

**Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
Centre Universitaire BELHADJ Bouchaib d'Ain-Temouchent**



Faculté des Sciences et de Technologies

Département des Sciences de la Matière

Master 2

Spécialité : Chimie Macromoléculaire

L'autopsie des membranes d'osmose inverse relève (SWC5-MAX)

(Prélevée de l'unité de dessalement de chatt –el-hillal Beni Saf)

Réalisé par:

M^{elle} :BOUAZZA Laichouche.

M^{elle} :KHALLADI Hiba Raouia.

Devant les jurys composé de :

Président de jury

M.BELARBI Lahcene

Examineur Mme. BERRICHI Amina

Encadreur Mr. BOUSSALEM Smain

Année université :2023-2024

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Résumé :

L'objectif de ce travail est d'effectuer une autopsie sur la membrane de la station de dessalement d'eau de mer par osmose inverse de Chatt El Hillel qui est située au niveau de la Wilaya de Ain Témouchent sur la base de données qui nous ont été fournies par la station sur des mesures effectuées sur les paramètres hydrauliques et physico-chimiques de l'eau produite. Le teste effectuée sur la membrane relève un endommagement via le teste bleu Méthylène.

Cependant les analyses bases sur la microscopie électronique (**MEB**), la diffraction de l'énergie (**EDX**), la diffraction des rayons X, la spectroscopie infrarouge (**IR**).

Mots de clés : osmose inverse, membrane **SWC5-MAX**, **autopsie**.

Abstract :

The objective of this work is to carry out an autopsy on the membrane of the reverse osmosis seawater desalination station of Chatt El Hillel which is located in the Wilaya of Ain Témouchent on the basis of data which we were provided by the station on measurements carried out on the hydraulic and physico-chemical parameters of the water produced. The test carries out damage to the membrane using the Methylene blue test.

However, analyzes based on electron microscopy (BEM), energy diffraction (EDX), X-ray diffraction, infrared spectroscopy (IR).

Keywords: reverse osmosis, membrane, SWC5-MAX, autopsy,

الملخص :

الهدف من هذا العمل هو إجراء تشريح لغشاء محطة تحلية مياه البحر بالتناضح العكسي ، شاطئ الهلال الواقعة بولاية عين تموشنت على أساس المعطيات التي قدمتها لنا المحطة بناء على القياسات التي تم إجراؤها على المعلومات الهيدروليكية و الفيزيائية والكيميائية للمياه المنتجة

ينفذ الإختبار تلف الغشاء بإستخدام إختبار الأزرق الميتلين

ومع ذلك ، تعتمد على المجهر الإلكتروني (BEM) ، حدود الطاقة (EDX) ، حدود الأشعة السينية ، التحليل الطيفي للأشعة تحت الحمراء (IR).

الكلمات المفتاحية : التناضح العكسي ، الغشاء ,SWC5- MAX، تشريح .

Remerciement

*En premier lieu, nous tenons à remercier **DIEU** notre créateur, pour nous avoir donné la force, le courage et la volonté pour élaborer ce travail.*

*C'est avec une profonde reconnaissance et une considération particulière que nous remercions notre encadrant « **M. SMAIN BOUSSALEM** », pour son aide précieuse, ses conseils, sa patience, son soutien et ses efforts dont elle a fait preuve au cours de l'élaboration de ce mémoire.*

Nos remerciements vont aussi aux membres du jury pour avoir accepté d'évaluer notre travail.

*Nous remercions également « **M. M.Djellil** », « **M. Y.Houmadi** » pour leurs aide et soutien lors de la réalisation de cette étude*

*Nous présentons nos sincères remerciements et notre profonde gratitude à **M.BOUZADA Cheikh** et **M.Directeur D'exploitation M.ZOUHIRI Abderrahmane** pour son accueil avec beaucoup de gentillesse au sein de la **station de dessalement water Company de Beni Saf** et à tous les opérateurs, Croupe de la station qui nous ont aidés tout le long de notre stage.*

*Nous remercions **M.M.BELDJILALI** et **Mme.F.BAALICH** pour leur aide.*

*Enfin, nous remercions vivement tous les enseignants du département **deSciences de la Matière** pour les formations qu'ils nous ont apportés durant tout notre cursus et tous ceux et celles qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail .*

Merci

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

*A ma chère **maman** pour qui j'éprouve un grand amour et un profond respect que je tiens à lui exprimer ici de la manière la plus humble et je la remercie pour tous ses sacrifices.*

*A mon **père**, école de mon enfance, mon professeur de toujours qui a veillé tout au long de ma vie à m'encourager, à me donner l'aide et à me protéger.*

Que dieu les gardes et les protèges.

*A mes deux frères : **Mohamed** et **Sid ahmed** .*

*A mon Ancien Directrice de l'industrie « **Mme DEBLAJI Houria** » je remercie de m'avoir aidé dans ma réussite.*

*A mon Directeur de l'industrie«**QUADRIYA HABBAZ Mohamed**»je remercie de m'avoir aidé dans ma réussite.*

*A mon chef de service de l'administration et moyens « **Melle BELGMARI Kheira** »je remercie.*

A mes coulage de travail mon de la direction de l'industrie :

Mme DJABARI Razlane , Mme DAOUD Imane ,Mme BELHADJ Zouaoui.

BOUAZZA Laichouche

Dédicace

Ce modeste travail est dédié spécialement

A MA CHERE MERE

Aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour éternel et ma considération pour les sacrifices que vous avez consenti pour mon instruction et mon bien être. Je vous remercie pour tout le soutien et l'amour que vous me portez depuis mon enfance et j'espère que votre bénédiction m'accompagne toujours.

A MON TRES CHER PAPA

Le symbole de ma droiture, de sa générosité, et sa tendresse. .Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours eu pour vous.

Rien au monde ne vaut les efforts fournis jour et nuit pour mon éducation et mon bien être. Ce travail est le fruit de tes sacrifices que tu as consenti pour mon éducation.

*A ma chère sœur **RANIA** et a mes chers frères **SIDAHMED ET LOTFI** ,qui je le sais , ma réussite est très importante a leurs yeux.que dieu vous garde pour moi.*

*a mes beaux parents et a tous les membres de la famille **BOUTRA** .*

*A mon fiancé **LOTFI** ,ma source de motivation ,merci pour ton encouragement et ton soutien morale.*

*A mon trésor et ma jumelle **AMIRA**, comme les étoiles gardent leur meilleur éclat pour la nuit noire, tu illumines ma vie dans les moments les plus sombres , mon âme sœur **RAZIA** et ma douce **HADJER** ,je souhaite une vie pleine de bonheur, de joie et de réussite*

*A tous les membres de ma famille et toute personne qui porte le nom **KHALLADI**.*

A mes ami, mes enseignants et pour ceux qui m'ont donné de l'aide un jour, que dieu vous paye pour tous vos bienfaits.

Pour finir, à tous ceux que j'aime et qui m'aiment, je dédie ce mémoire.

KHALLADI Hiba Raouia.

SOMMAIRE

Résume :	
remerciement.....	
dédicace.....	
Sommaire.....	
Liste les Figues.....	
Liste des tableaux.....	
Liste des abréviations.....	
INTRODUCTION GENERALE	1

CHAPITRE I

GENERALITE SUR LE DESSALEMENT DE L'EAU

Introduction :	2
I.1. Composition de l'eau de mer :	3
I.1.1. Composition Minérale de l'eau de mer :	3
I.1.2. Les éléments traces métalliques :	4
I.1.3. Composition en gaz dissous.....	4
I.1.4. Composition organique de l'eau de mer :	4
I.1.5. Conclusion.	5
I.2. Le dessalement par osmose inverse :	6
- La distillation (le dessalement thermique) :	7
- L'osmose inverse (le procédé membranaire) :	7
I.2.1. Principe de l'osmose inverse :	7
I.2.1.2. La pression osmotique :	8
I.2.1.3. Paramètre de fonctionnement d'un système membranaire d'osmose inverse :	9
I.2.2. 4 Limitations de l'osmose inverse.	9

I.2.2.1. Colmatage par entartrage :.....	10
I.2.2.2. Colmatage par dépôt :.....	11
1.2.2.3.Le bio-colmatage.....	11
I.2.2.4. Lutte contre le colmatage :.....	12
Le prétraitement :.....	12
L'adoucissement :	12
Ajout d'acides :	12
Ajout de séquestrant :.....	13
I.2.3. Dégradation Chimique des Membranes d'osmose Inverse :.....	13
a.Effets de l'Oxydation :	13
b.Changements de pH :.....	13
I.2.4. Conclusion:.....	14

Chapitre II:

Matériels et méthodes

II.1. Description de la station de dessalement :.....	15
Captage de l'eau de mer :.....	15
Filtration mécanique :.....	16
Chloration :.....	16
La station de pompage.....	17
Prétraitement de l'eau de mer.....	17
II.1.2. Les membranes :.....	18
II.2.L'autopsie membranaire :.....	19
II.2.1. Observation visuelle externe et interne des membranes usagées :.....	20
II.2.1.1. Préparation des échantillons :.....	20
Observation visuelle interne des membranes usagées :.....	21
Contrôle interne :.....	21
II.2.1.2. Test d'intégrité:.....	22
II.2.1.3. Analyse des composés organiques par la perte en feu :.....	22
II.2.1.4 : Analyses MEB et IR.....	23

Chapitre III :
Résultats et discussions

III.1. Résultats de l'inspection visuelle :.....	25
III.1.1. Inspection visuelle externe.....	25
III.1.2. Inspection visuelle interne.....	26
Test d'intégrité :	26
Taux des cendres :	27
III.1.2.1 Résultats des analyses chimiques:.....	28
Analyse par microscopie électronique a balayage (MEB, EDX):.....	28
Résultats spectroscopie infrarouge (IR) :.....	30
Conclusion générale	33
bibliographie.....	

Liste les Figues.

