	7.37	6.49	39.66	39.52
Minimum	21	20.9	35.20	35.40	6.63	5.08	36.97	37.50

Tableau IV.6 : la variation de quelques paramètres physico- chimique pour l'étude N°2

Etude N°03

Paramètres	Profondeur	T (C°)	S (PSU)	Profondeur	O ₂ (ppm)	Profondeur
Moyenne	1m	19.71	37.1	1m	3.07	1m
Maximum	1m	20.13	36.88	4m	3.37	1m
Minimum	1m	19.30	37.32	2.5m	2.77	1m

Paramètres	Conductivité (ms/cm)	Profondeur (m)	PH	Profondeur (m)
Moyenne	50.48	2.5m	8.24	2.5m
Maximum	50.71	1m	8.32	1m
Minimum	50.26	4m	8.16	4m

Tableau IV.7 : la variation de quelques paramètres physico- chimique pour l'étude N°3

➤ Discussion des résultats

IV.5.1.1. La salinité S (PSU)

différentes valeurs de salinités ont été enregistrées avec une moyenne de 35.90 PSU pour la 1^{er} étude, 36.48PSU pour la 2^{em} étude et 37.1 PSU pour la 3^{em} étude .

Nous avons observé l'existence de valeurs légèrement élevées dues aux rejets produits par la station qui contient un certain pourcentage des Sels (la saumure).

aussi une faible teneur en Sels dans quelques points de prélèvements, ces fluctuations sont dues aux apports d'eau douce par l'oued Mazafran et aussi à une dilution liée à la présence d'un diffuseur situé à l'extrémité de la canalisation qui sert à évacuer les effluents de la station.

IV.5.1.2. La température T (C°)

Pour la température, différentes valeurs ont été obtenues pour différents points de prélèvement. ces variations de température dues probablement aux apports d'eaux de

CHAPITRE IV : Impacts des rejets de dessalement sur l'environnement

ruissellement de l'oued Mazafran ainsi que les eaux potentiellement chaudes rejetées directement dans le milieu par la station de dessalement de Fouka(ces valeurs élevée ont été enregistrées aux point proches de la station).

IV.5.1.3. TDS

On remarque que la distribution de TDS en surface et au fond est très hétérogène.

Au fond les fortes concentrations sont observées dans les points les plus proches du la conduite de rejet de la Saumur en mer et a l'entour de l'oued Mazafan qui apporte une quantité considérable en solides dissous. On des faibles quantités dans les zones le plus proche de la station de dessalement.

Donc les teneurs du TDS en profondeur sont plus élevées que ceux en surface car les rejets de la station sont évacués vers fond.

IV.5.1.4. Oxygène dissous (OD)

La zone d'étude présente une bonne oxygénation en surface dans les trois études (forte concentration en oxygène).

Sauf les point les plus proches de prise d'eau et on observe de faible teneur en oxygène en font, la faible concentration en O₂ pourraient être dues à la présence de rejet produit par la station de dessalement dans la région et à l'utilisation des produits chimiques tels que le bisulfite de sodium (HNaO₃S) qui pourrait réduire la concentration de le oxygène dans le milieu. La zone qui présente une faible oxygénation, cela pourrait être dû à la dégradation de l'écosystème marin .

IV.5.1.5. PH

Le PH est légèrement alcalin c'est le cas de l'eau de mer, les valeurs sont conforme aux normes Algérienne.

IV.5.1.6. La conductivité

Les valeurs de conductivité varient entre une valeur maximale de 50.70 (ms/cm) et une valeur minimale de 50.26 (ms/cm) et une moyenne de 50.42 (ms/cm)

Cette conductivité relativement élevé au sein des différents points de prélèvement est lies à la concentration de l'eau de mer en sels dissous (à cause de la Saumure).

CHAPITRE IV : Impacts des rejets de dessalement sur l'environnement

IV.5.1.7. La variation des paramètres indicateurs de pollution

Paramètres	MO %		MES (mg/l)		DBO (mg/l)	
moyenne	27.38	1m	6.07	1m	14.57	1m
Maximum	69.04	1m	25.2	1m	29	1m
Minimum	13.69	1m	0.6	1m	1	1m

Tableau IV.8 : La variation des paramètres indicateurs de pollution

➤ Discussion des résultats

tous les paramètres indicateurs de pollution on a dans les tableau ci-dessus, nous avons observé une légère différence dans les valeurs de ces paramètres (MES, MO et DBO). A l'exception de certains sites qui connaissent une augmentation significative en raison de l'oued Mazafran et aussi ces concentrations relativement élevées pourraient être dues aux rejets de la station de dessalement de Fouka.

