



وزارة البحث العلمي والتعليم العالي
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE
LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
جامعة عبد الحميد بن باديس مستغانم
Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem
كلية العلوم و التكنولوجيا
Faculté des Sciences et de la Technologie
DEPARTEMENT DE GENIE DES PROCÉDES



N° d'ordre : M2../GC/2019

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES DE MASTER ACADIMIQUE

Filière : Génie des procédés

Option: Génie Chimique

Thème

**Comparaison des paramètres des châssis d'osmose inverse avant
et après lavage chimique**

Présenté par

1. MECHENGUEL Ahlem
2. MEHIDI Hanane

Soutenu le 07/ 07 / 2019 devant le jury composé de :

Présidente	: N. DOUARA	MC B	UMAB - Mostaganem
Examinatrice	: M. BENZECRI BENALLOU	MC B	UMAB - Mostaganem
Encadrant	: H. DELALI	MA A	UMAB - Mostaganem
Invité	: A. GOULMANE		

Année Universitaire : 2018 / 2019

Remerciements

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^{me} Z. MEKIBES**, 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 et l'améliorer par leurs suggestions

Nous présentons nos sincères remerciements et notre profonde gratitude à **Mr A.GOULMANE** pour son accueil avec beaucoup de gentillesse au sein de la station de dessalement de l'eau de mer de Sonaghter et à tous les opérateurs, les membres du laboratoire qui nous ont aidés tout le long de notre stage

Enfin, nous remercions vivement tous les enseignants du département de Génie des procédés 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.

Dédicace

C'est avec un très grand honneur que je dédie ce modeste travail :

A mes chers parents qui m'ont soutenue, encouragé et m'ont fait une confiance totale ; tout particulièrement :

A ma chère maman « BENNAMA Sakina » 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 « MECHENGUEL Miloud » pour la patience et le dévouement dont il a fait preuve.

A ma belle sœur « Nouria »e pour son soutien moral constant au long de ces mois de travail, même pendant les moments difficiles.

A mes deux frères : Mohamed et Badreddine pour m'avoir supportée durant ces mois.

J'adresse une pensée émue à toute ma famille MECHENGUEL.

A mon binôme « MEHIDI Hanane » qui m'a accompagnée tout au long de ce mémoire, je la remercie pour son amitié sincère et pour tous les bons moments passés ensemble.

A mes amies DEDDACHE Amel et BENNAMA Souad.

Ahlem

Dédicace

C'est avec un très grand honneur que je dédie ce modeste travail :

A mes chers parents qui m'ont soutenue, encouragé et m'ont fait une confiance totale ; tout particulièrement :

A ma chère maman « AMOURI Fatiha » 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 « MEHIDI Mohamed » pour la patience et le dévouement dont il a fait preuve.

A mes belles sœurs « Souhila et Fatma » pour leur soutien moral constant au long de ces mois de travail, même pendant les moments difficiles.

A mes deux frères : Hichem et Azzedine pour m'avoir supportée durant ces mois.

J'adresse une pensée émue à toute ma famille MEHIDI.

A mon binôme « MECHENGUEL Ahlem » qui m'a accompagnée tout au long de ce mémoire, je la remercie pour son amitié sincère et pour tous les bons moments passés ensemble.

A mes amies GUEBABI Souhila et MEKORA Hanaa.

Hanane

Sommaire

Introduction générale.....	1
-----------------------------------	----------

Chapitre I : Généralités sur l'eau

I.1. Définition de l'eau	3
I.2. Cycle de l'eau	3
I.3. Importance du traitement de l'eau	4
I.4. Les différents types d'eaux	4
I.4.1 Eaux de pluie.....	4
I.4.2. Eaux de surface	4
I.4.3. Eaux souterraines	5
I.4.4. Eaux marines.....	5
I.4.5. Eaux saumâtres	6
I.5. Normes de qualité	6
I.6.1. Normes microbiologiques	6
I.6.2. Normes physico-chimiques.....	6

Chapitre II : Procédés de dessalement de l'eau de mer

PARTIE (A)

Description des différents procédés de dessalement

II _A . Introduction.....	9
II _A .1. Définition du dessalement de l'eau de mer	9
II _A .2. Les avantages et les inconvénients du dessalement de l'eau de mer	10
II _A .3. Les différentes stations de dessalement en Algérie	11
II _A .4. Présentation de la station de dessalement d'eau de mer de Mostaganem.....	11
II _A .5. Description et fonctionnement normal des installations du process.....	12
II _A .5.1. Captage et pompage de l'eau de mer	12

II _A .5.2. Système de prétraitement	13
II _A .5.2.1. Conditionnement chimique.....	14
II _A .5.2.2. Système de filtration	15
II _A .5.2.3. Système d'osmose inverse	16
II _A .5.2.4. Système de reminéralisation et conditionnement de l'eau osmotique	18
II _A . 5.2.5. Stockage et impulsion de l'eau produite	19
II _A . 5.2.6. Système de vidange des saumures	20

PARTIE (B)

Osmose inverse

II _B . Introduction.....	21
II _B .1. Osmose.....	21
II _B .1. 2. Osmose inverse	21
II _B .3. Le principe d'osmose inverse	22
II _B .4. Schéma général d'une installation d'osmose inverse	23
II _B .5. Les caractéristiques principales d'une unité d'osmose inverse	23
II _B .5.1. Pression osmotique	23
II _B .5.2. Taux de conversion	24
II _B .5.3. Sélectivité	24
II _B .5.4. Mécanisme de transfert.....	25
II _B . 6. Les avantages et les inconvénients d'osmose inverse	25
II _B .7. Membrane	25
II _B .7.1. Définition	25
II _B .7.2. Les grandeurs caractéristiques de la membrane	26
II _B .7.2.1. La pression transmembranaire (PTM)	26
II _B .7.2.2. Flux, perméabilité et résistance hydraulique de la membrane	26
II _B .7.2.3. Rétention et seuil de coupure de la membrane	27

II _B .7.3. Membrane d'osmose inverse	27
II _B . 7.4. Les ennemis de la membrane	28
II _B .7.4.1. Perméabilité	28
II _B .7.4.2. Durée de vie	28
II _B .7.4.3. Sensibilité à la température	29
II _B .7.4.4. Sensibilité aux bactéries.....	29
II _B .7.4.5. Sensibilité aux colmatages.....	29

Chapitre III : Partie expérimentale

III. Introduction	32
III.1. Facteur limitant le transfert de matière	32
III.1.1. Le colmatage	32
III.2. Comment agir sur le facteur limitant.....	34
III.2.1. L'autopsie membranaire.....	34
III.2.1.1. Inspection visuelle de la membrane	35
III.2.1.2. Essais de la membrane	37
III.2.1.3. Analyses de la surface de la membrane	38
III. 2.1.4. Essais de nettoyages sur plat -test à plat.....	40
III.2.2. Le nettoyage chimique	42
III.3. Résultats et discussions	46
III.3.1. Les paramètres de fonctionnement.....	46
III.3.1.1. La différence de pression	46
III.3.1.2. Le débit normalisé du perméat	47
Conclusion générale	50

Références bibliographiques

Liste des figures

Figure I.1 : Le cycle de l'eau	3
Figure I.2 : Les eaux de surface	4
Figure I.3 : Les eaux souterraines	5
Figure I.4 : Les eaux de marines	5
Figure II _A .1 : Classification des procédés de dessalement	10
Figure II _A .2 : La station de dessalement de Mostaganem	12
Figure II _A .3 : Le système de pompage de l'eau de mer	13
Figure II _A .4 : Filtration de première et deuxième étape	15
Figure II _A .5 : Les châssis d'osmose inverse	17
Figure II _A .6 : Lits de calcite	19
Figure II _A .7 : Pompage de l'eau minéralisée	20
Figure II _B .1: Principe de l'osmose inverse	22
Figure II _B .2: Schéma général d'une installation d'OI	23
Figure II _B .3 : Membrane en spirale	28
Figure III.1: Description des étapes de l'autopsie d'une membrane d'OI	34
Figure III.2 : Membranes en position 1 et 7 Côté alimentation	35
Figure III.3 : Membrane en position 7 côté rejet	35
Figure III.4 : Membrane en position 1 côté alimentation	35
Figure III.5 : Détail du dépôt dans la membrane en position 1	36
Figure III.6 : Surface de la membrane et détail de l'espacement en position 7.	36
Figure III.7 : Membrane en position 1 testée au bleu de méthylène	37
Figure III.8 : Membrane en position 7 testée au bleu de méthylène	37
Figure III.9 : Test de Fujiwara dans les membranes en position 1 et 7	38
Figure III.10 : Image du microscope électronique à balayage.	39
Figure III.11: Analyse par rayon X de la membrane en position 1	39

Figure III.12 : Image agrandi du microscope électronique à balayage	39
Figure III.13 : Analyse par rayon X de la membrane en position 7	40
Figure III.14 : La variation de la conductivité en fonction de la concentration de la solution	44
Figure III.15 : Le cycle fermé du nettoyage en place (NEP)	45
Figure III.16: Le nettoyage chimique.....	46
Figure III.17: Evolution de la différence de pression en fonction du temps	46
Figure III.18 : Evolution de débit normalisé de perméat en fonction du temps.....	47

Liste des abréviations

ADE : Algérienne des eaux.