Chapitre I :

Figure I-1 : Répartition de l'eau sur terre	02
Figure I-2 : Schéma de la taille des matières organiques dans l'eau de mer.....	05
Figure I-3 : Répartition des matières organiques marines.....	06
Figure 1.4: Principe de l'osmose inverse	08
Figure I-5: Colmatage par entartrage	10
Figure I-6 : Bio-colmatage des membranes	11

Chapitre II :

Figure II.1 Description de la station de dessalement	15
Figure II.2. : Schéma représentant les procédés de dessalement	16
Figure II.3. : Schéma représentant le procédé de filtration mécanique.....	17
Figure II.4 : Schéma représentant l'étape de prétraitement	18
Figure II.5 :Schéma d'une membrane en polyamide.	19
Figure II.6:Schéma d'un module spirale d'OI. I (Desclaux et Remigy, 2012)	19
Figure II.7. description des étapes de l'autopsie d'une membrane osmose inverse.....	21
Figure II.8 : Photo d'un module spirale	22
Figure II.9 : Images des différentes parties examinées de la membrane.....	23

Chapitre III

Figure III.1 : Présence des colonies de bactéries.	25
Figure III.2 : Inspection visuelle interne.	26
Figure III.3.Photos d'observation visuelle interne des membranes usagées.....	26
Figure III.4. Test de bleu de méthylène.	27

Figure III.5 : Quantification des colmatants déposés sur la membrane usagée	28
Figure III.6 : Image du microscope électronique à balayage de la membrane(MEB).....	29
Figure III.7 : Image du microscope électronique à layer (EDS)	29
Figure III.8: Spectre EDX de la membrane.....	29
Figure III.9 : spectre IR du dépôt.	31
Figure III.10 : Spectre de la membrane après raclage.....	31

Liste des tableaux

Chapitre I :

Tableau I.1:Concentration des éléments majeurs présents dans une eau de mer3

Tableau I-2.Concentration moyenne des principaux éléments traces métalliques présents dans une eau de mer (Brown et al., 1997)4

Tableau I-3 : Principaux éléments nutritifs dans l'eau de mer (Brown et al., 1997)4

Tableau I-4 :Schéma de la taille des matières organiques dans l'eau de mer5

Chapitre II :

Tableau II.1 : Caractéristiques des membranes utilisées (SWC5 MAX)20

Chapitre III :

Tableau III.1 : les résultats de l'inspection visuelle 25

Tableau III.2 : l'élément spectre EDX de la membrane 30

Liste des abréviations.

PNR : Projet Nationale de Recherche .

OMS :l'Organisation mondial de la santé.

OS (RO) :l'osmose inverse

BWC :Beni Saf Water Company

PA :Le polyamide aromatique.

NF : Nano filtration

P :Pression

T :Température.

π :la pression osmotique.

I :le nombre d'espèces d'ions constituent le soluté

C :la concentration molaire du soluté

R :la constante des gaz parfait

EDX :Spectromètre à dispersion d'énergie.

MEB :Microscopie électronique à balayage

IR :Microscopie Infrarouge.



INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Le dessalement de l'eau de mer est une méthode efficace pour lutter contre le stress hydrique dans les régions arides. Cette solution présente un fort potentiel car 40% de la population mondiale vit à moins de 100 km de la mer et 25% à moins de 25 km. Le dessalement est également une méthode appropriée pour fournir de l'eau potable dans les zones où les ressources naturelles sont affectées par la salinisation, telles que les rivières et les eaux saumâtres.

Les procédés les plus utilisés pour le dessalement de l'eau de mer sont la distillation et les techniques de purifications membranaires. Parmi les procédés de séparation membranaire, l'osmose inverse (OI) est une technique innovante qui répond aux contraintes de coûts et de productivité des sites isolés. Près de la moitié de l'eau de boisson produite mondialement à partir d'eaux salées (de mer ou saumâtre) est obtenue OI. Toutefois, les membranes sont soumises à un colmatage qui induit une diminution des performances.

Dans cette étude et fait partie d'un projet PNR dans ce contexte, les objectifs de ce travail sont orientés vers l'étude du phénomène de colmatage d'une membrane d'osmose inverse usagée (SWC5-MAX) Prélevée de l'unité de dessalement de Chatt-el-hillal Beni Saf. Il s'agit là d'une démarche qui a pour but d'accompagner la recherche de l'origine du colmatage de la membrane par la mise en œuvre d'outils d'autopsie de la membrane usagée.

- Le **premier chapitre** de ce manuscrit, consacré à une mise au point bibliographique sur le dessalement de l'eau de mer et la dégradation des membranes d'osmose inverse.
- Le **second chapitre** est consacré à la description de la station de dessalement et à l'autopsie de la membrane d'OI. Dans cette partie, nous décrivons la méthodologie suivie ainsi que leurs caractéristiques qui ont essentiellement été déterminées par spectroscopie Infra-Rouge (IR), diffractométrie de rayons X (DRX), par microscopie électronique à balayage (MEB) et par spectroscopie de rayons X à dispersion d'énergie (EDX). Cette approche expérimentale permet d'éclaircir la nature des colmatants.
- Dans un **troisième et dernier chapitre**, sera abordée la discussion des résultats obtenus.

***Chapitre I Généralité sur
le dessalement de l'eau***

Introduction :

Dans de nombreuses régions du monde, les sources d'eau douce sont inexistantes ou deviennent insuffisantes au regard de la croissance démographique ou de la production industrielle.

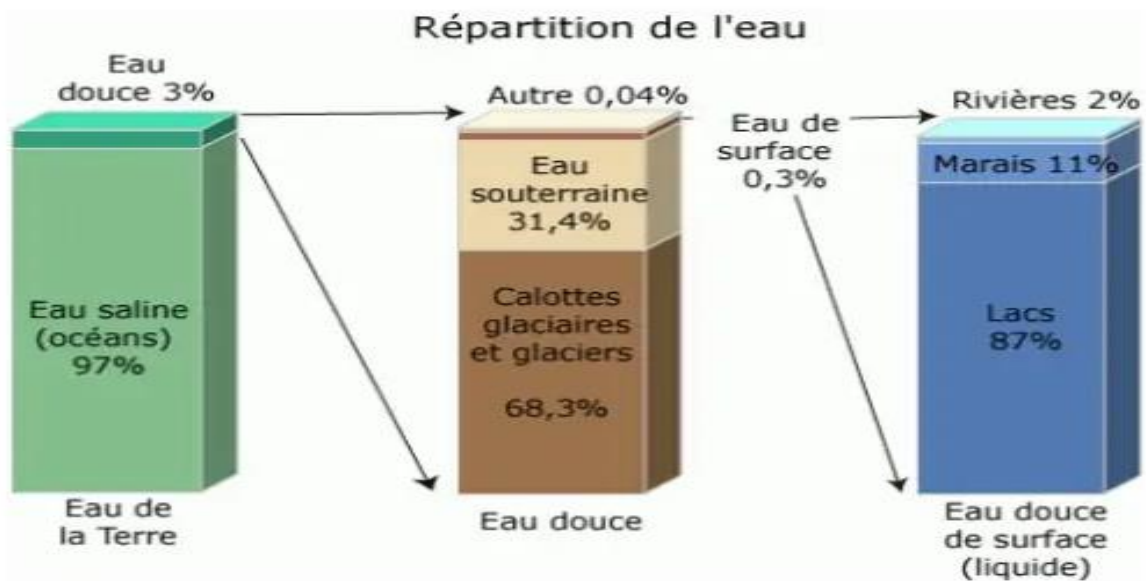


Figure I.1 :répartition de l'eau sur terre.[1]

Le dessalement de l'eau est un processus qui permet d'obtenir de l'eau potable ou de l'eau douce à partir d'une eau saumâtre ou d'eau de mer [2]. Il peut remédier à la pénurie d'eau et pourrait donc contribuer à remédier à son manque, qui fait obstacle à l'amélioration des niveaux de vie et au développement des secteurs qui en dépendent [3]. Le dessalement peut être effectué grâce à différentes technologies plus ou moins coûteuses mais reste une activité primordiale. Les techniques les plus utilisées sont la distillation et l'osmose inverse. Elles sont depuis de nombreuses années à un stade d'exploitation industrielle [2].

Chapitre I Généralité sur le dessalement de l'eau

I.1. Composition de l'eau de mer :

Le terme « eau de mer » regroupe l'eau salée des mers et des océans de la terre. Elles occupent un volume de 1340 millions de km³, ce qui représente 97 % de la capacité totale des réservoirs d'eau à la surface de la terre. L'existence des sels dans l'eau de mer modifie les caractéristiques de l'eau : par exemple la masse volumique moyenne de l'eau de mer est de $1,03 \times 10^3 \text{ kg.m}^{-3}$, supérieur de 2,5% à celle de l'eau douce (1mg/ml). Les paragraphes suivants présentent la composition de l'eau de mer : un ensemble complexe d'espèces minérales et organiques.

I.1.1. Composition Minérale de l'eau de mer :

L'eau de mer est composée d'eau et de sels, ainsi que de diverses substances en faible quantité. Si plus des deux tiers **des 92 éléments chimiques** naturels sont présents dans l'eau de mer, la plupart le sont en faible quantité et difficilement décelables. La salinité est un des paramètres les plus importants de l'eau de mer, et désigne la teneur en sels dissous.

Constituants	Concentration (mg/l)
Calcium Ca ⁺²	418
Magnésium Mg ⁺²	1330
potassium K ⁺	397
Chlorures Cl ⁻	19841
Sulfate SO ₄	2769
Bacarbonate HCO ₃ ⁻	146
Sodium Na ⁺	11035
Strontium	14
Bromures	68
Fluorures	1.4
pH	7.8-8.3
Conductivité	4-6 (ds/m)
Turbidité	<27 (mg/l)

Tableau I.1: Concentration des éléments majeurs présents dans une eau de mer (la station dessalement Chatt el Hilal - Beni Saf).

Chapitre I Généralité sur le dessalement de l'eau

I.1.2. Les éléments traces métalliques :

Les « éléments traces métalliques » (ETM) sont définis comme les éléments métalliques présents avec une concentration d'environ une partie par billion (10^{-3} mg.kg⁻¹) en masse, ou moins. Le tableau I-2 présente les principaux éléments traces métalliques dans l'eau de mer.

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

Tableau I-2. Concentration moyenne des principaux éléments traces métalliques présents dans une eau de mer [4].

I.1.3. Composition en gaz dissous.

Les gaz dissous comprennent principalement : 64 % d'azote, 34 % d'oxygène, 1,8 % de dioxyde de carbone (soit 60 fois la proportion de ce gaz dans l'atmosphère terrestre) [5].

Tableau I-3 Principaux éléments nutritifs dans l'eau de mer [4].

Eléments nutritifs	Espèces dissoutes possibles	Concentration (mg kg ⁻¹)
Azote	N ₂ , NO ₃ ⁻ , NH ₄ ⁺	11,5
Silicium	Si(OH) ₄	2
Phosphore	HPO ₄ ²⁻ , PO ₄ ³⁻ , H ₂ PO ₄ ⁻	0,06

I.1.4. Composition organique de l'eau de mer :

L'océan est le réservoir principal du carbone organique sur terre, il contient environ 10¹⁸ g de carbone [6]. Les composants organique de l'eau de mer incluent des matières en suspension, des matière organique dissoutes (MOD) et des micro-organismes . les MOD sont

Chapitre I Généralité sur le dessalement de l'eau

constituées de composés organiques dissous tels que les acides aminés, les acides gras, les sucres et les composés humiques, qui proviennent de diverses sources telles que la décomposition des organismes marins, les activités biologiques et les apports terrestres. La concentration des matières organiques dissoutes et particulaires dépend de la profondeur de l'océan : l'eau de mer surfacique a une concentration plus élevée que l'eau en profondeur [7][8].