IV.5.1.8. La variation des sels nutritifs

Les sels	[NO ₃ ⁻] (μmol/l)	[NO ₂] (μmol/l)	[PO ₄ ⁻³] (μmol/l)	[SiO ₂] (μmol/l)
Maximum	0.251	0.251	0.125	3.683
Minimum	0.108	0.085	0.051	0.063
Moyenne	0.152	0.131	0.086	0.794

Tableau IV.9 : La variation des sels nutritifs

➤ Discussion des résultats

A partir de tableau ci-dessus, nous constatons que les concentrations sont élevées en orthosilicate [SiO₂], à l'inverse de celle des nitrates [NO₃], des nitrites [NO₂] et des orthophosphates [PO₄⁻³] qui sont faible. Donc les concentrations en sels nutritifs correspondent à celles des eaux méditerranées.

IV.5.1.9. La chlorophylle

Profondeur	La chlorophylle	
1m	Maximum	3.324
1m	Minimum	0.135
1m	Moyenne	0.908

Tableau IV.10 : la variation de la concentration de chlorophylle

➤ Discussion des résultats

La distribution de la concentration de la chlorophylle dans la zone d'étude FOUKA est assez irrégulière, la forte concentration est due probablement à la forte biomasse phytoplanctonique.

(Les résultats montrent que les concentrations de ce dernier ne sont pas importantes).

IV.5 2.Impact de la station de dessalement de FOUKA sur le biote (organismes marins)

Les rejets de saumures issues d'usines de dessalement de l'eau de mer peuvent entraîner des modifications locales de la salinité au point de rejet et la création d'un gradient de salinité dont l'amplitude et l'étendue dépendent des conditions topographiques et hydrodynamiques du site. De tels rejets peuvent entraîner des conséquences non seulement physiques (modification de la densité de l'eau notamment au point source, création éventuelle de lentilles de saumures, modification de la solubilité de l'O₂, etc.) mais aussi biologiques compte tenu des limites de tolérance des espèces du site (modification des peuplements benthiques animaux et végétaux selon leur degré d'euryhalinité, sélection/adaptation ou mortalité des composants, effets sur le plancton et les bactéries, déplacement de la faune vagile et de l'ichtyofaune selon leurs préférences osmotiques, etc.).

Pour évaluer l'impact des rejets de la station de dessalement de FOUKA sur les peuplements benthiques j'ai basé sur une étude (BELKACEM et al, 2019). Dans cette étude, ces méthodes d'analyse n'ont révélé aucun effet attribuable à un tel impact, même si des précautions ont été prises pour assurer une réplification temporelle adéquate Il se pourrait que la zone échantillonnée soit trop petite pour refléter les grandes changements affectant les communautés qui s'y trouvent (BENEDETTI-CECCHI, 2001). Cependant, les valeurs d'abondance individuelles pour les différents taxons (p. Ex. Échinodermes, mollusques) se situaient dans les fourchettes précédemment décrites pour cette même zone par d'autres chercheurs (Grimes, 2010). L'ampleur de ces variations naturelles significatives est suffisamment grande pour pouvoir masquer d'éventuelles altérations causées par la perturbation et, en tout cas, de telles altérations restent dans la gamme de la variabilité naturelle du système. Ce qui permet de conclure que la station de dessalement installée au niveau de ce site n'a pas influencée la structure du peuplement de la macrofaune benthique.