°C : degré Celsius.

CFU : Unités Formant Colonies.

CIP : Cleaning In Place.

cm : centimètre.

Cp : Concentration perméable.

°f : degré français.

G : Genesol.

g : gramme.

HCl : Acide chlorhydrique.

HP : Haute Pression.

j : jours.

K : Kelvin.

kg : Kilogramme.

km : Kilomètre.

L : Litre.

LSI : Indice de Langelier.

m : mètre.

MES : Matière En Suspension.

min : minutes.

mm : millimètre.

MTD : Matière Totale Dissoute.

N : Normalité.

NEP : Nettoyage En Place.

NTU : Nephelometric Turbidity Unit.

OI : Osmose Inverse.

OMS : Organisation Mondiale de la Santé.

ONU : Organisation des Nations Unies.

P : Pression.

P_A : Pression d'Alimentation.

Pa : Pascal.

pH : Potentiel d'Hydrogène.

P_p : Pression de permeat.

ppm : partie par million.

P_R : Pression de retentât.

PTM : Pression Transmembranaire.

R_{obs} : Rétention observé.

s: Seconde.

SDI: Silt Density Index.

T : Température.

TH : Titre Hydrotimétrique.

T_R : Taux de Rétention.

T_r : Transmission.

μS : micro Siemens.

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Recommandations relatives des paramètres physico-chimiques selon la norme OMS	7
Tableau II _A .1: Les stations de dessalement en Algérie	11
Tableau II _B .2 : Les caractéristiques d'une membrane spiralée	28
Tableau III.1 : Identification des bio-films	38
Tableau III.2 : Le pourcentage de changements de débit et de rejet de sel avec différents nettoyants dans les membranes	41
Tableau III.3 : Valeurs de la conductivité en fonction de la concentration de la solution	44
Tableau III.4 : Détermination des paramètres pendant le lavage chimique	44

Introduction générale

Introduction générale

L'eau fait partie de la nature, elle contribue à modifier chaque jour le visage de la terre par l'érosion, le transport et la sédimentation des matériaux, elle est aussi un facteur écologique important pour l'existence de l'homme. Elle est indispensable pour la survie et pour le développement de la société moderne [1].

L'eau dont nous disposons dans la nature n'est pas directement utilisable pour la consommation humaine ni pour l'industrie, car elle n'est pas, sauf dans des rares cas, suffisamment pure, elle est polluée et chargée de matières en suspensions ou en solution [2].

Nous nous intéressons spécialement à l'alimentation en eau potable qui est essentielle pour la santé. Sa disponibilité, outre un droit humain de base, déclaré par la loi relative à l'eau, l'eau demeure un critère indispensable pour la vie et pour le développement socioéconomique durable d'un pays.

Actuellement, selon l'OMS, une personne sur trois dans le monde n'a pas assez d'eau pour répondre à ses besoins quotidiens à cause de la rareté de l'eau qui se fait de plus en plus sentir et devient sans doute l'un des défis majeurs.

De nos jours, l'eau de mer représente donc une richesse quasiment inépuisable, mais uniquement si on peut la dessaler, car elle contient une concentration en sels mille fois plus grande que la limite fixée par l'OMS pour pouvoir être consommée, c'est-à-dire une teneur maximale en sels de 500mg/L.

Face à cette situation, le dessalement des eaux de mer ou des eaux saumâtres constitue ainsi une des réponses possibles pour s'adapter au manque croissant des ressources en eau.

Dans cette optique, une étude est menée en vue d'explorer les différents traitements d'eau de mer, et d'étudier les paramètres des châssis d'osmose inverse(OI) ,qui est le principal procédé membranaire, puis faire une étude comparative avant et après le lavage chimique de ces paramètres afin de garder leur bonnes performances de fonctionnement et d'élargir la durée de vie des membranes et d'assurer les besoins contractuels en termes de débit et de qualité au niveau de la station de dessalement d'eau de mer « SONAGHTER ».

Chapitre I

Généralités sur l'eau



I.1. Définition de l'eau

L'eau est un composé chimique ubiquitaire sur terre, essentiel pour tous les organismes vivants. Le corps humain est composé de 70% d'eau.

L'eau est présente sous trois états, en générale à l'état liquide, c'est notamment un solvant très efficace incolore et inodore. La formule chimique de l'eau pure est H_2O .

Les substances se trouvant dans l'eau se présentent sous l'une des formes : en suspension, colloïdale et dissoute [3]. Lorsqu'elle gèle, elle augmente de volume, elle se solidifie et flotte en milieu liquide.

I.2. Cycle de l'eau

L'eau sur terre sous ses différents états physiques (gazeux, liquides et solides) se trouve engagée dans un vaste mouvement cyclique d'évaporation et de précipitation qui soumet les terres émergées à un lessivage, à une espèce d'extraction méthodique des corps solubles ainsi qu'à une érosion permanente [3], Comme le montre la figure I.1. Le cycle se trouve donc fermé ce qui se traduit par un bilan global exprimant l'égalité des pertes et des gains :

$$\text{Précipitation} = \text{ruissellement} + \text{évaporation} + \text{transpiration} + \text{infiltration}$$

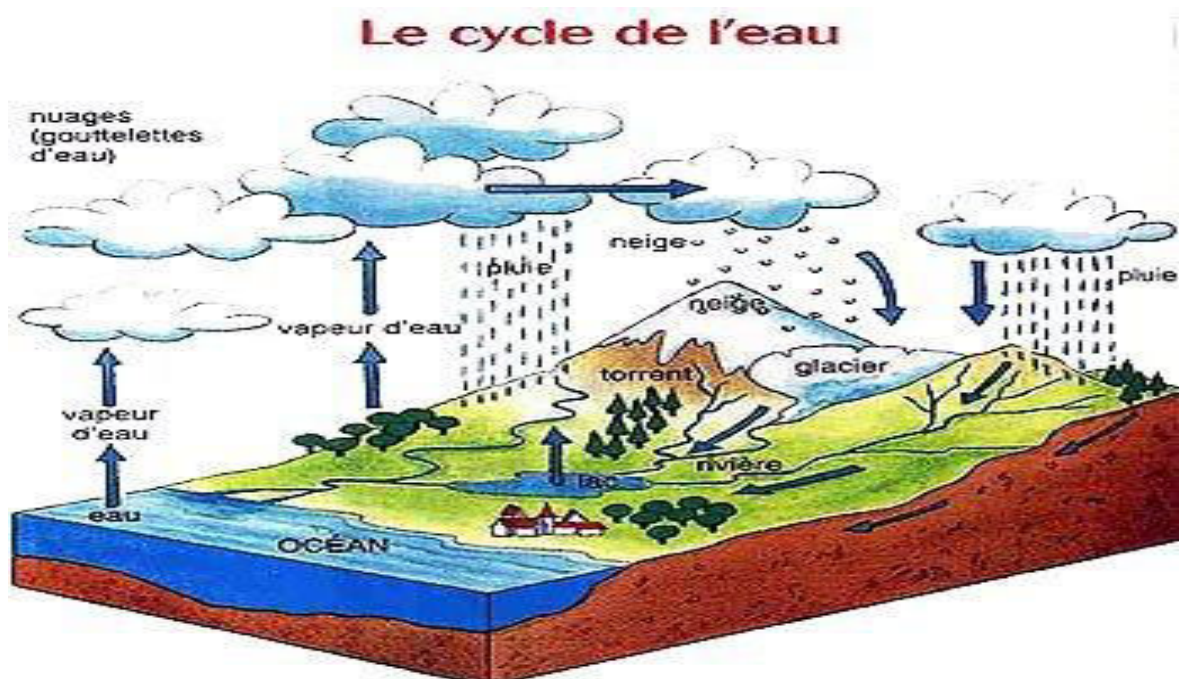


Figure I.1 : Le cycle de l'eau.

I.3. Importance du traitement des eaux

L'organisation des Nations Unies (ONU) s'est fixé pour objectif l'approvisionnement et l'assainissement en eau pure tous les individus de la planète en 1990. L'organisation mondiale de la santé (OMS) et la banque mondiale estimaient qu'il faudrait investir au départ de 300 à 600 milliard de dollars américains pour atteindre cet objectif. L'OMS estime en effet que 80% des maladies qui affectent la population mondiale sont directement associées à l'eau. On estime que les eaux polluées sont responsables de 50% des cas de mortalité infantile [4].

I.4. Les différents types d'eaux

I.4.1. Eaux de pluie

Les eaux de pluie sont des eaux de bonne qualité pour alimentation humaine. Elles sont saturées d'oxygène et d'azote et ne contiennent aucun sel dissous ; elles sont donc très douces [4]. Etant donné qu'elles sont peu minéralisées, les eaux de pluie sont agressives et peuvent corroder les conduites [5].

I.4.2. Eaux de surface

On peut répartir les eaux de surface en deux catégories d'eaux de rivières et eaux de lacs. Ces eaux sont caractérisées par une surface libre et sont stockées dans des réservoirs naturels ou artificiels ; La dureté de toutes les eaux de surface est modérée [4].



Figure I.2 : Les eaux de surface.

I.4.3. Eaux souterraines

Les eaux souterraines proviennent de sources ou de puits. Elles sont définies par la porosité et la structure du terrain, ces deux paramètres déterminent le type de nappe et le mode de circulation de l'eau [6].