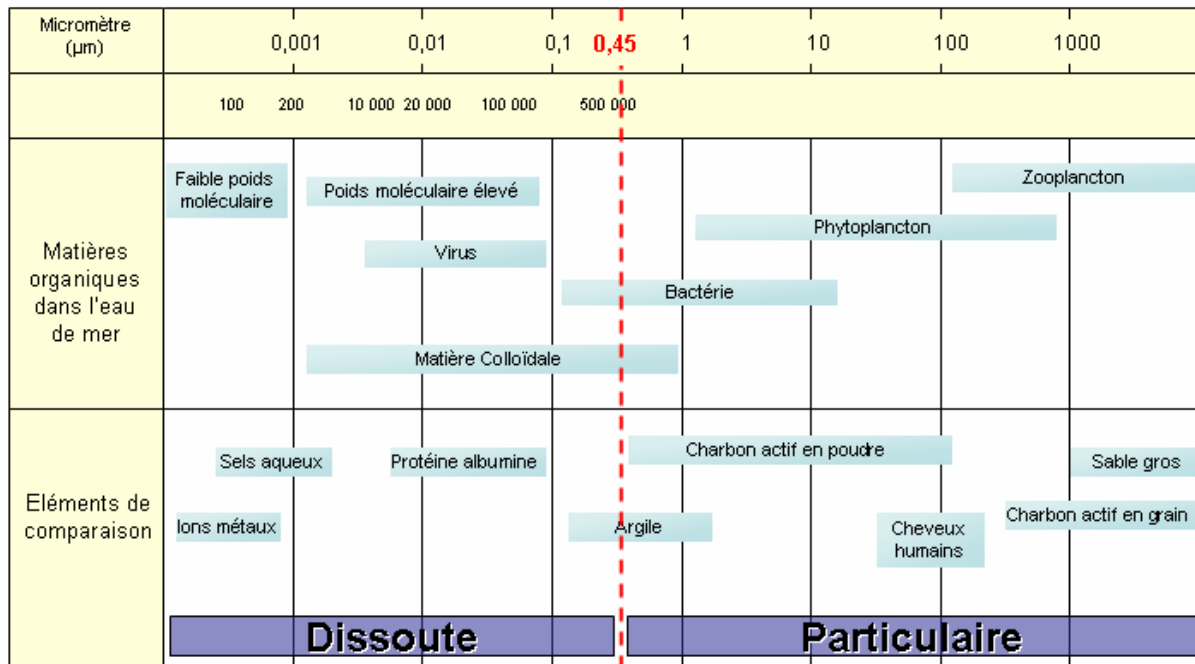


Figure I-2 : Schéma de la taille des matières organiques dans l'eau de mer

I.1.5. Conclusion.

Une eau de mer est composée à plus de 99,9 % en masse d'éléments inorganiques, dont principalement le chlorure et le sodium. La matière organique représente moins de 0,1 % de la masse totale (Figure I-4). La plupart des matières organiques marines (environ 75 %) sont sous forme de carbone organique dissous de faible poids moléculaire. Ces molécules organiques traversent une membrane de seuil de coupure supérieur à 1000 Da.

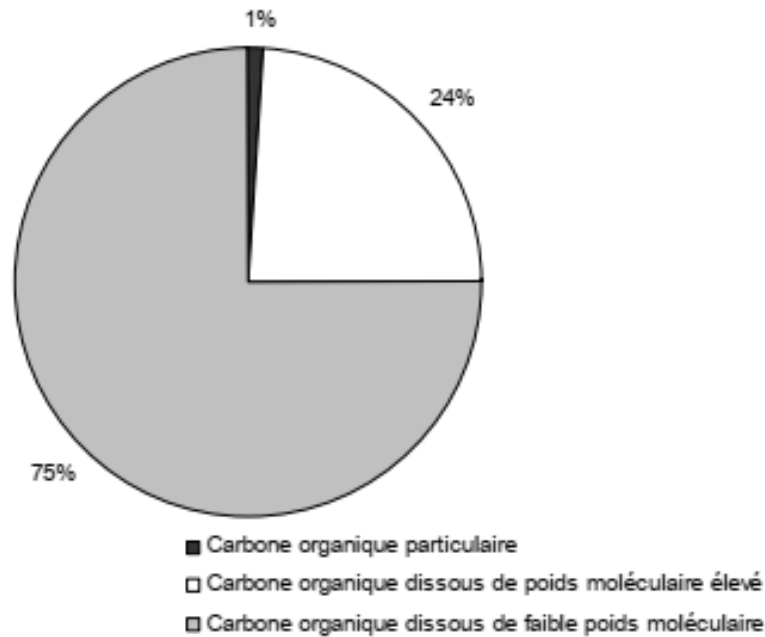


Figure I-3 : Répartition des matières organiques marines

L'origine des matières organiques dissoutes est principalement la production biologique par des planctons et des bactéries. De plus, la concentration de la matière organique dissoute dépend de la profondeur de l'eau. La matière organique dissoute présente dans l'eau de mer est essentiellement composée d'hydrate de carbone sous forme de polysaccharide, biodégradable. L'eau de mer contient aussi des éléments nutritifs utilisables pour un développement de micro-organismes.

I.2. Le dessalement par osmose inverse :

Le dessalement d'eau de mer pour la production d'eau potable permet d'augmenter les ressources en eau disponible, de fournir une solution en cas de sécheresse et de lutter contre les pénuries. D'autres avantages de l'utilisation d'eau de mer pour la production d'eau potable peuvent être évoqués par rapport aux eaux de rivières :

- Moindre consommation de produits chimiques
- Faible production de boues Cependant, le dessalement d'eau de mer présente aussi des inconvénients :
 - Une consommation d'énergie élevée
- Un coût du procédé élevé
- Un volume d'eau produite inférieure au volume d'eau de mer prélevé
- La dégradation de l'environnement marin (rejet des concentrats)

Chapitre I Généralité sur le dessalement de l'eau

Les techniques de dessalement d'eau de mer les plus utilisées sont le dessalement thermique et le dessalement par procédé membranaire :

- **La distillation (le dessalement thermique) :**

L'eau de mer est chauffée et évaporée.

les molécules d'eau s'évaporent, laissant en solution les sels et les substances contenues dans l'eau de mer, la vapeur est ensuite condensée pour donner une eau douce consommable.

- **L'osmose inverse (le procédé membranaire) :**

L'eau de mer est filtrée sous une pression élevée à travers une membrane dense. Seules les molécules d'eau traversent la membrane, les sels et les microorganismes sont retenus par cette membrane. Ce procédé nécessite cependant un prétraitement préliminaire.

A l'heure actuelle, la qualité d'eau produite mondialement par osmose inverse est supérieure à celle produite par distillation. C'est pourquoi, les spécialistes du dessalement s'accordent à dire que l'osmose inverse devrait continuer à s'imposer sur le marché avec des prévisions à 2020 de 70 % pour l'osmose inverse contre 20 % pour le dessalement thermique et 10 % pour les autres procédés.

I.2.1. Principe de l'osmose inverse :

L'osmose est un mécanisme naturel d'échange présent dans tous les organismes vivants au niveau des cellules. Sous l'effet d'un écart de concentration, les molécules diffusent des régions les plus concentrées vers les moins concentrées, y compris à travers de fines membranes, comme celles des cellules, si leur nature physico-chimique le permet. Si ce n'est pas le cas, c'est l'eau qui va migrer à travers la membrane pour diluer la zone concentrée et équilibrer les concentrations. A l'équilibre, la différence de pression est appelée pression osmotique. (**Figure 1.3**).

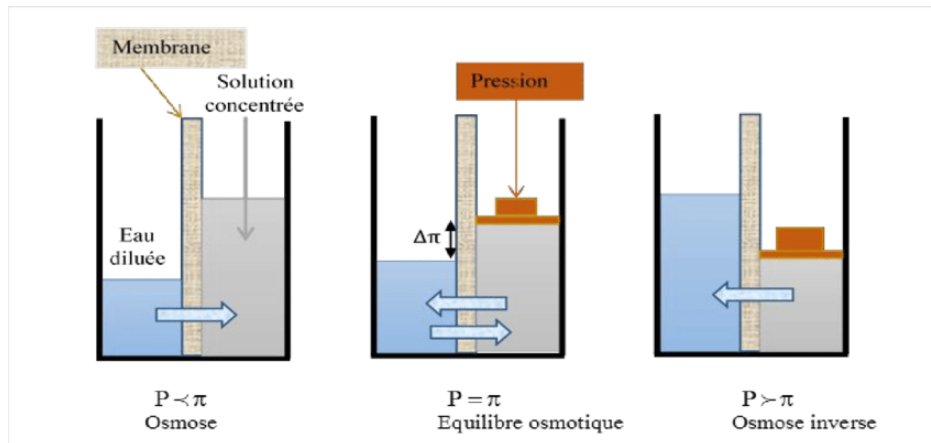


Figure 1.4: Principe de l’osmose inverse.

L’osmose inverse, qui est au contraire un procédé de séparation, est exactement le phénomène inverse : en appliquant une pression suffisante, on force l’eau à quitter la zone concentrée pour rejoindre la zone à faible concentration. La membrane séparatrice doit bien évidemment avoir la capacité de laisser passer les molécules d’eau tout en arrêtant le sel. La pression à exercer dépend de la concentration en sel et sert à empêcher l’eau pure de retourner diluer l’eau salée par phénomène d’osmose. On comprend aisément que la pression minimale à appliquer est au moins égale à la pression osmotique, qui correspond juste à l’état d’équilibre. Si on considère l’eau de mer, la valeur de la pression osmotique est environ 29 105 Pascals (Pa), soit près de 30 fois la pression atmosphérique. Pratiquement, pour obtenir un flux significatif et vaincre la pression osmotique qui augmente au fur et à mesure que l’eau est extraite, la pression de travail varie entre 60 et 70. 105 Pa [9].

I.2.1.1. La pression osmotique :

La pression osmotique (π) est d’autant plus importante que la concentration est élevée et que la masse molaire est faible. La pression osmotique peut être calculée par la loi de Van’t Hoff qui exprime que : [10]

$$\pi = i * C * R * T \quad (I.2)$$

Avec :

π : la pression osmotique (bars).

i : le nombre d’espèces d’ions constituent le soluté.

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

R : la constante des gaz parfait ($0,0831 \text{ L.bar.mol}^{-1}.\text{K}^{-1}$).

Chapitre I Généralité sur le dessalement de l'eau

T : la température (K).