IV.6. Mesures d'atténuations des impacts sur les ressources Marines

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

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

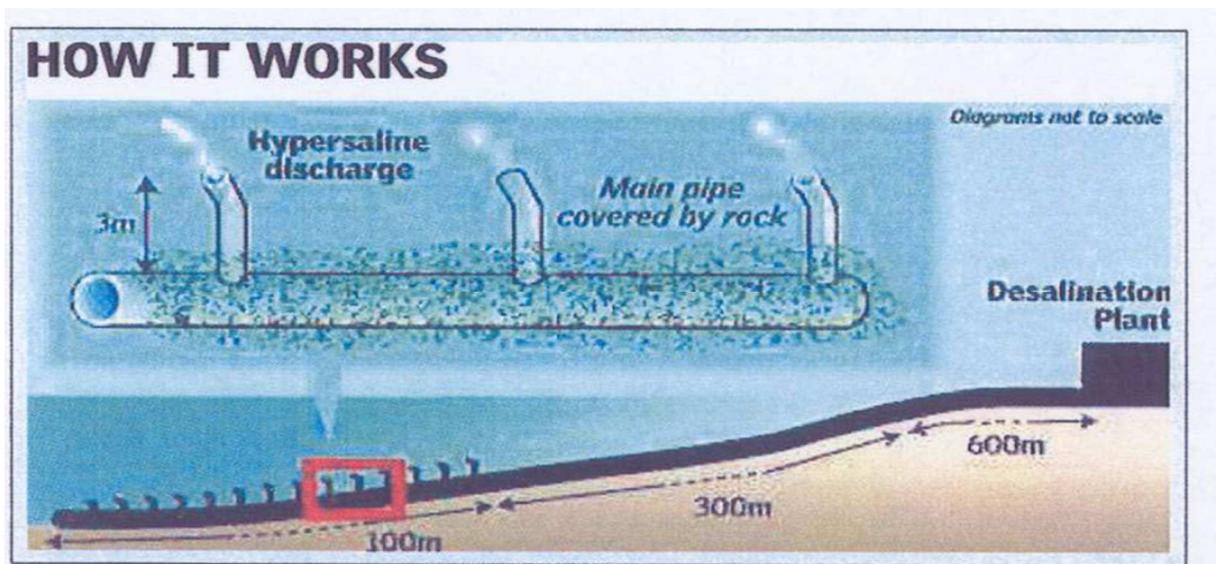


Figure VI.7 : Schéma d'un émissaire de rejet par diffusion.

CHAPITRE IV : Impacts des rejets de dessalement sur l'environnement

IV.7. Les mesures prises par la station de Fouka

- La station de dessalement de Fouka contient un réservoir d'effluent pour neutraliser le rejet ainsi un système de diffusion pour la dilution de la saumure rejetée (l'émissaire composé d'une conduite de DN1400 en PEHD).

Les caractéristiques de l'effluent à verser par l'émissaire sont celles du (Tableau VI.11).[8]

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

Tableau IV.11. : Caractéristiques de l'effluent versé par l'émissaire sous-marin de station de dessalement de Fouka.

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

- Profondeur dans la bouche de déchet : 10 m
- Diamètre bouche émissaire : 1.4 m
- La vitesse de décharge : 1,7 m/s
- Débit versé verticale: 5.638 m³/h (1,56 m³/s)
- Vitesse environnementale du courant : 5 cm/s.
- Conduite de 500 m de longueur.

IV.8. Conclusion

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

Nous pouvons confirmer que la concentration de la saumure rejetée est deux à trois fois plus élevée que celle de l'eau de mer et qu'elle contient des éléments minéraux différents de la composition initiale de l'eau brute, car le rejet contient aussi des additifs utilisés lors du prétraitement donc .D'une façon générale ,nous pouvons conclure que les effluents de la Saumure de cette station exercent des impacts négatives sur la qualité de l'eau de mer et les organisme marins .

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

Conclusion générale

Conclusion générale

Bien que le dessalement de l'eau de mer soit une industrie en développement constant dans de nombreux pays méditerranéens pour réduire le manque d'eau potable, il représente aussi une dangereuse activité qui exerce des impacts sur le milieu marin, ces impacts vont du Changement de l'occupation du sol, des conséquences esthétiques et des nuisances sonores ou des rejets rejetés dans l'eau, émissions dans l'atmosphère et dommages potentiels pour le milieu récepteur. Le principal rejet c'est la saumure qui est un polluant nocif sur la vie marine. A cet effet, la protection des zones côtières est l'un des enjeux majeurs pour notre pays qui possède une façade maritime.

Ce travail est destiné à apporter une contribution à l'étude des impacts du dessalement des eaux de mer sur l'environnement. A savoir l'évolution de la qualité de l'eau brute par un ensemble des analyses physico-chimiques effectuées au niveau de laboratoire de qualité de la station de FOUKA et l'influence de la qualité des rejets sur l'environnement.

A la lumière des résultats les valeurs acquises lors des différents tests physicochimiques de l'eau produite par l'unité de dessalement de FOUKA, on note une eau qui répond aux normes de potabilité de l'OMS ainsi que les normes Algériennes.

Les impacts causés par la station de dessalement de FOUKA, il Ya ce qui sont de la phase de construction qui leur activités peuvent modifier la composition du sol en changeant leur topographie, la circulation des engins, des véhicules et les travaux de déblais et remblais qui provoquent la difficulté de la visibilité par la suspension de poussières dans l'atmosphère et leur influence sur la qualité de l'air

Et pour la phase d'exploitation

La saumure est le liquide rejeté par la station, comparativement avec l'eau de mer présente une salinité beaucoup plus élevée (environ 40 g/l pour l'eau de mer et 75 g/l pour la saumure), ce qui l'inconvénient majeur de dessalement, et qui provoque l'extinction et la mortalité des poissons, ainsi l'influence sur la qualité de l'eau par les eaux polluées qui sont mélangées par des produits chimiques (antitartre, antisalissure) rejetée dans la mer; pour cela elles ne doit pas être rejetée dans la mer avant la neutralisée pour minimiser leur impact sur l'environnement.