Figure I.3 : Les eaux souterraines.

I.4.4. Eaux marines

L'eau de mer est une solution complexe qui contient tous les éléments indispensables à la vie (calcium, silicium, carbone, sodium, chlorure), des matières organiques (teneur comprise entre 0,5 et 2 mg) et naturellement à l'état dissous, les gaz présents dans l'atmosphère. L'eau de mer est faiblement alcaline, son pH étant compris entre 7,5 et 8,4 [6]. La caractéristique la plus importante des eaux de mer est leur salinité c'est-à-dire leur teneur globale en sels (chlorures de sodium et de magnésium, sulfate, carbonates). La salinité moyenne des eaux de mer et océans est de 35 g /L, Cette salinité peut être différente dans le cas de mer fermée [7].



Figure I.4 : Les eaux marines.

I.4.5. Eaux saumâtres

Généralement on appelle eau saumâtre, une eau salée non potable de salinité inférieure à celle de l'eau de mer. La plupart des eaux saumâtres contiennent entre 1 et 10 g de sels par litre. Ce sont parfois des eaux de surface mais le plus souvent des eaux souterraines qui se sont chargées en sels, en dissolvant certains sels présents dans les sols qu'elles ont traversés. Leur composition dépend donc de la nature des sols traversés et de la vitesse de circulation dans ces sols. Les principaux sels dissous sont le CaSO_4 , le CaCO_3 , le MgCO_3 et le NaCl .

I.5. Normes de qualité

I.5.1. Normes microbiologiques

Le risque microbiologique d'origine hydrique correspond à la présence dans l'eau des microorganismes pathogènes, ou potentiellement pathogènes et ce en quantité supérieure au seuil d'infection fixé par l'OMS. Parmi ces micro-organismes, on distingue les virus, les bactéries et les protozoaires.

Le risque microbiologique provient donc du pouvoir pathogène de ces germes qui est conditionné non seulement par les propriétés de l'agent infectieux, mais aussi par la réceptivité de l'hôte. Il convient de préciser que la mise en œuvre de procédés élémentaires de désinfection telle que la chloration de l'eau, permet d'éradiquer totalement les fléaux tels que le choléra, la dysenterie bacillaire ou les fièvres typhoïdes et paratyphoïdes.

I.5.2. Normes physico-chimiques

Les valeurs garanties de la qualité de l'eau commercialisable seront conformes aux valeurs de la directive de l'organisation mondiale de la santé (OMS) pour la qualité de l'eau potable en vigueur en 2003, sauf pour les paramètres indiquées ci-dessous. Pour ces paramètres les valeurs garanties pendant ou l'eau de mer traitée.

Tableau I.1 : Recommandations relatives des paramètres physico-chimiques selon la norme OMS.

Paramètres	Valeur
Matière totale dissoute	150<MTD<500ppm
Dureté totale (TH)	65 mg /L de CaCO ₃
Alcalinité	50 à 65 mg/L de CaCO ₃
PH	7.5 à 8.5
Indice de Langelier (LSI)	0.0 à 0.4
Bore	Inferieur ou égale à 1 ppm (moyen annuel)
Température	Température de l'eau de mer soit inferieur à 24 °C
Turbidité	<5 NTU
Chlore libre	5 ppm

Chapitre II

procédé de dessalement de l'eau de mer



PARTIE (A)

Description des différents procédés de dessalement

II_A. Introduction

La crise de l'eau potable relance fortement l'intérêt de développer rapidement des techniques de dessalement moins chères, plus simples, plus robustes, plus fiables, si possible moins consommatrices d'énergie et respectant l'environnement. Les usines de dessalements de l'eau de mer sont des infrastructures littorales de service.

L'objectif principal de ces infrastructures est la production d'eau potable à partir du dessalement de l'eau de mer.

II_A.1. Définition du dessalement de l'eau de mer

Le dessalement s'appelle dessalage. C'est un processus de déminéralisation qui consiste à séparer l'eau et les sels à partir d'une eau brute, qui peut être de l'eau de mer d'origine continentale pour la rendre potable [8]. Le dessalement de l'eau de mer constitue donc un facteur de sécurité intéressant [9].

Il existe plusieurs procédés de traitement de dessalement qui permettent de changer l'eau de mer en eau « potable » dont l'application dépend de la taille de l'installation et de la salinité de l'eau à traitée. La figure II_A.1 présente les principaux techniques, Cependant les deux technologies utilisées actuellement à l'échelle industrielle, sont celles basées sur la distillation et l'osmose inverse.

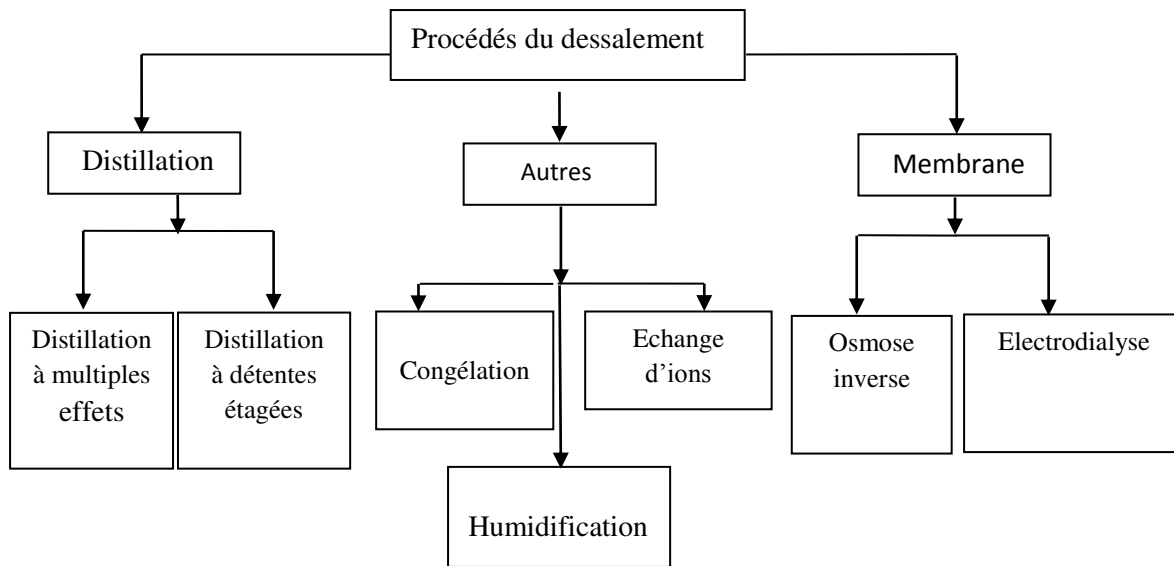


Figure II.A.1 : Classification des procédés de dessalement [10].

II.A.2. Les avantages et les inconvénients du dessalement de l'eau de mer

Ce procédé présente les avantages suivants :

- L'utilisation de l'eau de mer qui peut être actuellement considérée comme une ressource inépuisable car l'eau est une énergie renouvelable.
- Une pollution minime par rapport aux autres types d'usines (nucléaire, hydraulique,...).
- Le dessalement offre des rejets très limités.
- Permettre de créer une l'eau douce alors qu'il n'y en a presque plus sur terre [11].

Néanmoins des inconvénients existent :

- Coût énergétique élevé.
- Le captage de l'eau de mer peut modifier les flux maritimes.
- Risque de dégâts en fonds marins au niveau de la flore [12].

IIA.3. Les différentes stations de dessalement en Algérie

Les ressources hydriques de l'Algérie restant limitées, pour des raisons climatiques. Voici un tableau qui regroupe les principales stations de dessalement en Algérie [9].

Tableau IIA.1 : Les stations de dessalement en Algérie.

N°	Localisation	Capacité (m ³ /j)	Population à servir (Habitant)
01	Kahrama (Arzew)	90.000	540.000
02	Hamma (Alger)	200.000	1.333.320
03	Skikda	100.000	666.660
04	BeniSaf (A.Temouchent)	200.000	1.333.320
05	Mostaganem	200.000	1.333.320
06	Fouka (Tipaza)	120.000	666.660
07	Cap Djenet (Boumerdes)	100.000	666.660
08	Souk Tleta (Tlemcen)	200.000	1.333.320
09	Honaine (Tlemcen)	200.000	1.333.320
10	Mactaa (Oran)	500.000	3.333.300
11	Ténès	200.000	1.333.320

IIA.4. Présentation de la station de dessalement d'eau de mer de Mostaganem

L'usine de dessalement d'eau de mer se situe à plage Cheliff à l'Est de la wilaya de Mostaganem à environ 8 km, à une capacité de production d'eau potable de 200.000 m³/j.

C'est une unité avec investissement Algéro-espagnole de production d'eau potable à partir de l'eau de mer, elle a été mise en service en septembre 2011. La station fonctionne selon le procédé de traitement d'osmose inverse, elle comprend une station de pompage d'eau brute, une station de production, un réservoir de services de stockage d'eau, atelier, bassin de saumures, équipement de nettoyages, système de communication, système de contrôle et un laboratoire.

L'usine se divise en deux compartiments identiques, l'un se trouve du côté nord et l'autre du côté sud.