I.2.1.2. Paramètre de fonctionnement d'un système membranaire d'osmose inverse :

L'analyse théorique des caractéristiques des membranes testées, est réalisée selon les méthodes standard du transfert membranaire préalablement décrites[11][12][13]. le taux de rejet des ions est déterminé par le rapport de la concentration du perméat sur celle initiale, exprimé par la relation :

$$R = \frac{C_o - C_p}{C_o} \times 100$$

taux de conversion (% Y),et représenté par la Formule 2 c'est le quotient du débit d'eau produit par le débit d'eau d'alimentation :

$$\gamma(\%) = \frac{Q_p}{Q_o} \times 100$$

I.2.1. 3 Limitations de l'osmose inverse.

Le colmatage des membranes d'osmose inverse est un phénomène complexe et préoccupant dans le domaine du traitement de l'eau. Il entraîne des variations de la perméabilité et de sélectivités. Les membranes d'osmose peuvent subir plusieurs types de colmatages qui limitent leur Efficacité. On distingue ainsi :

1. la précipitation des composés inorganiques sur la membrane (l'entartrage).
2. la formation du dépôt par des particules ou des matières organiques sur la membrane.
3. la formation du biofilm (le bio-colmatage).
4. l'adsorption dans la membrane.

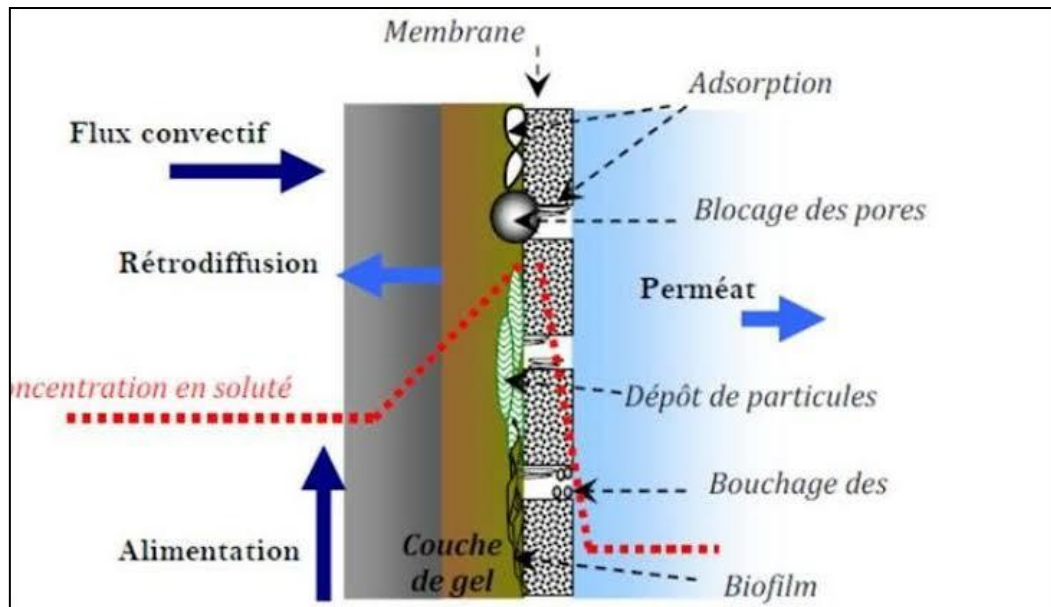


Figure I.5 : Colmatage par entartrage.

I.2.1.4. Colmatage par entartrage :

L'entartrage sur une membrane est principalement causé par :

- 1) le dépassement de la limite de solubilité des composants inorganiques, c'est-à-dire qu'il y a une sursaturation.
- 2) l'augmentation rapide de la vitesse de déposition.

Des sels sursaturés s'accumulent sur la surface de la membrane et construisent une couche qui bloque le transfert de matière à travers la membrane. L'entartrage a toujours lieu à la surface de la membrane car la concentration des sels est augmentée près de la membrane par la polarisation de concentration. Les dépôts de tartre rencontrés le plus fréquemment dans le dessalement comportent du carbonate de calcium (CaCO_3), du sulfate de calcium ($\text{Ca}(\text{SO}_4)_2$), de l'hydroxyde de magnésium ($\text{Mg}(\text{OH})_2$) et des dépôts de silice (SiO_2 , CaSiO_3 , MgSiO_3 , etc...)[12].

I.2.2 Colmatage par dépôt :

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

1. le colmatage particulaire ou colloïdal : des colloïdes peuvent être agglomérés et adhérer à la membrane. Les colloïdes les plus courants sont des argiles de silicate d'aluminium ($0,3-1 \mu\text{m}$) et des colloïdes de fer. Les microorganismes déposés font aussi partie de ce colmatage.
2. le colmatage par la matière organique : la dégradation de la matière organique produit une matrice de macromolécules appelée acide humique. Les matières organiques dans les eaux salées sont principalement des substances humiques à des concentrations entre $0,5$ à 20 mg.L^{-1} pour l'eau saumâtre et jusqu'à 100 mg.L^{-1} de COT pour l'eau de mer en surface (iii) [13].

1.2.2.1 Le bio-colmatage

Toutes les eaux de mer contiennent des microorganismes tels que des bactéries, des algues, des virus, etc. Ces microorganismes excrètent des substances polymériques extracellulaires qui adhèrent à la surface de la membrane et provoquent la formation d'un bio film. La première étape de la formation du biofilm est probablement l'adsorption des molécules organiques sur la surface de la membrane. Cette couche organique conditionne la surface de la membrane et améliore l'adhésion des microorganismes. L'étape suivante est donc l'adhésion des microorganismes sur la surface de la membrane conditionnée, cette étape est suivie par l'adhésion microbienne, la croissance des cellules adhérentes et par la suite la production de polymère extracellulaire. Il s'agit d'un phénomène majeur.

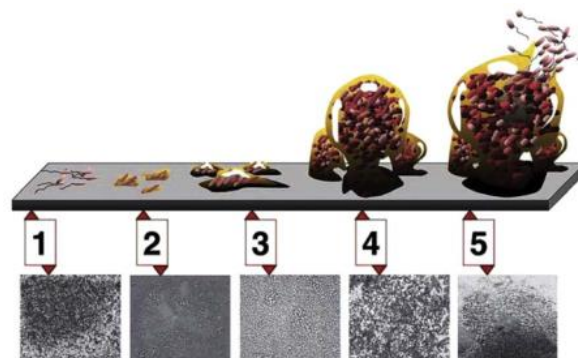


Figure I.6: Bio-colmatage des membranes

I.2.2.2. Lutte contre le colmatage :

Le colmatage est un phénomène non voulu qui se produit dans les différents types de systèmes, filtres, membranes, lits fluidisés. Le colmatage se traduit par l'obturation d'ouvertures dans les systèmes par les particules, entraînant une perte de performance et une diminution de durée de vie.

- **Le prétraitement :**

Cette étape est très importante pour une station de dessalement, Son but d'éliminer les matières en suspension, organiques et les micro-organismes. Aussi pour éviter la détérioration des pompes, l'incrustation et la dégradation des membranes de l'osmose inverse par les microorganismes.

- **L'adoucissement :**

L'adoucissement de l'eau est un processus visant à réduire la concentration des ions calcium et magnésium responsables de la dureté de l'eau. Les membranes polymères, notamment celles en polyamide aromatique, ont été efficacement utilisées dans des procédés membranaires pour des applications telles que la désinfection, l'adoucissement, ou le dessalement de l'eau [14][15]. Les avantages de l'adoucissement par membranes polymères incluent leur capacité à éliminer les ions responsables de la dureté de l'eau, améliorant ainsi sa qualité. Les membranes en polyamide aromatique, telles que la Toray TMG10D, sont utilisées pour leurs propriétés spécifiques dans des conditions d'osmose inverse [16].

- **Ajout d'acides :**

L'ajout d'acides dans l'eau d'osmose inverse peut s'avérer bénéfique pour prévenir le tartre et améliorer les performances de la membrane, mais il doit être effectué avec prudence et expertise pour éviter les risques liés à la corrosion, à la dégradation de la membrane et aux dangers pour la santé. Si vous envisagez d'ajouter de l'acide à votre système d'osmose inverse, il est essentiel de faire appel à un professionnel qualifié pour garantir une utilisation sûre et efficace.

- **Ajout de séquestrant :**

L'ajout de séquestrant dans le traitement de l'eau vise à ralentir voire bloquer la précipitation chimique de certains composés présents dans l'eau. Les séquestrants sont des agents qui forment des complexes stables avec les ions responsables de la formation de précipités, empêchant ainsi leur agglomération. Cette pratique est particulièrement utile dans les opérations de dessalement de membrane, où des taux élevés de récupération peuvent conduire à des dépôts de sels indésirables tels que le gypse et la calcite. Les séquestrants agissent en maintenant ces sels en suspension, évitant leur précipitation et préservant ainsi l'efficacité des membranes de dessalement [17][18][19].

I.2.3. Dégradation Chimique des Membranes d'osmose Inverse :

La dégradation chimique des membranes d'osmose inverse est un processus complexe influencé par plusieurs facteurs. Elle résulte de l'exposition à des agents chimiques, tels que le chlore, qui est un oxydant couramment utilisé dans le traitement de l'eau [20]. Ce processus peut entraîner des modifications au niveau moléculaire, affectant ainsi la structure et les performances de la membrane [21].

a. Effets de l'Oxydation :

L'exposition aux oxydants peut provoquer la dégradation des membranes. Des substances oxydantes présentes dans l'eau peuvent altérer la structure des membranes, réduisant ainsi leur efficacité.

b. Changements de pH :

Des variations extrêmes de pH peuvent également contribuer à la dégradation des membranes. Il est essentiel de maintenir des conditions de pH appropriées pour prévenir ces effets néfastes.

I.2.4. Conclusion:

Le dessalement de l'eau de mer par osmose inverse est à l'heure actuelle un procédé majeur pour la production d'eau potable dans les pays souffrant d'une pénurie d'eau douce. L'objectif principal de cette technique est l'élimination des sels, des matières organiques et des microorganismes présents dans l'eau de mer. Les avantages de l'osmose inverse sont sa simplicité de mise en œuvre et son faible coût énergétique par rapport au dessalement thermique. Néanmoins, l'entartrage par les sels minéraux et le colmatage dû aux particules colloïdales et au biofilm qui se forme par utilisation des matières organiques solubles présentes dans les eaux de mer sont toujours la limitation majeure de l'osmose inverse. Par conséquent, l'osmose inverse a besoin d'un prétraitement efficace et fiable pour protéger la membrane vis-à-vis du colmatage et ainsi permettre de maintenir de bonnes performances sur le long terme et limiter l'usage de réactifs chimiques de nettoyage.



Chapitre II

Matériels et méthodes

Chapitre II Matériels et méthodes

Dans ce chapitre , la station dessalement (chatt el hilla de beni saf) sont présente ainsi que le travaux l'autopsie de membrane .