Pour minimiser et prévenir les impacts potentiels de saumure sur le milieu marin on peut proposer certaines mesures :

- il est souhaitable que l'emplacement du point de rejet soit situé loin de la plage et des secteurs rocheux qui sont riches en organismes.
- Utiliser des produits chimiques moins nocifs.
- les eaux de lavage des filtres et des membranes doivent faire l'objet d'un traitement avant rejet en mer.
- Diriger les saumures vers une usine de production de sel, cette solution présentera beaucoup d'avantages environnementaux et économique.

Conclusion générale

- Des études d'impacts sur l'environnement très exhaustives doivent être imposées pour chaque projet.
- Réduction des éléments traces métalliques qui résultent de la corrosion de la tuyauterie par l'utilisation des matériaux envisageable pour le procédé de dessalement.
- D'autre part, il est aussi important que les pouvoirs publics appliquent de manière stricte la réglementation existante en matière de protection de l'environnement et que les responsables des stations veillent scrupuleusement au contrôle de la qualité des produits rejetés.

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

Références bibliographiés

ALAIN MAUREL : « Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres et autres procédés non conventionnels d'approvisionnement en eau douce », édition technique & Documentation, 2001)

ALAIN MAUREL : « Dessalement d'eau de mer et d'eau saumâtre », 1ère édition : 2006)

ANO AUR RICH: Youssef Mandri, « Dessalement des eaux marines et saumâtres par congélation», Mars 2017)

AMITOUCH.A : these de doctorat en science en hydraulique (2016)(impact des rejets de station de dessalement sur le milieu récepteur).Bikra.

ASHWANI KUMAR, Y.H. Zurigat, V.V.R : in, The Middle East Desalination Research Center Muscat, Sultanate of Oman,(2004).

BELKACEM.Y et AL : (2019 Impact of Desalination Discharges on the Benthic Macrofauna Case Study: ALGERIA) article Journal of Applied Environmental and Biological Sciences

BERLAND.M ET JUERY .C : « Les procédés membranaires pour le traitement de l'eau », office International de l'eau SNIDE, Décembre 2002.

BESSENASSE .M – GUENDOZ .A : (ALGERIE EQUIPEMENT n° 50)

- ¹ Université SAAD Dahleb (BLIDAA)

² Université SAAD Dahleb (BLIDAA)

BOYE H : Eau, énergie dessalement et changement climatique en méditerrané .Plan bleu centre d'activité régional, conseil général du l'environnement et du développement durable (2008).

BRUN J.P : « procédés de séparation par membranes » ; MASSON ; 1989

Bureau d'étude National Eau et Environnement .SPA Alger, janvier 2009).

BUSHNAK, A : (2012), Évaluation des meilleures technologies disponibles pour le dessalement en zones rurales/locales. Rapport final, Gestion Intégrée Durable de l'Eau – Mécanisme de Soutien (SWIM - SM)

CAMILLE SAGNE : « étude des mécanismes de transfert de molécules organiques en osmose inverse », thèse doctorat, institut des sciences et industries du vivant et de l'environnement Agro Paris Tech, 24 avril 2008).

CHATKAEW TANSAKUL :« Procédés hybrides à membranes pour le Prétraitement d'eau de mer avant dessalement par osmose inverse», thèse doctorat, 13 novembre 2009).

CHEKROUD.M : (2014).Etude des performances de la station de dessalement de la Wilaya de Skikda, Thèse pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'Etat en hydraulique, ENSH, Blida, 104P.

Références bibliographiés

CHENAOUI B : (2010). Dessalement de l'eau de mer à la station de MAINIS et son impact sur l'environnement. Séminaire Ouargla. Université de Chlef.

D. A. E : (2005).

DANIS P, (2003), Dessalement de l'eau de mer. Techniques de l'Ingénieur, traité Génie des procédés, J2 700

EINAV.R ; HAMSSIB.K et PERIYB.D «The footprint of the desalination processes on the environment» Desalination. Vol 152 p 141-154, 2002).

EINAV.R and F. LOKIEC : «environmental aspects of a desalination plant in Ashkelon»; desalination», (2003)

ERIC DAINI « de l'eau salée à l'eau potable, analyse et synthèse de document scientifique, lycée Paul Cézanne).