Chaque compartiment fonctionne indépendamment de l'autre, l'avantage de cette séparation, c'est d'assurer la production de l'usine d'au moins de 50% de sa capacité ; s'il y'a une panne dans un pole l'autre ne devrait pas être affecté [14].



Figure II.A.2 : La station de dessalement de l'eau de mer de Mostaganem.

IIA.5. Description et fonctionnement normal des installations du process

IIA.5.1. Captage et pompage de l'eau de mer

Le système de captage a pour but d'impulser vers le prétraitement de l'eau de mer en quantité et à la pression nécessaire pour produire la quantité de l'eau potable désirée.

Le système de captage comprend les sous-systèmes suivants :

a) Tours de captage et tuyauteries de captage

Le captage de l'eau de mer se fait à travers de deux tours de prise connectées au réservoir de pompage d'eau de mer par deux tuyauteries d'haute densité de 1800 mm de diamètre où l'eau doit circuler à une vitesse d'environ 1 m/s.

Les tours de prise sont submergées à une distance de la cote d'environ 2500 m et 16.5 m de profondeur et contiennent quatre grilles rectangulaires de $3.89 * 1.42$ m et trous de $3.54 * 1.30$ cm installées pour éviter le passage des poissons, méduses, cailloux (les grands tailles éléments) [13].

b) Système anti-méduses

Ce système a été conçu pour générer un rideau d'air au tour des grilles pour qu'il fasse flotter ces animaux et d'autres éléments vers la surface ; aussi pour le nettoyage des grilles de tours de prises.

c) Système d'amorçage des pompes de l'eau de mer

L'aspiration des pompes d'eau de mer sera normalement plus haute que le niveau d'eau du réservoir de captage. Le système d'amorçage des pompes d'eau de mer a pour but d'extraire l'air de conduite d'aspiration des pompes de l'eau de mer et pour éviter la cavitation de la pompe [13].

d) Système de pompage de l'eau de mer

Ce système a pour but de fournir au prétraitement de l'eau de mer en quantité et à la pression nécessaire pour produire la quantité d'eau potable désirée [13].



Figure II.A.3 : Le système de pompage de l'eau de mer.

II.A.5.2. Système de prétraitement

Le prétraitement de l'eau de mer avant l'osmose inverse est absolument nécessaire car les membranes d'osmose inverse sont très sensibles au colmatage, pour une bonne qualité de l'eau en entrée des modules d'osmose inverse et indispensable pour assurer les performances stables de l'osmose inverse sur le long terme. Les procédés de prétraitement peuvent être divisés en deux catégories : les prétraitements physiques et les prétraitements chimiques.

Les prétraitements physiques incluent la filtration à sable et la microfiltration (les filtres à cartouche).

Le prétraitement chimique ou bien le conditionnement chimique consiste en l'addition d'inhibiteur d'entartrage, de coagulant-floculant et des désinfectants [14].

IIA.5.2.1. Conditionnement chimique**a. Dosage d'hypochlorite de sodium (NaOCl)**

Se fait par l'ajout de réactif (NaOCl) pour éliminer les microorganismes les bactéries et pour la désinfection de l'eau de mer, il faut le stocker loin des substances inflammables.

b. Dosage de permanganate de potassium (KMnO₄)

Il s'agit d'un système de dosage pour éliminer les matières organiques aérobies (présence d'oxygène) et pour la désinfection de l'eau de mer.

c. Dosage d'acide sulfurique (H₂SO₄)

La fonction de ce système est de réduire le pH de l'eau de mer pour optimiser un bon rendement de coagulation-floculation.

d. Dosage de coagulant (chlorure ferrique) (FeCl₃)

Il se fait par l'ajout d'un coagulant qui sert à neutraliser directement les charges négatives à la surface des colloïdes, et à réduire la production des boues.

e. Dosage de flocculant (poly électrolyte)

Il s'agit d'un système de dosage de flocculant pour agglomérer des particules déstabilisées en micro flocs, il complète l'action du coagulant en rassemblant les colloïdes neutralisés et permet d'éliminer la fuite de turbidité de la filtration primaire [15].

f. Dosage de soude caustique (NaOH)

La fonction du système de dosage de la soude caustique est d'augmenter le pH de l'eau micro-filtrée [13].

g. Dosage méta bisulfite de sodium (Na₂O₅S₂)

Il s'agit un système de dosage pour neutraliser les résidus du chlore dans l'eau qui entre aux membranes et pour empêcher la croissance de tout microorganisme qui peut causer la pollution organique [15].

h. Dosage de dispersant

Il s'agit un système de dosage pour éviter le colmatage ; inhiber le tartre dans le process d'osmose inverse qui s'applique à l'eau qui entre aux membranes. On ajoute cet anti scalant avant et après la microfiltration.

IIA.5.2.2. Système de filtration

Le système de filtration est un procédé physique destiné à clarifier les matières solides en suspension, il permet d'obtenir une bonne élimination des bactéries, de l'odeur et de la turbidité, il sert aussi à protéger et améliorer la performance du système d'OI [4].

L'usine est équipée avec deux étapes de filtration; une première étape avec des filtres mixtes à sable-anthracite et une seconde étape avec des filtres à sable.

a) Filtration de première étape

La fonction de la première filtration est d'éliminer les matières en suspension, les gros débris ainsi que l'odeur de l'eau de mer par l'antracite et d'atténuer la turbidité.

L'usine est équipée avec deux lignes de filtration de première étape avec douze (12) filtres horizontaux, chaque filtre a une surface moyenne de filtration de 91,39 m² et un diamètre de 4 m d'une longueur totale de 24,04 m, ils contiennent 360 crépines.

b) Filtration de deuxième étape

Il existe deux batteries munies de huit (8) filtres horizontaux, Chaque filtre a sa dimension, caractéristique et sont les même que celles des filtres à sable de la première étape. Le sable se compose par des grains propres et libres d'argile, de poussières et des matières organiques [13].

Le nettoyage des filtres se fait avec de l'air et de la saumure du rejet du procédés d'OI.



Figure IIA.4 : Filtration de première et deuxième étape.

c) La microfiltration

La fonction du système de microfiltration est de protéger le système d'O.I empêchant le passage des particules suspendues dans l'eau filtrée non retenues par les filtres au système de pompage d'haute pression.

Ce système consiste à deux lignes équipées de neuf (9) filtres à cartouche, chaque filtre est muni de 360 cartouches de 1250 mm de longueur, la microfiltration ne permet pas de laisser passer les particules de taille inférieure à 5 μ m.

IIA.5.2.3. Système d'osmose inverse

Le système d'osmose inverse est le cœur de l'usine ; sa fonction est de réduire la teneur en sels de l'eau micro-filtrée.

Le système d'O.I est composé par les sous-systèmes suivants :

a. Le système de pompage d'haute pression, pompe Booster et récupération d'énergie

La fonction du système de pompage d'haute pression est d'impulser l'eau micro-filtrée vers les châssis d'O.I (65% du débit d'eau sera impulsé vers les châssis) avec la pression osmotique en assurant la production du débit d'eau déminéralisée désirée.

Le débit d'eau micro-filtrée requis sera impulsé vers les châssis par les pompes d'haute pression, Le reste du débit sera pressurisé jusqu'à atteindre la pression d'attaque aux membranes nécessaire avec les échangeurs de pressions (chambres isobares, et des pompes booster).

Dans les chambres isobariques l'énergie hydraulique résiduelle de la saumure est transmise à l'eau micro-filtrée. Ensuite, les pompes boosters augmentent la pression de l'eau de mer poussée par les ERI, jusqu'à atteindre la pression d'alimentation aux châssis requise. L'eau micro-filtrée pressurisée par les pompes d'haute pression et les pompes boosters est impulsée vers un collecteur commun qu'alimente tous les châssis des membranes d'O.I.

b. Châssis d'osmose inverse

Les membranes proposées sont de surfaces élevées de la marque DOW FILMTEC et NANO/LG sont fabriquées en polyamide aromatique et leur configuration est spirale.

Les membranes d'O.I sont regroupées en séries dans des tubes de pression. Les tubes de pression sont arrangés en parallèle pour satisfaire les caractéristiques de débit et de pression des membranes [13].

L'O.I met en œuvre des membranes semi-perméables qui laissent passer l'eau, de cette façon l'eau pénètre axialement par un extrême traversant la membrane située en premier lieu et ainsi de manière continue et tangentielle jusqu'au septième élément, alors qu'elles retiennent 99.6 % de tous les éléments minéraux dissous de même que 100% de la plupart des molécules organiques et des matières colloïdales les plus fines, inertes ou vivantes (argiles, micro algues, macromolécules...etc.). En générale; dans l'O.I, l'eau micro-filtrée migre du compartiment le plus concentré vers le moins concentré [7].



Figure II_A.5 : Les châssis d'osmose inverse.

c. Nettoyage chimique

L'eau micro-filtrée s'écoule de façon tangentielle le long de la membrane, créant un gradient de concentration horizontale sur la longueur de la membrane. L'encrassement peut être dû aux matériaux colloïdaux, aux petites précipitations...etc. pour cela il est nécessaire de la laver.

Le lavage doit être fait obligatoirement dans le cas où :

- Le débit normalisé du perméat est inférieur à 10-15% du débit initial.
- Le passage des sels du module dépasse 10% de la valeur initiale.
- La perte de pression des membranes s'accroît de plus de 10% par rapport à la valeur initiale.