II.1. Description de la station de dessalement :

La station de dessalement de la plage El Hillel a été implantée à environ 16 km au Nord Ouest de la ville d'Ain Témouchent. Elle est située dans la région touristique de la plage El Hillel, commune de Sidi Ben Adda. Elle occupe un terrain de 65 700 m², sa capacité de production est de 200.000.m³/j, assurant l'approvisionnement en eau potable des Wilayas d'Ain-Temouchent et d'Oran. Elle occupe aussi la première place en Algérie en terme de rendement. Le processus du dessalement appliqué dans cette station est basé sur l'osmose inverse (OI).



Figure II-1 : Station de Dessalement L'eau de Mer Beni Saf Water Company.

II.1.1 Description du fonctionnement de la station

La station utilise le procédé membranaire à osmose inverse. Le dessalement passe par les étapes suivantes :

- **Captage de l'eau de mer :**

C'est la première étape du dessalement, l'eau est captée à environ 1 Km de la cote, elle est ensuite véhiculé à l'intérieur de la cavité par gravité.

Chapitre II Matériels et méthodes

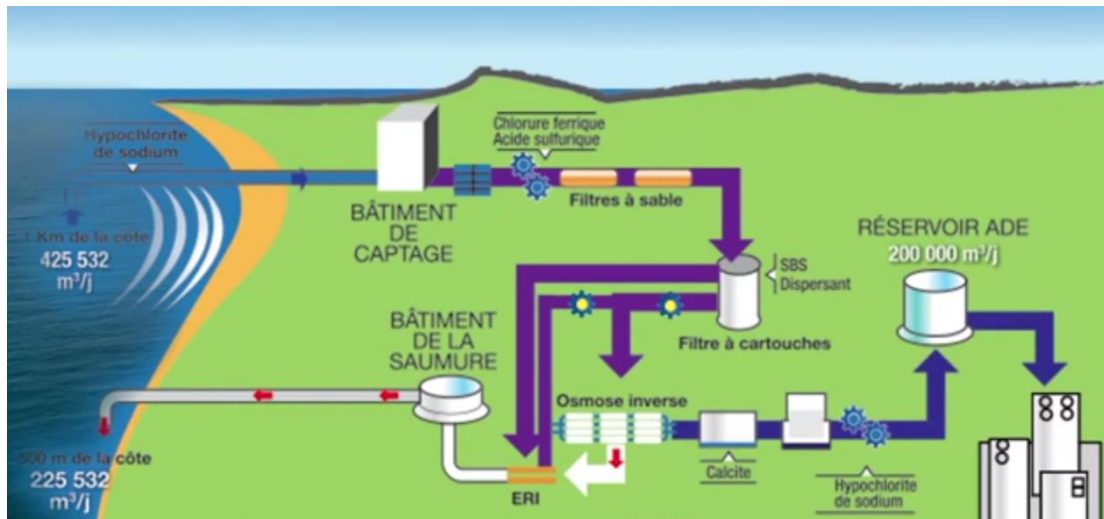


Figure II.2. : Schéma représentant les procédés de dessalement de la station de dessalement Chatt El Hillel.

- **Filtration mécanique :**

Se fait aux moyens de filtres rotatifs et permet de supprimer les grosses impuretés (coquillages , crustacés ...) qui peuvent s'y trouver.

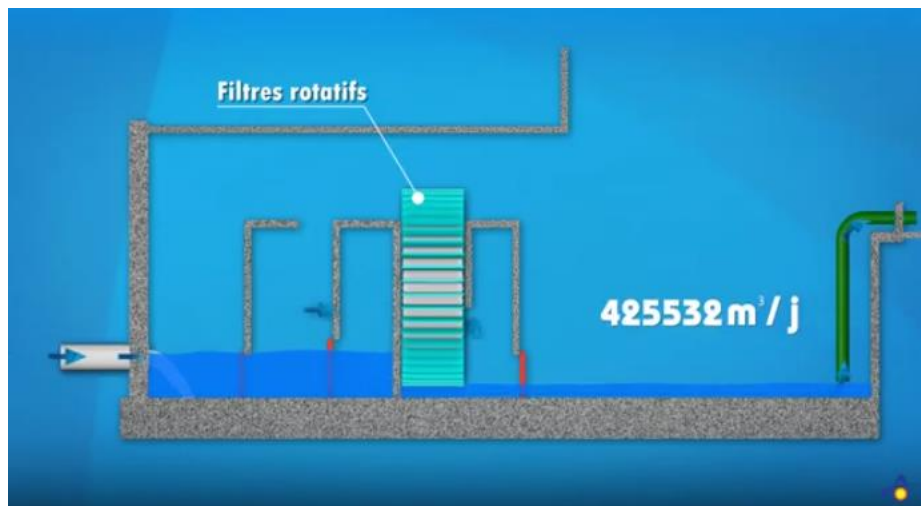


Figure II.3: Schéma représentant le procédé de filtration mécanique.

- **Chloration :**

Se fait par injection de l'hypochlorite de sodium (NaOCl) au niveau de la station de captage et permet la désinfection et la diminution de la croissance biologique.

Chapitre II Matériels et méthodes

- **La station de pompage**

La station de pompage d'eau de mer située dans la zone de captage représente l'épine dorsale de la SDEM. Elle est composée de :

11 pompes centrifuges horizontales (Sulzer)

10 pompes en marche, 01 pompe en stand by.

01 système d'amorçage des pompes à vide composé de 02 compresseurs d'air.

- **Prétraitement de l'eau de mer.**

Cette étape permet de stabiliser le process et préserver la station. Elle est réalisée par injection des produits chimiques suivants :

- ✓ Chlorure ferrique (coagulation des suspensions)
- ✓ Acide sulfurique (neutralisation du pH)
- ✓ Métabisulfite (neutralisation du chlore libre)
- ✓ Antiscalant (protection des membranes).

L'eau prétraité subit ensuite les opérations suivantes :

- ✓ Filtration sur sable et anthracite.
- ✓ Microfiltration.

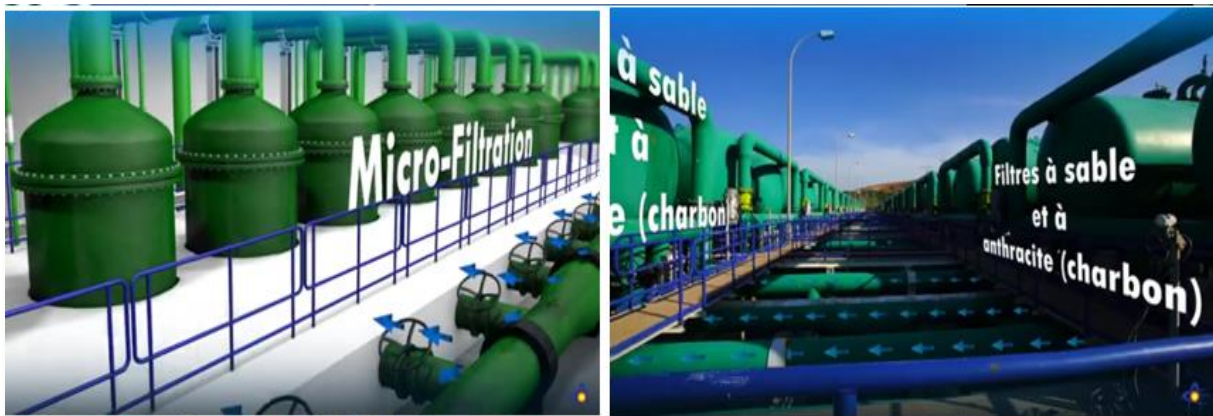


Figure II.4. : Schéma représentant l'étape de prétraitement

- **Post d'osmose inverse**

Le système d'osmose inverse est composé de :

- 10 unités de production de 20 000 m³/j chacune .

Chapitre II Matériels et méthodes

- 256 tubes à pression par unité .
- 1792 membranes dans chaque unité, soit 7 membranes dans chaque tube à pression .
- 01 pompe centrifuge de haute pression par unité .
- 01 pompe de recirculation par unité .
- 22 récupérateurs d'énergie par unité. Ce système a pour fonctions :
 - Dessaler l'eau de mer pour produire de l'eau potable .
 - Evacuer la saumure de rejet à pression au système de récupération d'énergie.

II.1.2. Les membranes :

Les membranes utilisées sont de chez Hydranautics. Les membranes d'OI sont constituées de films de polyamide à enroulement en spirale avec une feuille de séparation entre deux membranes. Cette feuille se comporte comme un canal dans lequel circule l'eau d'alimentation/saumure qui alimente l'élément suivant de membrane à l'intérieur du tube de pression.

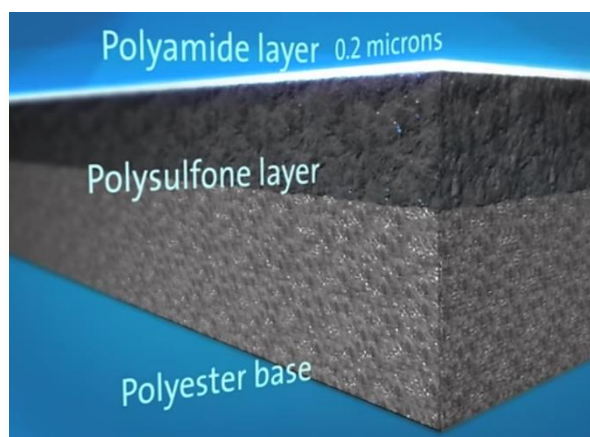


Figure II.5: Schéma d'une membrane en polyamide.