FAO. (2008). Food agency organization. www.cieau.com.

Francis Albared FS. Géoscience : d'après Francis Albared professeur à l'école normale supérieure de Lyon news groups : FS. Géoscience.)

HUSSEIN ABAZZA : CONSIDÉRATIONS ÉCONOMIQUES CONCERNANT L'APPROVISIONNEMENT EN EAU PAR DESSALEMENT DANS LES PAYS DU SUD DE LA MÉDITERRANÉE, 2012).

JAMALY. S et AL : (2014), A short review on reverse osmosis pretreatment technologies, Desalination volume 354, 1 December 2014, Pages 30–38.

JAIME SADHAWANI ,JOSE M.VEZA et CARMELO SANTANA : « Case studies on environmental impact of seawater Desalination » ; Desalination Vol.185,(2005))

JEAN S.D –CHRISTOPHE REMIGY : Filtration membranaire (OI, NF, UF) Présentation des membranes et modules, Techniques de l'ingénieur ed., 2007)

JEFFERSON T.A et WEBBER M.A «Mammifères marins du monde, centre d'expertise d'identification taxonomique ETI/FAO», 1996.

LOUNNAS .S : projet de fin d'étude(impact du dessalement sur l'environnement; 2010)

MABROOK. B : (1994), Environmental impact of waste brine disposal of desalination plants, Red Sea, ÉGYPTE. Desalination, Vol. 97, pp.453-465.

MARORIE GAVACH « Détoxification de condensats de distillerie par osmose inverse

Références bibliographiés

échange d'ions et leur combinaison Application au recyclage en fermentation alcoolique », thèse de doctorat,(27 mai 2010).

MEGHERFI YUCEF ET KHARROUBI HOUSSEYN: projet fin d'étude : (suivi d'une chaine de dessalement de production d'eau potable station de dessalement de fouka)

MESLEK FOAUD ,(2014) : impact des rejets de station de dessalement sur l'environnement cas de SEM DE FOUKA .

MERICQ ,J.P.(2009), Approche intégrée du dessalement d'eau de mer : distillation membranaire sous vide pour la réduction des rejets salins et possibilités de couplag.

MONIQUE et HENRY :(2002) : étude générale sur dessalement de l'eau de mer 2002

MUSSEAU .F, Article, URL[http://eau.apinc.org/spip.php? article510](http://eau.apinc.org/spip.php?article510), Libération du 8 Aout, 2007.

NAFAI ASMA et RAMDANE : projet fin d'étude (suivi des solides dessous au voisinage de la station de dessalement de FOUKA marine 2016).

NEE :(National Eau et Environnement étude d'impact sur l'environnement de la réalisation et l'exploitation de l'usine de dessalement d'eau de mer de FOUKA).

Nicos X. Tsiourtis, « Desalination and the environment »; Desalination, Vol.141, pp : 223-236, (2005)

NICOS X. TSIOURTIS, « Desalination and the environment »; Desalination ,Vol.141, pp : 223-236, (2005)). e avec l'énergie solaire . thèse de doctorat de l'université de Toulouse.

NISAN.S : «Dessalement de l'eau de mer par les réacteurs nucléaires » (2007) pdf
Spiegler, K.S. & El-Sayed, Y.M., (2001). The energetics of desalination processes. Desalination, 134(1-3), pp.109-128. Available at:

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0011916401001217>

NRC (2008): Desalination: A National Perspective, Committee on Advancing Desalination Technology, Water Science and Technology Board, Division on Earth and Life Studies, National Research Council of the National Academies

PATIER X. & BLANCHON D. (2010). Documentation photographiques. 8078. L'Eau, une ressource menacée ; La documentation Française. Paris. 63p.(2010)

PHILIPPE APTEL, «Techniques de l'ingénieur », (OI, NF, UF) application en traitement des eaux, W4120- (2-3)

PILAR PALOMAR and INIGO .J et LOSADA; « Impacts of Brine Discharge on the Marine Environment. Modelling as a Predictive Tool » ; Environmental Hydraulics Institute "IH Cantabria", (Universiade de Cantabrie) Spain 2011)

Références bibliographiés

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

RACHEDI IMEN et ZERDOUD WASSILA : projet fin d'étude (effets des rejets de la saumure de la station de dessalement de FOUKA sur la qualité des eaux .2015/2016)

RACHID MIRI et ABDELWAHAB CHOUIKHI; « Ecotoxicological marine impacts from seawater desalination plants » ; Desalination, Vol. 182, (2005)

REMINI B, AMITOUCHE M, LEFKIR A : (REJETS CHIMIQUES DES STATIONS DE DESSALEMENT EN ALGÉRIE DANS L'ENVIRONNEMENT MARIN, 2017)

SABRI Z.A, LAGGAN G.P and R.HAGENSON : «Safety and Environmental impact of fossil fouled desalination plants». Vol 1 p 99,(1980).