IIA.5.2.4. Système de reminéralisation et conditionnement de l'eau osmotique

Ce système permet de potabiliser l'eau à la sortie de l'O.I (l'eau osmotique), de diminuer l'agressivité de l'eau et d'atteindre les valeurs d'alcalinité, dureté, pH, LSI et MTD garanties. Il permet de rendre à l'eau son équilibre calco-carbonique et de préserver ainsi le réseau de distribution de la dégradation par corrosion [13].

L'eau osmotique de chaque ligne d'O.I est conduite vers la reminéralisation à travers des collecteurs indépendants.

L'eau est stockée dans un réservoir de 6 m de hauteur, pour permettre le passage de l'eau osmotique à travers les lits de calcite par l'effet de la gravité et d'atteindre ainsi, le réservoir de stockage de l'eau produite.

Dans la tuyauterie le raccordement de réservoir de l'eau osmotique avec le réservoir des couches à calcite se fait par un dosage de CO₂.

L'eau rentre par le bas des cellules et elle est distribuée au travers des faux fonds des lits de calcite [13].

a. Dosage de dioxyde de carbone

Le CO₂ sera stocké sous forme liquide à -87°C et 20,5 kg/cm² de pression, il sera ensuite évaporé jusqu'à sa forme gazeuse pour être enfin, introduit par des injecteurs dans la tuyauterie de raccordement du réservoir de l'eau osmotique avec le réservoir des couches à calcite [13]. On ajoute le CO₂ à l'eau traitée pour diminuer son pH.

b. Lits de calcite

Le système de reminéralisation est équipé avec deux lignes de lits de calcite, chaque ligne compte 30 cellules de 14 m² de surface unitaire.

L'eau rentre par le bas du réservoir et elle est distribuée à travers un faux fonds de lits. Ensuite l'eau monte depuis le bas de la couche de filtration à carbonate calcique. Après le procédé de reminéralisation la dureté et l'alcalinité de l'eau se voient augmentées.

L'anhydride carbonique dissout dans l'eau réagit avec le carbonate calcique de la couche formant le bicarbonate calcique (Ca₂CO₃).



Figure II.A.6 : Lits de calcite.

c. Dosage de chlore résiduel

Ce système de chloration se fait pour une dose d'hypochlorite résidu à pour but d'empêcher la décontamination de l'eau commercialisable dans le réseau de transport d'eau externe. La dose maximale prévue de conception est de 1,5 ppm. Le point de dosage sera à l'entrée dans le réservoir d'eau produite.

II.A.5.2.5. Stockage et impulsion de l'eau produite

Le système de stockage et impulsion de l'eau commercialisable à pour objectif de pomper l'eau produite vers le réseau de distribution à travers un réseau d'eau externe géré par Algérienne des eaux (ADE).

Le réservoir d'eau reminéralisée a une capacité de 4000 m³ et il est fabriqué en béton armé.



Figure II.A.7 : Pompage de l'eau minéralisée.

II.5.2.6. Système de vidange des saumures

L'évacuation des rejets de station de dessalement est réalisée via un canal équipé par des diffuseurs au bout de son tronçon sous-marin.

Une fois que la saumure passe par les récupérateurs de pression, elle est ramassée par un collecteur, ce collecteur décharge dans un réservoir enterré chargé de collecter de l'eau pour le lavage des filtres.

La saumure est rejetée dans un hangar de sortie du canal auquel il est raccordé.

PARTIE (B)

Osmose inverse

II_B. Introduction

Dans la nature l'osmose est un phénomène essentiel aux équilibres biologiques. Mais le procédé industriel est qualifié d'osmose inverse car à l'aide d'une forte pression (supérieure à la pression osmotique), on force l'eau salée à passer du compartiment le plus concentré en sels au compartiment d'eau. Dans la réalité, si on avait laissé faire la nature, sans imposer ni membrane ni pression, l'eau douce se serait chargée en sels et l'eau salée se serait diluée [17].

II_B.1. Osmose

L'osmose directe est un phénomène naturel selon lequel l'eau migre à travers une membrane semi-perméable, du compartiment le moins concentré vers le plus concentré. Il se poursuit jusqu'à atteindre un équilibre; la différence de pression ainsi crée une pression osmotique. Si on applique sur la solution concentrée une pression supérieure à la pression osmotique, on inverse le phénomène : l'eau migre du compartiment le plus concentré vers le moins concentré. Les solutés (sels, molécules.....etc.) sont retenus par la membrane [17].

II_B.2. Osmose inverse

L'osmose inverse est un procédé de séparation en phase liquide qui permet l'élimination d'un solvant (eau dans la plupart des cas) d'une solution par perméation sélective à travers une membrane semi-perméable sous l'action d'un gradient de pression (54 bars 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. L'énergie requise par l'osmose inverse est uniquement électrique consommée principalement par les pompes haute pression [18].

L'osmose inverse est utilisée pour le dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres, la concentration des fluides alimentaires (lait, jus de fruits...) et pour le traitement d'effluents liquides [19].

II.B.3. Le principe d'osmose inverse

Le principe de l'osmose est basé sur l'équilibre de concentration en soluté de part et d'autre d'une membrane semi-perméable. Considérons un système à deux compartiments séparés par une membrane permselective et contenant deux solutions de concentrations différentes. Le phénomène d'osmose va se traduire par un flux d'eau dirigé de la solution diluée vers la solution concentrée. La quantité d'eau transférée par osmose va diminuer. Il arrivera un moment où la pression appliquée sera tel que le flux d'eau va s'annuler. Si pour simplifier, on suppose 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 [7].

Donc ; l'osmose inverse est une technique séparative qui consiste à extraire l'eau d'une solution généralement salée dans notre cas, c'est l'eau de mer. Elle permet en principe de réduire la concentration totale en solutés [20].

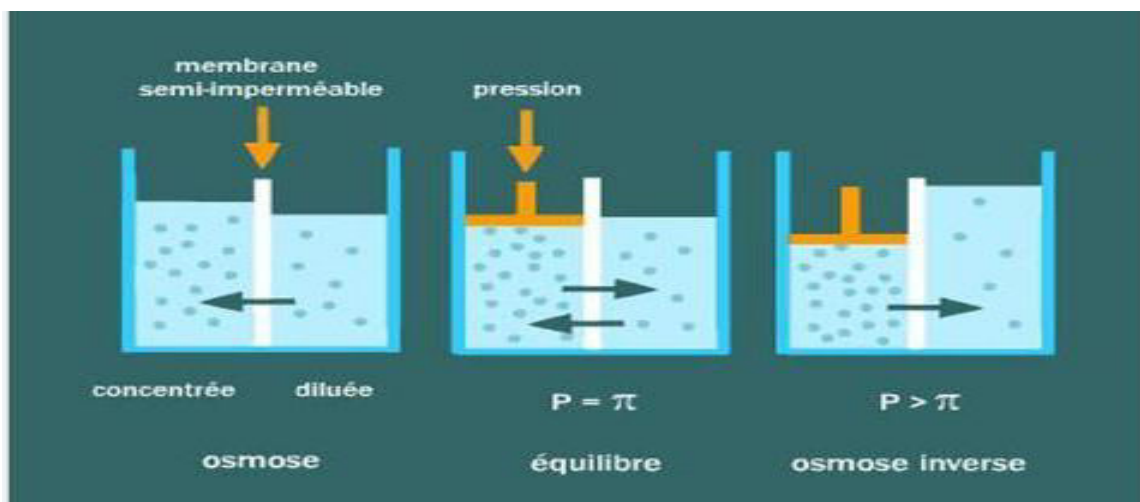


Figure II.B.1 : Principe de l'osmose inverse.

II.B.4. Schéma général d'une installation d'osmose inverse

Les principaux constitutifs d'une installation d'osmose inverse sont schématisés sur la figure suivante :

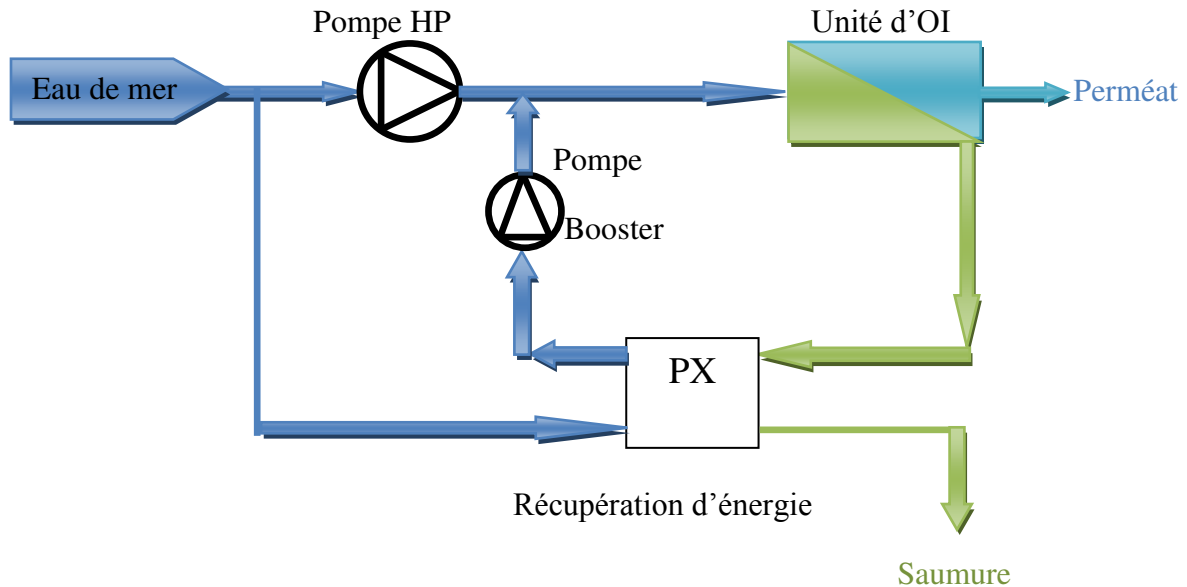


Figure II.B.2 : Schéma général d'une installation d'OI.