Le modèle des membranes sélectionné est le SWC5 qui est approprié lorsque le courant d'eau d'alimentation est de l'eau de mer. Son pourcentage de rejet des sels est supérieur à 99,7%

Chapitre II Matériels et méthodes

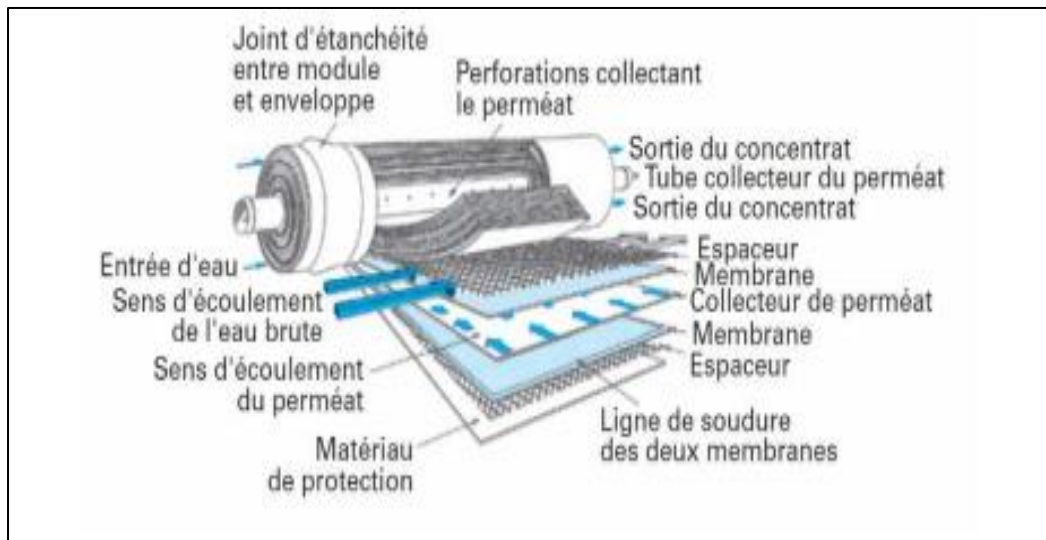


Figure II.6:schéma d'un module spirale d'OI. I (Desclaux et Remigy, 2012)

Tableau II.1 : Caractéristiques des membranes utilisées (SWC5 MAX)

Caractéristique	Membrane OI
Modèle	SWC5 MAX
Matériaux de la membrane	Polyamide –polysulfone
Pression (bar)	70
Date de mise en exploitation	Mars 2017
Date de changement	Septembre 2023
Position de la membrane	2 ème
Rack	N°2
Tube	Gauche L7/C10
Perte de performance	17%

II.2.L'autopsie membranaire :

Ce travail a pour objectif de faire l'autopsie d'une membrane utilisée dans un processus le dessalement de la station de chat el Hilal et d'analyser et de comprendre les raisons de son dysfonctionnement ou de sa défaillance. Les objectifs potentiels de l'autopsie d'une membrane sont la détermination de l'état de vieillissement de la membrane, notamment en évaluant son intégrité structurale et sa capacité à filtrer efficacement les impuretés, l'identification des

Chapitre II Matériels et méthodes

causes potentielles de la baisse de performance, telles que l'accumulation de salissures ou les dommages structurels, et enfin proposer des mesures correctives pour améliorer la performance du système d'osmose inverse, telles que le nettoyage ou le remplacement des membranes défectueuses.

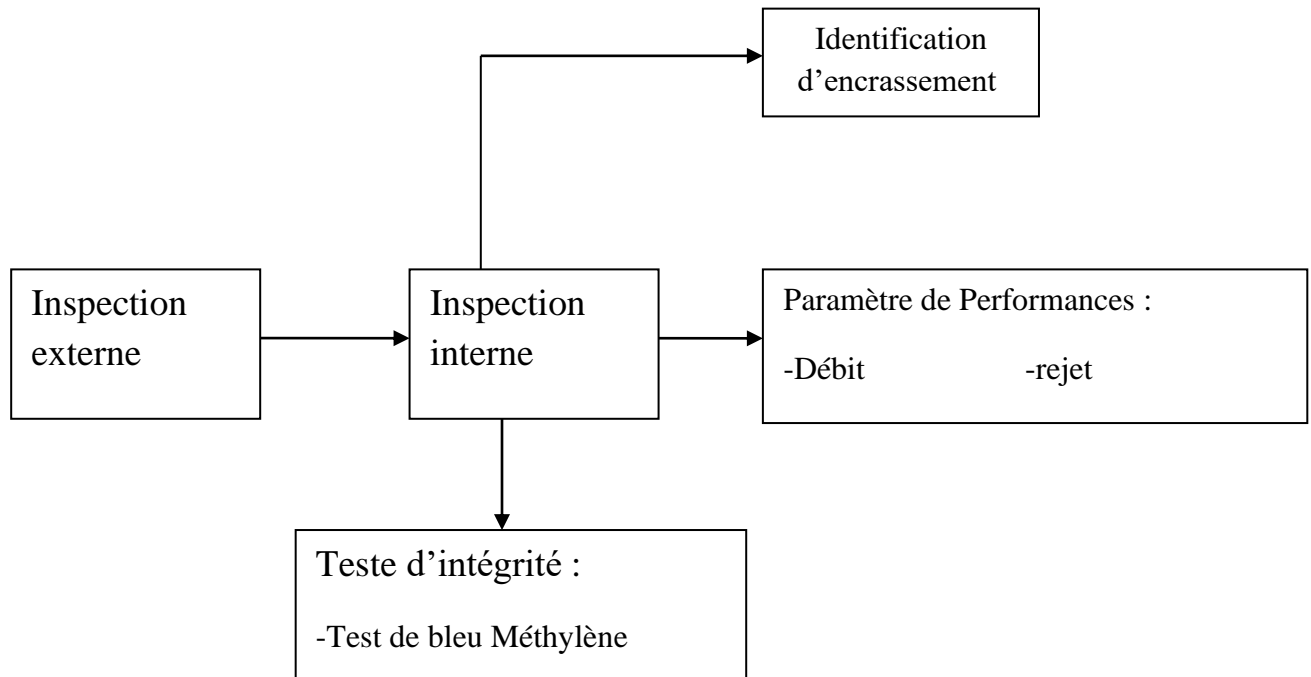


Figure II.7: Description des étapes de l'autopsie d'une membrane osmose inverse.

II.2.1. Observation visuelle externe et interne des membranes usagées :

II.2.1.1. Préparation des échantillons :

Les échantillons de membrane OI ont été extraits d'un module spiralé. Des échantillons de membrane OI sont extraits de feuillets isolés d'une coque en fibre de verre enveloppant un module spiralé. Le découpage d'un module est réalisée en retirant les têtes d'empotage à chaque extrémité et en sciant la coque en fibre de verre en surface à l'aide d'une scie à ruban. Les feuillets en contact avec la coque sont retirés et ne sont pas conservés. 2 feuillets de membrane liés au tube collecteur central sont récupérés. Ils sont repartis en 3 lots et conservés dans de l'eau pure à température ambiante pendant une durée maximale de 3 mois (**Figure II.3**). De plus, les espaceurs côté alimentation (grille plastique) positionnés sur

Chapitre II Matériels et méthodes

la couche active sont retirés afin d'éviter tout frottement. Un échantillon de membrane est découpé aux dimensions souhaitées et extrait d'un feuillet dans des sections ne présentant pas de défauts (rayures ou marques) visibles. Par la recherche des dommages physiques à diverses parties de l'élément, y compris le joint de Saumure, l'enveloppe extérieure le tube de perméat et toute preuve de télescopage de la membrane. Nous recherchons ensuite des signes d'encaissement grossier sur les bords de la membrane roulée dans le capuchon d'extrémité. L'encaissement dans cette zone peut restreindre le débit d'eau à travers toute la membrane



Figure II.8 :Photo d'un module spiralé

Par la recherche des dommages physiques à diverses parties de l'élément, y compris le joint de Saumure, l'enveloppe extérieure le tube de perméat et toute preuve de télescopage de la membrane. nous recherchons ensuite des signes d'encaissement grossier sur les bords de la membrane roulée dans le capuchon d'extrémité. l'encaissement dans cette zone peut restreindre le débit d'eau à travers toute la membrane.

II.2.1. Observation visuelle interne des membranes usagées :

Contrôle interne :

L'élément est démonté par retrait des bouchons d'extrémité et la coque en fibres de verre qui protège la membrane déroulée.

Une fois que la membrane est ouverte sur sa longueur et déroulée en feuilles de membranes individuelle, la surface interne des feuilles de membranes est inspecter visiblement pour détecter toute contamination de surface ou d'accumulation de débris, de biofilm et de tartre sur la surface de la membrane (OI).

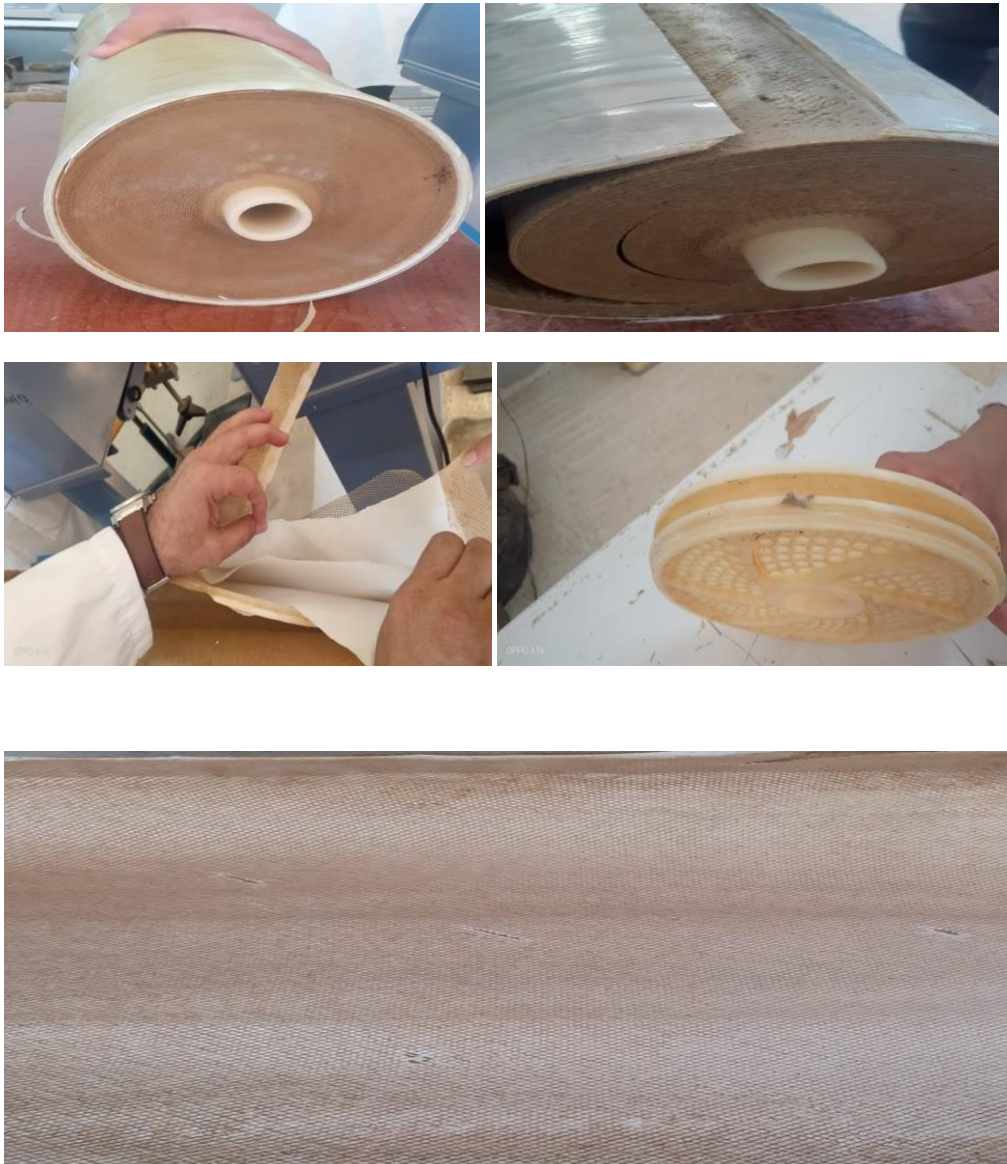


Figure II.9 : Images des différentes parties examinées de la membrane.