TAIBI SARAH : ETUDE DES PERFORMANCES DE LA STATION DE DESSALEMENT DES EAUX DE MER PAR OSMOSE INVERSE DE FOUKA WILAYA DE TIPAZA (2015).

TILAK GULLINKALA et DIGMAN B , « desalination reverse osmosis and membrane distillation », Département de chimie et environnement l'université de Toledo, OH 43606-3390, USA, 2010).

TINYURL : « commission européenne- Energy& Transport : figures and main facts », (2007).

UNEP/MAP (2003), dessalement de l'eau de mer en méditerranée évaluation et lignes directrices, MAP Technical Reports Series No. 139, Athens.

VALLIRON .F, « Gestion des eaux: alimentation en eau d'assainissement », presses de l'école nationale des ponts et chaussés, Paris, 1989.

VIVIANE RENAUDIN : « le dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres »,CNRS, Nancy, (2003)

ZAMICHE.S, présentation du projet de dessalement de FOUKA, 2014).

YAN YUELU ,YANG D H : « optimum design of reverse osmosis system under different feed concentration and product specification » journal de science membranaire 287 ,219-229 ,(2007).

[1]: <http://www.ecolife.fr> numemro (1)

[2] : www.emse.fr « brodahg » fiche9_2.

[3] : pdf sur web : Degrement, Mémento technique de l'eau, Degrement ed., 2005)

Références bibliographiés

[4] : document par khateb

[5] : source: Google

[6] : <http://www.lenntech.com.espanol.images-EDI>).

[7] : <http://www.larecherche.com>).

[8] : <http://www.aqutech-limogesfree.actualites-pdf>

[9] : www.plancton.fr

[10] : <http://www.impactdu-dessalement.fr/pdf/>

[11] : source: google earth

[12] : www.A.D.E.dz

[13] : <http://animal.memozee.com/view.php?tid=3&did=11552>

Annexe

Annexe I. 1

T=25°C-Valeur en mg/litre		
Nom	Formule	Eau de mer naturel
Elément majeurs		
Chlore	Cl ⁻	19497
sodium	Na ⁺	11049
Sulfate	SO ₄ ²⁻	2750
Magnésium	Mg ²⁺	1318
Calcium	Ca ²⁺	422
Potassium	K ⁺	108
Brome	Br ⁻	67
Strontium	Sr ⁻	8.1
Borates	Bo ₃ ⁻	25.3
Fluor	F ⁻	1.3
Eléments traces		
Lithium	Li	0.14
Silicium	Si	0.14
Rubidium	Rb	0.12
Iode	I(I ,IO ₃)	0.06
Barium	Ba	0.01
Molybdène	Mo	0.01

Annexe

Vanadium	V	0.002
Aluminium	Al³⁺	<0.001
Zinc	Zn²⁺	<0.001
Cuivre	Cu(74% CuCO₃)	<0.001
Fer	Fe²⁺	<0.001
Nickel	Ni²⁺	<0.001
Chrome	Cr³⁺	<0.001
Manganèses	Mn²⁺	<0.001
Cobalt	Co	<0.001
Argent	Ag⁺	<0.001
Plomb	Pb²⁺	<0.001

Annexe I. 1: composition de l'eau de mer d'une salinité standard

Annexe

Annexe I.2

Paramètres	Normes	OMS	Algériennes	Algériennes
	Unité		NG	CMA
PH	-	7-8.5	6.5-8.5	-
Température	°C	25	<25	-
Dureté total	mg/l CaCo ₃	100	100	100
Oxygène	mg/l	5	-	-
Dissouts				
Conductivité	µs/ à 20°C	-	-	2800
Résidu sec à 105°C	mg/l	-	500	2000
Turbidité	NTU	<5	-	-
NH ₄ ⁺	mg/l	0	0.05	0.05
NO ₃ ⁻	mg/l	50-100	-	50
NO ₂ ⁻	mg/l	-	-	0.1
PO ₄ ⁻³	mg/l	-	-	0.5
H ₂ S	mg/l	0.05	-	0.02
Composes phénols	mg/l	0.001	-	0.002
THM	mg/l	-	-	-
Couleur	-	-	-	25
Matières dissouts	mg/l	500	-	-