II.B.5. Les caractéristiques principales d'une unité d'osmose inverse

II.B.5.1. 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 :

$$\pi = i * C * R * T \quad (\text{II.B.1})$$

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 ($0,0831 \text{ L.bar.mol}^{-1}.\text{K}^{-1}$).

T : la température (K).

II.B.5.2. Taux de conversion

La solution à traiter (l'eau micro filtrée) à débit Q_0 se divise au niveau de la membrane en deux parties de concentration différentes :

- Une partie qui passe à travers la membrane appelée perméat à débit (Q_p).
- Une partie qui ne passe pas à travers la membrane qui contient les molécules ou les particules retenues par les membranes et elle est appelée concentrât (rétentât ou saumure).

Le taux de conversion est défini comme la fraction de débit du liquide qui traverse la membrane [21].

$$Y = Q_p / Q_0 \quad (\text{II.B.2})$$

II.B.5.3. Sélectivité

La sélectivité est une caractéristique de surface de la membrane qui est définie comme la possibilité de laisser passer ou de retenir les solutés en fonction de leur poids moléculaire.

En générale ; elle est définie par le taux de rétention ou le taux de rejet de l'espèce que la membrane est censée retenir.

$$T_r = (C_0 - C_p) * 100 / C_0 = (1 - C_p) / C_0 \quad (\text{II.B.3})$$

Avec :

C_p : concentration finale (perméable).

C_0 : concentration initiale.

Il y a deux valeurs particulières du TR :

$T_r = 0 \%$ signifie que le soluté n'est pas du tout retenu par la membrane.

$T_r = 100 \%$ signifie que le soluté est entièrement retenu par la membrane.

Dans le cas de l'osmose inverse, le soluté de référence est souvent le chlorure de sodium (NaCl). Certaines membranes développées pour le dessalement de l'eau de mer ont un taux de rejet au chlorure de sodium d'environ 99 % [7].

II.B.5.4. Mécanisme de transfert

Dans le cas de l'osmose inverse, les transferts des solvants et de soluté au travers d'une membrane semi-perméable se font par solubilisation et diffusion :

Toutes les espèces moléculaires (soluté et solvant) se dissolvent dans la membrane et diffusent à l'intérieure de celle-ci comme à travers un solide ou un liquide sous l'action d'un gradient de concentration et de pression [7].

II.6. Les avantages et les inconvénients d'osmose inverse

Les avantages de l'OI sont :

- Une séparation à température modérée, une absence de changement de phase, donc une moindre dépense énergétique comparée à des opérations comme la distillation ou l'évaporation.
- Le système ne gaspille pas autant d'eau, accumulation nulle de constituants dans la membrane, d'où un fonctionnement quasiment en continu, n'ayant pas besoin de cycle de régénération.
- Simplicité d'exploitation dans l'unité de traitement [17].
- Capacité de séparation élevée.
- Recyclage de perméat et du retentât est possible.
- Salinité de l'eau produite qui convient bien aux usages domestiques [22].

Les inconvénients de l'OI :

- Risque de colmatage.

II.B.7. Membrane**II.B.7.1. Définition**

La membrane est une mince paroi, qui est une interface physique de faible épaisseur permettant une séparation sélective d'espèces chimiques, ioniques, moléculaires ou biologiques entre les deux milieux qu'elle sépare.

Cette interface peut être homogène au niveau moléculaire, uniforme en composition et structure ; ou elle peut être chimiquement et physiquement hétérogène, contenant des pores de l'ordre de grandeur de nanomètre ou contenant des couches superposées [14].

Les membranes semi-perméables sont perméables à l'eau et à certains solutés mais imperméables à la très grande majorité des produits habituellement dissous dans l'eau, en particulier les molécules de la chimie organique : cas des membranes utilisées en OI [23].

De point de vue classification, il existe une grande diversité des membranes. Elles sont classées par famille selon leur nature chimique, leur structure et leur forme physique [14].

II.B.7.2. Les grandeurs caractéristiques de la membrane

II.B.7.2.1. La pression transmembranaire (PTM)

La pression transmembranaire (PTM) est la force motrice à l'origine de transfert. La PTM est la différence de pression entre le compartiment retentât et le compartiment perméat.

Dans la pratique, la PTM n'est pas parfaitement homogène sur toute la longueur de la membrane en raison de l'existence de pertes de charge entre l'entrée et la sortie côté perméat. Cette perte de charge côté retentât est généralement considérée comme négligeable en OI [19].

Ainsi l'habitude est prise en OI, de calculer la moyenne des pressions d'alimentations (P_A) et retentât (P_R), à laquelle on soustrait la pression du compartiment perméat (P_P). La PTM s'exprime sous la forme suivante:

$$PTM = (P_A + P_R / 2) - P_P \quad (II.B.4)$$

II.B.7.2.2. Flux, perméabilité et résistance hydraulique de la membrane

Sous l'action de la PTM, le solvant traverse la membrane et entraîne sélectivement les solutés.

Le flux de perméat (J) dans le solvant pur est proportionnel à la PTM appliquée. Il s'exprime par la loi de Darcy :

$$J = L_p * PTM \quad (II.B.5)$$

Avec :

J : le flux de perméat exprime en ($L \cdot h^{-1} \cdot m^{-2}$).

PTM : La pression transmembranaire exprimée en bar.

L_p : perméabilité hydraulique de la membrane exprimée en ($L \cdot h^{-1} \cdot m^{-2} \cdot bar^{-1}$).

Dans la pratique, la perméabilité dépend de la structure de la peau active et de la viscosité du perméat, elle est déterminée par la relation suivante :

$$L_p = 1 / (\mu * R_m) \quad (\text{II.B.6})$$

Avec :

R_m : La résistance hydraulique de la membrane (m^{-1}).

μ : La viscosité de perméat (Pa.s), qui est en fonction de la température [19].

II.7.2.3. Rétention et seuil de coupure de la membrane

La rétention d'un soluté par une membrane est définie comme la fraction de soluté présent dans la solution qui est retenue par la membrane. Le taux de rétention d'un soluté est déterminé selon la relation suivante :

$$\text{Ret} = 100 - T_r = (1 - (C_P / C_R)) * 100 \quad (\text{II.B.7})$$

Avec :

Ret : Le taux de rétention (%).

T_r : La transmission.

C_P : La concentration de soluté dans le perméat.

C_R : La concentration de soluté dans la retentât.

D'un point de vue pratique, la rétention est dite observée (R_{obs}) car elle est mesurée à partir de la concentration dans le retentât.

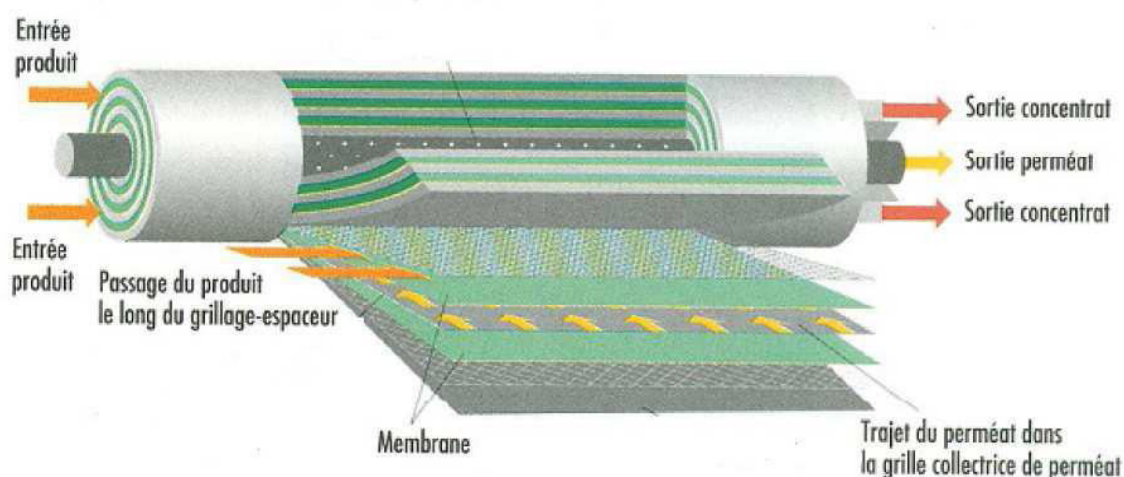
Le seuil de coupure d'une membrane est défini comme étant la plus petite masse molaire d'un soluté retenu à 90 % par la membrane, Il est exprimé en (g. mol^{-1}) [19].