II.2.1.2. Test d'intégrité:

un test a été effectué afin de vérifier les dommages physiques et chimiques de la membrane. Le test de bleu de méthylène a été effectuée pour détecter si la membrane est endommagée

II.2.1.3. Analyse des composés organiques par la perte en feu :

Le but de ce test est d'identifier le colmatage organique à la surface des membranes, pour ce test trois échantillon de l'encrassement ont prélevé à la surface de la membrane (image) et leur poids sont mesurés après la mesure les échantillons sont d'abord sécher à 100°C (taux d'humidité), puis chauffer à 500°C pendant 4heurs (taux de cendres). Les poids des résidus de

Chapitre II Matériels et méthodes

calcination des échantillons sont calculés en pourcentages des poids initiaux si la perte de poids lors de l'allumage est supérieur à 35 %, ce résultat est indicatif d'un d'encrassement organique. une perte supérieure à 50 % signifie un fort colmatage organique

II.2.1.4 : Analyses MEB et IR.

l'analyse par le microscope électronique a balayage (MEB) et l'analyse par rayons X a dispersion d'énergie (EDX) sont utilise dans notre étude pour obtenir une vue générale et détaillée de la surface de a membrane (extension du colmatage, marque d'abrasion ,ect.) et pour obtenir une détermination élémentaire de la composition du colmatage .

Nous avons utilisé la spectroscopie infrarouge (IR) qui permet d'identifier les groupes fonctionnels caractéristiques afin d'identifier les composants organique et inorganique du colmatage..



Chapitre III
Résultats et discussions

Chapitre III Résultats et discussions

Cette partie du mémoire est consacré à la présentation des résultats obtenus après les analyses physique chimique effectué ,de la membrane de la station dessalement chatt el hillal .

III.1. Résultats de l'inspection visuelle :

III.1.1. Inspection visuelle externe.

L'observation visuelle externe des modules usagés d'osmose inverse ne montre aucune dégradation physique notable dans le module usagée prélevé de la station. Les résultats sont regroupés dans le tableau ci-dessous :

Intégrité du logement externe	Bon état
poids (kg)	17 ,372
Couleur de la membrane	Jaunâtre
Présence d'odeur	Non
Etat des enveloppes	Bonne
Présence de colmatage /particule	Couche de couleur jaune/brun et la présence de trace de matière organique
Etat de l'espaceur	Bon état

Tableau III.1 :les résultats de l'inspection visuelle .



Figure III-1 :Présence des colonies de bactéries.

Chapitre III Résultats et discussions

III.1.2. Inspection visuelle interne.

La coupure des enveloppes intérieures de modules montrent des traces de couleurs rouges sur la surface de la coque en fibre de verre, sur l'enveloppe intérieure et sur le côté alimentation du module. Ainsi, on peut voir clairement le dépôt d'une couche brune d'aspect visqueux sur la totalité des feuilles membranaires (**figure III.1.1**).



Figure III.2 : Photos d'observation visuelle interne des membranes usagées.

- **Test d'intégrité :**

Ce test est utilisé pour vérifier si le colorant a été rejeté ou absorbé par la surface de la membrane.

Si la surface de la membrane est uniformément colorée avec une très légère coloration bleue/violette, cela indique que l'intégrité de la membrane est intacte. Si la membrane est physiquement endommagée, alors le colorant appliqué sera absorbé sur les zones endommagées de la surface de la membrane et/ou le long des lignes de colle, si elles sont endommagées, et formera des taches violettes très visibles.



Figure III.3. Test de bleu de méthylène.

D'après la **Figure III.2**, Le bleu de méthylène étalé sur la membrane épuisée, a diffusé du côté du perméat synonyme d'une confirmation de l'état défectueux de la membrane.

- **Taux des cendres :**

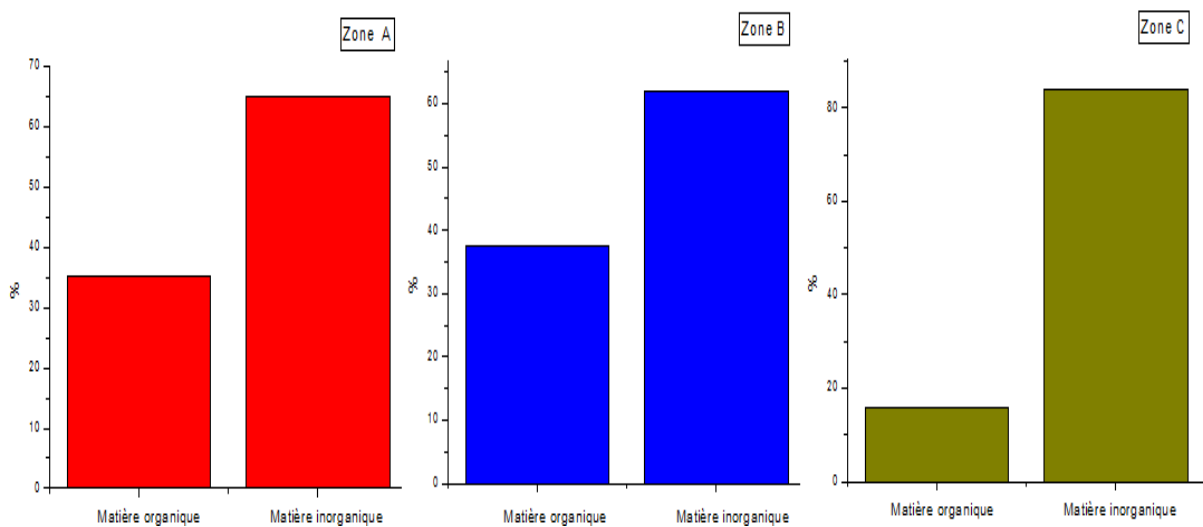


Figure III.4 : Quantification des colmatants déposés sur la membrane usagée

Chapitre III Résultats et discussions

Les variations des taux des cendres pour chaque zone sont les suivantes:

% matière organique (A)=35.11%.

% matière organique (B)=37.57%.

% matière organique (C)=16%.

L'histogramme de la figure indique que la surface de la membrane est riche en matières organique ce qui confirme que le colmatage organique est plus important du côté de l'entrée de l'eau de mer .

On note que la nature de colmatage dépend de la position de la zone raclée,

III.1.2.1 Résultats des analyses chimiques:

- **Analyse par microscopie électronique à balayage (MEB, EDX):**

La photographie au microscope électronique à balayage (MEB) est utilisée pour évaluer visiblement l'état de la surface de la membrane et la topographie de l'encaissement de la membrane.

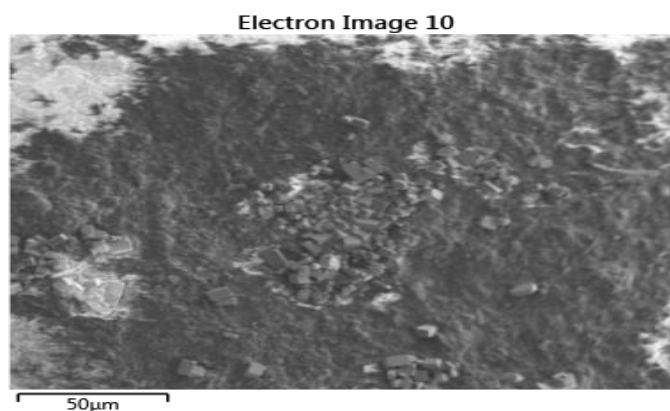


Figure III.5: Image du microscope électronique à balayage de la membrane (MEB)

On observe clairement un dépôt d'origine minérale et organique de particules sur la surface de la membrane, relative au dépôt.

La nature du dépôt est aussi confirmée par une analyse de surface (EDX) et par « image mapping ». on observe aussi des zones de couleurs différentes indiquant la nature des différents composants.

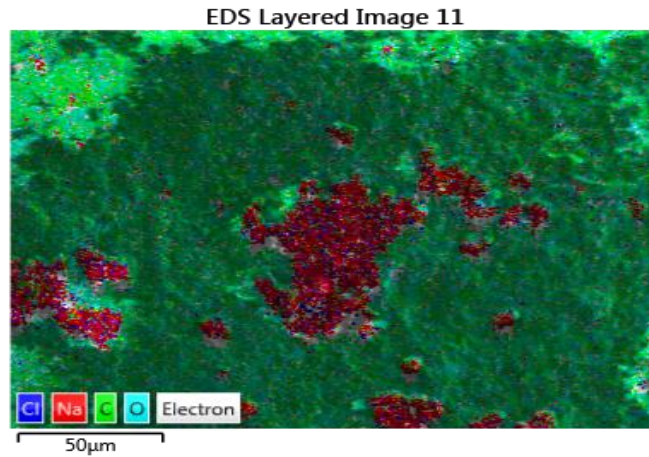


Figure III.6 :Image du microscope électronique à layer (EDS)

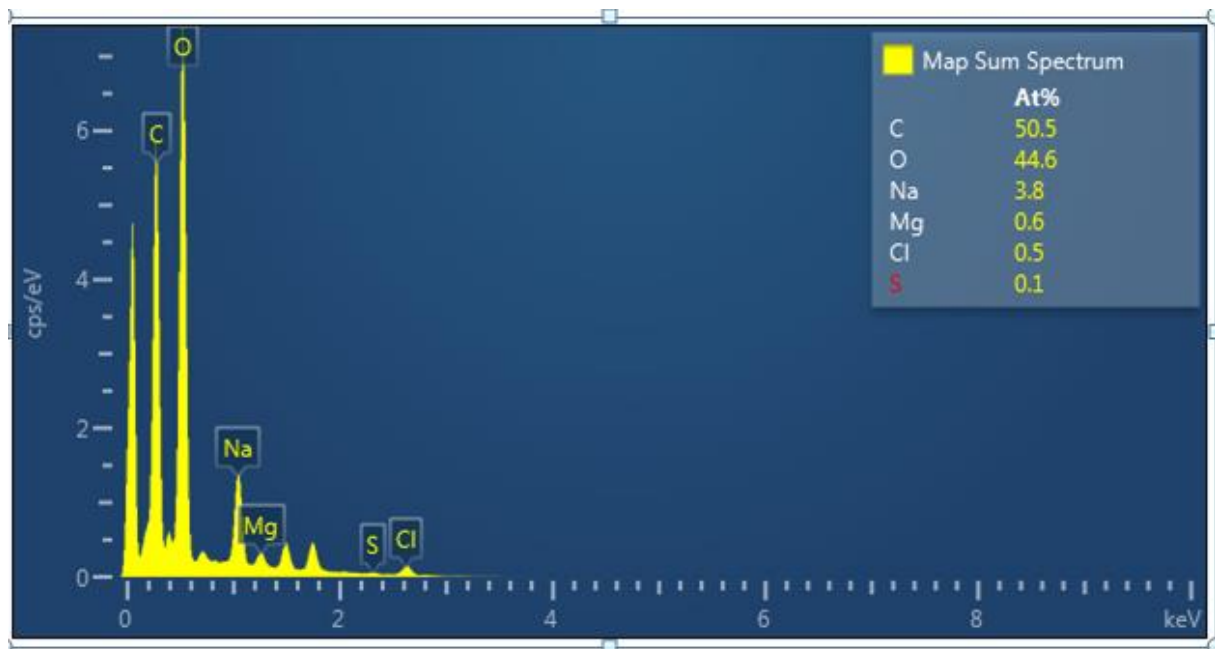


Figure III.7: Spectre EDX de la membrane .