Annexe I.2 : Normes physico-chimiques de l'eau potable

Annexe

Annexe I. 3

Paramètres	Normes	OMS	Algériennes	Algériennes
	Unité		NG	CMA
Al ³⁺	mg/l	-	-	0.2
Fe ²⁺	mg/l	0.1	-	0.3
Zn ²⁺	mg/l	5	-	5
Cu ²⁺	mg/l	0.05	0.05	1.5
Cr ³⁺	mg/l	0.05	-	0.05
Hg ²⁺	mg/l	0.001	--	0.001
Pb ²⁺	mg/l	0.01	--	0.05
CN ⁻	mg/l	0.05	--	0.05
Se	mg/l	0.01	-	0.01
Ag ⁺	mg/l	-	-	0.05
NI ²⁺	mg/l	-	-	-
F ⁻	mg/l	0.6-1.7	0.3	2
Mn ²⁺	mg/l	0.05	-	0.5
Ca ⁺²	mg/l	75	75	200
Mg ²⁺	mg/l	30-125	50	150
So ₄ ⁻²	mg/l	250	200	400
Cl ⁻	mg/l	250	200	500
k ⁺	mg/l	10	-	20
Na ⁺	mg/l	-	-	200
As	mg/l	0.05	-	0.05

Annexe

Cd²⁺	mg/l	0.01	-	0.01
------------------------	-------------	-------------	----------	-------------

Annexe I. 3 : Normes physico-chimiques de l'eau potable

Annexe

Annexe IV .1

Impacts	D'origine d'impact	D'egré d'impact
-Pollution thermique Réduction de l'oxygène dissous dans les eaux réceptrices, -Effets nocifs pour les espèces thermorésistantes	saumure chaude	M
		M
-Salinité accrue Effets nocifs pour les espèces résistantes aux sels	saumure concentrée	M
-Désinfectants	Chlore et ses composés Réaction du chlore avec des composés organiques hydrocarbures principalement	E
-Métaux lourds	Corrosion du matériel de l'usine	M
-Produits chimiques : -Eutrophisation des eaux réceptrices - Toxicité Hausse du pH	-Adjonction d'agents Anticorrosion et antitartre	E
		E
		F
-Pollution atmosphérique - Pluies acides -Effet de serre -Poussières	Utilisation de combustibles et activités d'élimination	F
		M
		M

Annexe

chez les animaux aquatiques	d'excavation et de dragage	M
Bruit	Activités de construction -Pompes et autres appareils au cours de l'exploitation de l'usine	F

E : Impact de degré élevé

M : de degré moyen

F : de degré faible

Annexe IV.1: Grille d'impacts néfastes sur l'environnement associés aux procédés de dessalement. (PNUE , 2001)

Annexe III.4

ANALYSE VOLUMETRIQUE du «T.A » et du « T.A.C »



Figure D : détermination de TA et TAC.

Remarque : L'échantillon doit être analysé le plus rapidement possible après son Prélèvement

- 1- Agiter délicatement le flacon de HCL 0,02 N.
- 2- Remplir la burette avec HCL 0,02 N.
- 3- Eliminer les bulles d'air contenues dans la partie inférieure de la burette en ouvrant le robinet.
- 4- Agiter l'échantillon doucement.
- 5- A l'aide d'une fiole jaugée propre de 100 ml, introduire 100 ml d'échantillon dans un erlen meyer propre de 250 ml.

Annexe

- 6- Ajouter 1 goutte de $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$ 0,1 N et 3 gouttes de phénolphtaléine et puis mélanger.
- 7- Si une coloration rose apparaît, alors commencer à verser HCL goutte à goutte tout en mélangeant jusqu'à décoloration complète.
- 8- Noter le volume de burette « **V1** ».
- 9- Si il n'y a pas de coloration rose, alors « **V1=0 ml** »
- 10- Ajouter **5 gouttes de Vert de Bromocrésol** dans le même erlen meyer et mélanger, (on obtient une coloration Bleu).
- 11- Continuer à verser HCL goutte à goutte tout en mélangeant jusqu'à obtenir le début d'une coloration jaune.
- 12- Noter le volume de burette « **V2** ».
- 13- Calculer T.A et T.A.C de la manière suivante :

Calculs : T.A en mgr/l $CaCO_3$ = **V1 x 10**

T.A.C en mgr par litre $CaCO_3$ = **V2 x 10**

**MESURE DES T.D.S (Total Dissolved Solids)
ET DES M.E.S (Matières En Suspension)
REV 002-2014**



Figure E : détermination de TDS et MES

1. Peser un creuset en verre contenant une membrane filtrante en fibre de verre 0.7 μ m, soit **P0** de la masse de l'ensemble.
2. Peser un creuset vide en porcelaine d'une contenance de 250 ml, soit **P1** sa masse.
3. Placer la membrane filtrante sous le cône de filtration.
4. Vérifier le bon positionnement des robinets de la rampe de filtration.