II.7.3. Membrane d'osmose inverse

Parmi les types des membranes utilisées ; les membranes qui équipent la station de dessalement de l'eau de mer de Mostaganem sont de structure organiques et montées dans un module spiralé, elles sont fabriquées en polymères de synthèses (polyamide) ces membranes possèdent une dénomination commerciale SWHR-400I et sont fournies par la société DOW-FILMTEC et NANO/LG.

Tableau II.B.1 : Les caractéristiques d'une membrane spiralée.

Fabriquant de la membrane	DAW-FILMTEC
La structure	Organique
La nature chimique	Polyamide
La configuration	Spiralée
Capacité initiale	28 m ³ /j
Rejet des sels (%)	99,6
Pression maximale	83 bars
Température maximale d'opération	45°C
pH de l'opération	2-11
Max, perte de pression par membrane	0,9 bars
Diamètre	201 mm
Longueur	1016 mm

**Figure II.B.3** : Membrane en spirale.

II.B.7.4. Les ennemis de la membrane

II.B.7.4.1. Perméabilité

Une augmentation de la perméabilité se traduit par une diminution de la surface de la membrane. Plus une membrane est perméable, plus elle aura tendance à polariser (ce qui peut se traduire par un fonctionnement à pression plus faible) [25].

II.B.7.4.2. Durée de vie

La durée de vie des membranes dépend de la nature de la membrane mais aussi des conditions d'utilisations :

- Pression de fonctionnement.
- Température de l'eau.

- pH.
- qualité du prétraitement.

Les performances d'une membrane d'OI évoluent lentement au cours du temps.

En général, on change les membranes lorsque la qualité du perméat dépasse un certain seuil [25].

II.B.7.4.3. Sensibilité à la température

La température de l'eau est un facteur qui agit sur la dissociation des sels dissous, de même que sur les réactions chimiques et biochimiques, le développement et la croissance des organismes vivant dans l'eau et particulièrement les microorganismes [14].

En général, une augmentation de la température entraîne une augmentation du flux et une diminution de la surface de la membrane.

II.B.7.4.4. Sensibilité aux bactéries

Dès que l'eau vient en contact avec l'air et avec les équipements de collecte, elle est colonisée par une flore composée de bactéries, et des moisissures qui vont se développer dans le temps suivant une progression géométrique; une température plus élevée accélère ce développement. Plus la saison progresse, la contamination des équipements augmente et la multiplication des bactéries est accélérée par une température moyenne plus élevée.

Les bactéries représentent donc un danger permanent pour les membranes. Le diamètre d'une cellule, étant trop petit pour être filtrée, elles sont entraînées avec le concentré et introduites dans le corps de la membrane. Après un certain temps, leur nombre peut devenir tel que les colonies prennent l'apparence d'un gel (gélatine) qui obstrue presque complètement le passage du concentré. Il est virtuellement impossible d'éviter tout développement bactérien dans la membrane.

II.B.7.4.5. Sensibilité aux colmatages

Les eaux de mer contiennent la plupart du temps des matières organiques en suspension qui vont avoir tendance à se déposer sur les surfaces d'échange et les colmater [26]. Le colmatage est un phénomène d'accumulation de solutés à l'interface membrane/solution ou à l'intérieur des pores, il induit des modifications de perméabilité et de sélectivité de la membrane. Il va en résulter une augmentation de la résistance de

transfert et une diminution de la capacité de production de l'installation, il a pour conséquences de réduire le flux d'écoulement ou d'augmenter la pression d'opération [14].

Chapitre III

Partie expérimentale



Partie expérimentale

III. Introduction

Dans ce chapitre, on va mettre en évidence le problème rencontré dans les stations de dessalement qui est le colmatage et ceci en faisant un diagnostic des membranes en position 1 et 7 puis, on essayera de résoudre le problème du colmatage par un lavage chimique avec du Genesol 704.

Enfin, on fera une comparaison des paramètres des membranes avant et après le lavage chimique.

III.1. Facteur limitant le transfert de matière

III.1.1. Le colmatage

Le colmatage peut être défini comme le dépôt des substances organiques ou inorganiques, des colloïdes, des macromolécules et des sels retenus à la surface de la membrane qui provoque la décroissance continue et progressive du débit de perméat, d'augmenter la pression d'opération ainsi que de diminuer la durée de vie de la membrane.

La cause peut être un précipité organique ou minéral ou encore le dépôt des particules solides qui se manifeste par un blocage des pores.

On peut distinguer deux types de colmatage :

a. Le colmatage réversible

Ce colmatage est dû au dépôt réversible de la matière, il est facilement éliminé par un rinçage à l'eau de perméat. D'une certaine façon, ce colmatage est assimilable à la polarisation de concentration.

b. Le Colmatage irréversible

Ce type de colmatage est dû au dépôt de matière à la surface de la membrane et /ou dans les pores, il induit des modifications de perméabilité et de sélectivité de la membrane, cette partie de colmatage nécessite un nettoyage chimique [19].

- **Mesure de SDI**

Le SDI (silt density index) est équivalent à l'indice de colmatage ou fouling index.

- **Le principe**

La détermination du SDI est basée sur la mesure de la vitesse à laquelle une membrane de porosité 0,45 µm et de 47 mm de diamètre par filtration de l'eau à travers cette membrane à une pression de 2,1bars.

On fait la mesure pour un temps d'encrassement de 15 minutes.

- **Mode opératoire**

Placer le filtre humidifié sur son support et le fixer pour que la membrane soit en position horizontale. Purger l'air et ajuster la pression à 2,1 bars, maintenir cette pression pendant toute la durée du test.

Mettre en route le chronomètre au début de la filtration de l'eau en même temps et ne plus arrêter le chronomètre pendant tout la durée de l'opération.

Mesurer le temps nécessaire T_0 pour filtrer 500 mL d'eau (volume mesuré grâce à l'eau recueillie dans l'éprouvette graduée).

La filtration de l'eau étant continue et le chronomètre n'étant pas arrêter, quand ce dernier affiche 15min, mesurer le temps nécessaire T_{15} pour filtrer 100 mL d'eau.

Le pouvoir colmatant est donné par la relation suivante :

$$P\% = 100 \cdot (1 - T_0/T_{15}) \quad (\text{III.1})$$

L'indice de colmatage (FI ou SDI) :

$$\text{SDI} = P\%/T = 100 \cdot (1 - T_0/T_{15})/T \quad (\text{III.2})$$

Avec :

T_0 : temps initial nécessaire au remplissage d'un volume de 500 ml d'eau micro-filtrée.

T_{15} : temps final nécessaire au remplissage d'un volume de 500 mL d'eau micro-filtrée après 15 minutes du début de l'opération de mesure de l'indice de colmatage.

Si :

$\text{SDI} \leq 3$ exigence de traitement.

$\text{SDI} \geq 3$ il y a un colmatage.

III.2. Comment agir sur le facteur limitant

Malgré toutes les précautions prises, on a observé un changement dans les performances de la membrane d'OI installée sur site. Il a été notamment observé une chute de débit de perméat, la rétention de la salinité totale (passe de 10 à 15%) et une augmentation de différence de pression en particulier au-delà de 10 à 15%.

Pour régler le problème de colmatage, on estime nécessaire de faire un lavage des membranes avec un produit chimique.

Afin de déterminer le meilleur produit chimique qui permettra de résoudre notre problème d'encrassement, il faut faire une étude d'autopsie.

III.2.1. L'autopsie membranaire

Les membranes ont été reçues à la fin de l'année 2018. L'autopsie d'une membrane OI comprend les étapes suivantes :

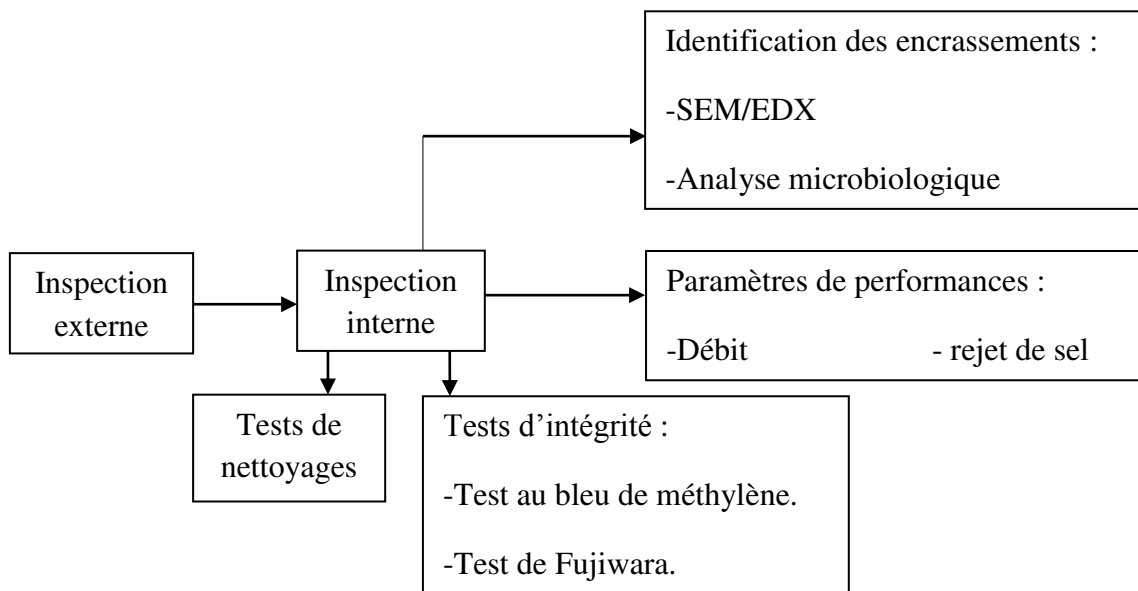


Figure III.1: Description des étapes de l'autopsie d'une membrane d'OI.