L'analyse de surface EDX est couronnée par un graphique dont la présence de nombreux éléments chimiques : Carbone, oxygène par contre d'autres comme le sodium, magnésium, le soufre et le chlore sont présents en faible quantité.

Chapitre III Résultats et discussions

Element	Line Type	Apparent Concentration	k Ratio	Wt%	Wt% Sigma	Atomic %	Standard Label	Factory Standard	Standard Calibration Date
C	K series	0.41	0.00412	42.08	0.27	50.47	C Vit	Yes	
O	K series	1.15	0.00388	49.54	0.27	44.61	SiO2	Yes	
Na	K series	0.14	0.00059	6.01	0.11	3.77	Albite	Yes	
Mg	K series	0.02	0.00011	1.01	0.06	0.60	MgO	Yes	
S	K series	0.00	0.00002	0.16	0.04	0.07	FeS2	Yes	
Cl	K series	0.02	0.00016	1.21	0.06	0.49	NaCl	Yes	
Total:				100.00		100.00			

Tableau III.2: l'élément spectre EDX de la membrane.

- **Résultats spectroscopie infrarouge (IR) :**

La spectroscopie infrarouge des échantillons raclés (**Figure III.6**) et de la membrane après raclage (**Figure III.7**) sont présentés ci-dessous.

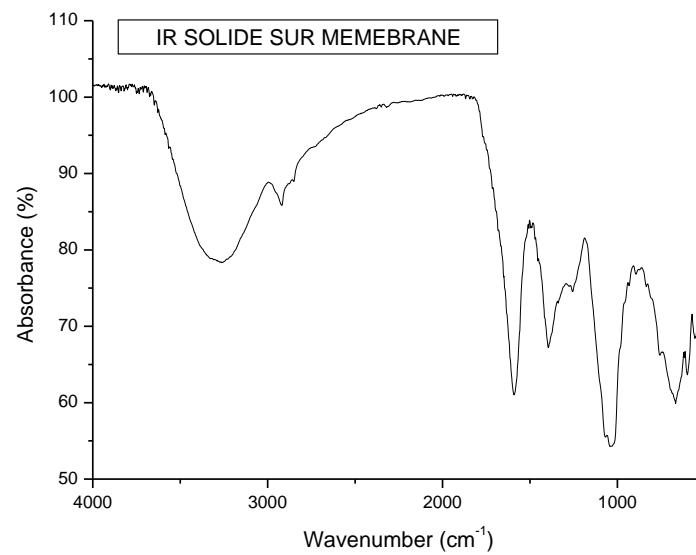


Figure III.8 : Spectre IR du dépôt

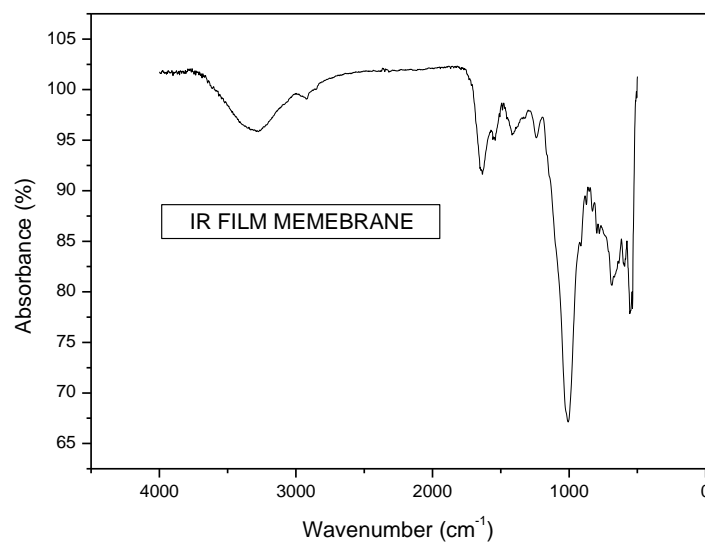


Figure III.9 : Spectre de la membrane après raclage.

Les deux spectres **IR** obtenus sont constitués de mêmes bandes avec des intensités différentes. La présence de ces mêmes bandes sur la membrane raclée indique un fort colmatage des pores de la membrane. Les bandes vers **3400 cm⁻¹** (vibrations OH) confirment la nature organique des colmatants.

Chapitre III Résultats et discussions

Pour les deux spectres l'analyse infrarouge desmontre l'apparition de pics à **1650 cm⁻¹**

(amide I) et à **1550 cm⁻¹**(amide II). Ces deux pics confirment le colmatage bio organique en indiquant la présence de protéines. Les pics **3695 cm⁻¹** et **3620 cm⁻¹** (bandes de silicate d'aluminium) sont aussi visibles et indiquent un colmatage inorganique. Les bandes intenses Si-O ou Al-O du silicate apparaissent vers **1020 cm⁻¹**. Le signal à **1050 cm⁻¹** montre la matrice de polysaccharides. En outre le massif vers **575 cm⁻¹** laisse supposer l'existence des phosphates de structures amorphes. L'apparition de pic **615 cm⁻¹** indique la présence de sulfate de fer.

Conclusion générale

Conclusion générale

La dégradation des membranes limite considérablement leurs performances. Ce phénomène est directement liée aux effets du vieillissement. Il est donc nécessaire de comprendre la nature et les causes de cette dégradation.

Ce travail de ce mémoire a porté sur l'étude de la colmatation de membrane d'osmose inverse (OI) usagées prélevées en de Chat el Hilal–Beni Saf.

L'utilisation de méthodes d'autopsie s'est révélé comme le meilleur moyen d'étude. Les essais d'autopsie appliqués sur les membranes : SWC5MAX fabriquée par Hydranautics, employée pendant trois années pour le dessalement d'eau de mer dans l'installation de dessalement Beni saf.

Les inspections visuelles externes et internes ainsi que les analyses par IR et MEB couplé à l'EDX ont permis d'apprécier la nature des agents colmatants. Ces derniers ont été de nature organique et inorganique.

Les résultats obtenus dans cette étude imposent l'utilisation d'autres techniques d'analyse pour mieux comprendre la cause du colmatage



bibliographie

Références bibliographiques

1. **U.ROCARD** , « La répartition de l'eau sur Terre , Nos ressources sont limitées, évitons de les gaspiller», 2017, <https://blogpeda.ac-poitiers.fr/developpement-durable-5-2/2017/05/22/la-repartition-de-leau-sur-terre/>.
2. **A. Maurel**, Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres et autres procédés non conventionnels d'approvisionnement en eau douce, 2^{eme} édition TEC ampDOC, 2006,p286 .
3. **A.Brahimi et H.Hamdi**, « Contrôle de qualité et évaluation du processus de dessalement de l'eau de mer par la technique d'osmose Inverse» , (station de dessalement de Bou Ismail W. Tipaza). Mémoire d'ingéniorat, Université de SAAD DAHLEB DE BLIDA. Algérie, 2009/2010.
4. **E.Brown.,A.Colling.,D.Park.,J.Phillips.,D.Rothery et J.Wright**, L'eau de mer : sa composition, ses propriétés et son comportement , Préparé par une équipe de cours de l'Open University,second edition,1997.
5. **M.BAKALOWICZ**, « Connaissance et gestion des ressources en eaux souterraines dans les régions karstiques, Agence de l'eau RhôneMéditerranée», Corse, 1999.
6. **J.I. Haies** ,Cycles biogéochimiques mondiaux : progrès et problèmes,Chimie Marine,vol 39, p 67-93, 1992 , [https://doi.org/10.1016/0304-4203\(92\)90096-S](https://doi.org/10.1016/0304-4203(92)90096-S).
7. **J.I. Hedges , R.G. Keil , R. Benner** ,Qu'arrive-t-il à la matière organique terrestre dans l'océan ?, Organic Geochemistry ,vol 27, pages 195-212,1997, [https://doi.org/10.1016/S0146-6380\(97\)00066-1](https://doi.org/10.1016/S0146-6380(97)00066-1).
8. **McCarthy. D.D**,Conventions IERS, Note, n° 21.1996 , p. 1 – 95.
9. **Alain .MAUREL**, «Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres», édition technique et documentation. 2006.
10. **MECHENGUEL Ahlem et MEHIDI Hanane**, « étude comparaison des paramètres des châssis d'osmose avant et après lavage chimique, année universitaire . MASTER Génie des procédés, Université Mostaganem 2019, page 23.
11. **M.Leo ,Z.Wang** , « Encrassement complexe et nettoyage sur place d'un système de dessalement par osmose inverse » , dessalement vol 141,p15-22,2001, [https://doi.org/10.1016/S0011-9164\(01\)00385-X](https://doi.org/10.1016/S0011-9164(01)00385-X)

Références bibliographiques

12.C.Fritzmann ,J. Löwenberg ,T. Wintgens ,T. Mélin, « Dessalement par osmose inverse à la pointe de la technologie »,dessaleent,vol216,p1-76,2007,
<https://doi.org/10.1016/j.desal.2006.12.009>.

13.P.Kanchanapiya ,T.Tantisattayakul ,« Analyse du coût supplémentaire lié à la contamination des substances per- et polyfluoroalkyles provenant des lixiviats de décharge par des membranes d'osmose inverse en Thaïlande » , journal de génie des procédés de l'eau ,vol45 ,p102520,2022, **<https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2021.102520>.**

14. roagua.com - Les avantages et les inconvénients des membranes d'osmose.

15. pureaqua.com - Toray TMG10D Membrane.

16. lenntech.fr - Désinfectants: le chlore.

17.suezwaterhandbook.fr - Traitement de l'eau – Inhibitions de la Précipitation .

18. lenntech.fr - Mise à l'échelle et antiscalants.

19. theses.hal.science - Analyse multi-échelle de la dégradation des Membranes.

20. A.Etteri, « vieillissement chimique des membranes d'osmose inverse »,2011.

21.D.Belgaid, Etude comparative sur le vieillissement de membranes d'osmose inverse.