Annexe

- 4.1. Pour l'Eau de Mer tourner le robinet 45° par rapport la position de fermeture.
- 4.2. Pour l'Eau traitée tourner le robinet 135° par rapport la position de fermeture.
5. Vider le tuyau reliant à la rampe de filtration à la fiole en verre.
6. Vérifier que la fiole en verre est vide et que son bouchon est bien fermé.
7. Mélanger énergiquement le flacon contenant au moins 1 litre d'échantillon.
8. Remplir rapidement une éprouvette en verre de 500 ml avec l'échantillon.
9. Transvaser rapidement le contenu de l'éprouvette dans le cône de filtration.
10. Mettre la pompe à vide en marche et arrêter celle-ci lorsque tout l'échantillon a été filtré, le filtrat ayant été récupéré dans la fiole en verre.
11. Mélanger le filtrat contenu dans la fiole en verre, tout en prélevant rapidement 200ml à l'aide d'une fiole jaugée de 200 ml.
12. Sans attendre, verser le contenu de l'éprouvette dans le creuset en porcelaine précédemment pesé (**P1**).
13. Introduire le creuset en porcelaine contenant les 200 ml de filtrat dans une étuve qu'on allumera, sa température étant réglée à 180°C.
14. Le creuset en porcelaine restera 12 heures à l'intérieur de l'étuve (noter l'heure d'introduction du creuset).
15. Après séchage, refroidir le creuset en porcelaine dans un dessiccateur pendant 30min.
16. Peser le creuset en porcelaine contenant les matières dissoutes, soit **P3** de sa Masse.
17. Seulement applicable à l'Eau de Mer:
 - 17.1. Rincer l'éprouvette en verre graduée de 500 ml avec environ 20 ml d'eau distillée, et utiliser cette portion pour laver le filtre. Rincer les parois internes de l'entonnoir avec un autre volume de 20 ml d'eau distillée.
 - 17.2. Si l'échantillon contient plus de 1 000 mg/l de matières dissoutes (résidus secs ou TDS) comme eau de mer, laver de nouveau le filtre avec trois volumes de 50 ml d'eau distillée. Veiller à laver le bord du filtre.
18. Retirer le cône de filtration et décoller délicatement à l'aide d'une pince la membrane filtrante que l'on déposera dans son creuset en verre d'origine.
19. Introduire le creuset en verre contenant la membrane filtrante dans une étuve dont la température est à 105°C (noter l'heure d'introduction du creuset).
20. Après 2 heures de séchage, laisser refroidir le creuset en verre contenant la membrane filtrante dans un dessiccateur pendant 15 min.

Annexe

21. Peser le creuset en verre contenant la membrane filtrante, soit **P2** de sa masse



Figure F : étuves de séchage pour les mesures de TDS et MES.

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

$$\text{M.E.S en mgr/l} = (\mathbf{P2} - \mathbf{P0}) \times \mathbf{2000}$$

$$\text{T.D.S en gr/l} = (\mathbf{P3} - \mathbf{P1}) \times \mathbf{5}$$

ANALYSE VOLUMETRIQUE DU CALCIUM « CA²⁺ »



Figure A : principe de mesure de CA⁺²

- 1- Agiter délicatement le flacon de l'EDTA 0.01 M
- 2- Remplir la burette avec l'EDTA 0.01 M
- 3- Eliminer les bulles d'air contenues dans la partie inférieure de la burette en ouvrant le robinet
- 4- Agiter l'échantillon doucement

Annexe

- 5- A l'aide d'une fiole jaugée propre de 50 ml, introduire 50 ml d'échantillon dans un erlen meyer propre de 250 ml
- 6- Ajouter 2 ml de NaOH 2 N à l'aide de la pipette en plastique propre
- 7- A l'aide de la spatule, ajouter un peu de murexide jusqu'à obtenir une coloration bien rose
- 8- Mélanger le tout et commencer à verser l'EDTA goutte à goutte tout en mélangeant énergiquement jusqu'à la coloration violette
- 9- Noter le volume « V » de burette et calculer la concentration en calcium à l'aide de la formule suivante :

Calculs : Concentration en **calcium** en mgr par litre = V x **8.016**

Concentration en **calcium** en mgr par litre CaCO₃ = V x **20.04**