III.2.1.1. Inspection visuelle de la membrane

A.1. Contrôle externe

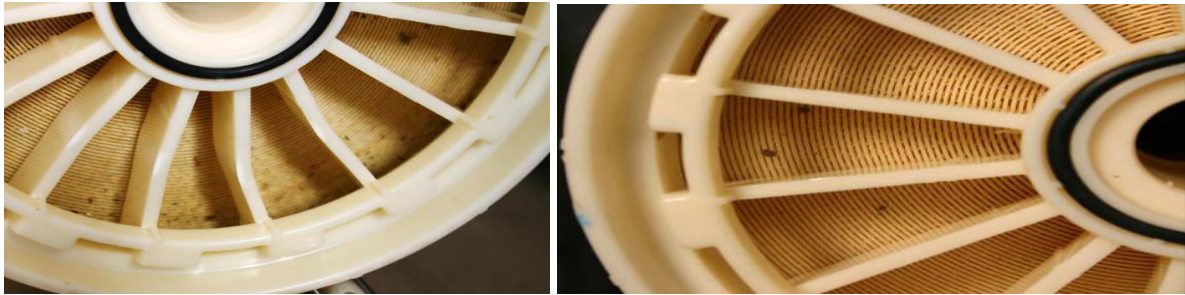


Figure III.2 : Membranes en position 1 et 7 Côté alimentation.

D'après le contrôle externe des membranes en position 1 et 7 côté alimentation, on remarque la présence de particules. Et d'après le même contrôle de la membrane en position 7 côté rejet, on remarque un dépôt blanc (figure III.3)



Figure III.3: Membrane en position 7 côté rejet

A.2. Contrôle interne



Figure III.4 : Membrane en position 1 côté alimentation.



Figure III.5 : Détail du dépôt dans la membrane en position 1.

D'après le contrôle interne de la membrane en position 1 côté alimentation, on remarque la présence d'un encrassement orange/brun sur toute la surface de la membrane, concentrée sur les zones de support d'espacement. L'image détaillée de l'espacement indique la présence de particules du côté de l'alimentation. Sur certaines enveloppes, On remarque la présence de points noirs, signe d'une croissance microbienne probable.



Figure III.6 : Surface de la membrane et détail de l'espacement en position 7.

D'après le contrôle interne de la membrane en position 7, on remarque la présence d'un mince d'espacement brun sur toute la surface de la membrane, concentrée sur les zones de support d'espacement. Le matériau d'espacement a été trouvé propre.

III.2.1.2. Essais de la membrane**a. Tests d'intégrité et d'oxydation****a.1. Test au bleu de méthylène**

Le test au bleu de méthylène détecte si la membrane est oxydée ou physiquement endommagée.



Figure III.7: Membrane en position 1 testée au bleu de méthylène.



Figure III.8 : Membrane en position 7 testée au bleu de méthylène.

D'après les figures III.7 et III.8, on observe un passage du colorant du côté perméat dans les deux membranes en position 1 et 7. Ce qui indique que le test est positif.

A.2. Test de Fujiwara

Le test Fujiwara détecte si la membrane est fortement oxydée. Il s'agit d'un test colorimétrique dans lequel une couleur rose dans la solution analytique indique la présence d'halogènes

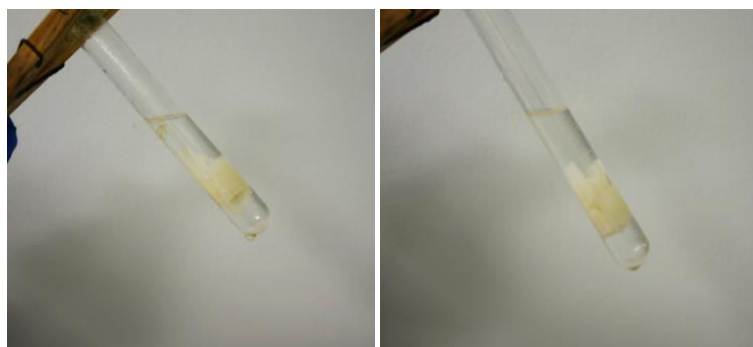


Figure III.9 : Test de Fujiwara dans les membranes en position 1 et 7.

D'après la figure III.9, on remarque que le test de Fujiwara est négatif dans les deux positions

III.2.1.3. Analyses de la surface de la membrane

a) Résultat du comptage microbiologique

Tableau III.1 : Identification des bio-films.

Paramètres	Position1 (CFU/cm ²)	Position 7 (CFU/cm ²)	Les valeurs de références pour les bio-films
Bactéries aérobies (22°C)	$2.3 \cdot 10^3$	$8 \cdot 10^2$	10^5
Bactéries réductrices de sulfites	<1	<1	<1
Moules et levures	10	$7.4 \cdot 10^2$	10

Les résultats obtenus à partir de cette analyse montrent la présence de microorganismes sur toutes les membranes étudiées.

b) Résultats d'analyse SEM-EDX

L'analyse par le microscope électronique à balayage-couplée à l'analyse par rayons X à dispersion d'énergie (SEM-EDX) a été utilisée pour identifier la composition élémentaire du produit d'encrassement détecté au niveau des membranes autopsiées. Les résultats de cette analyse sont regroupés dans les figures III.10 à III.12.



Figure III.10 : Image du microscope électronique à balayage.

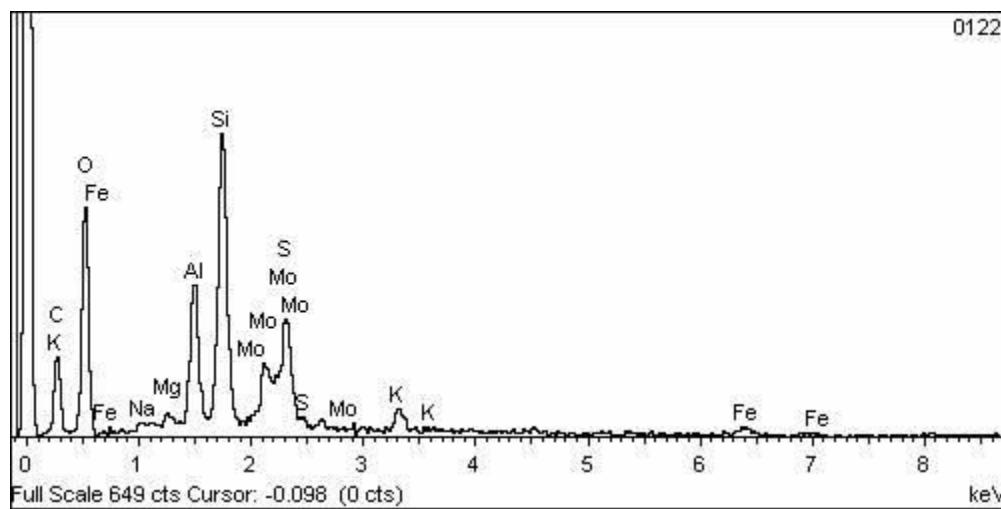


Figure III.11: Analyse par rayon X de la membrane en position 1.

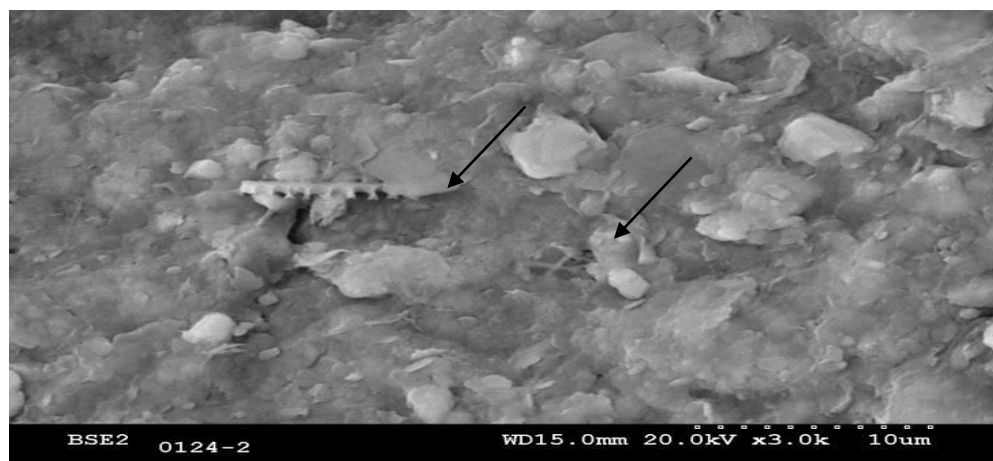


Figure III.12 : Image agrandi du microscope électronique à balayage.

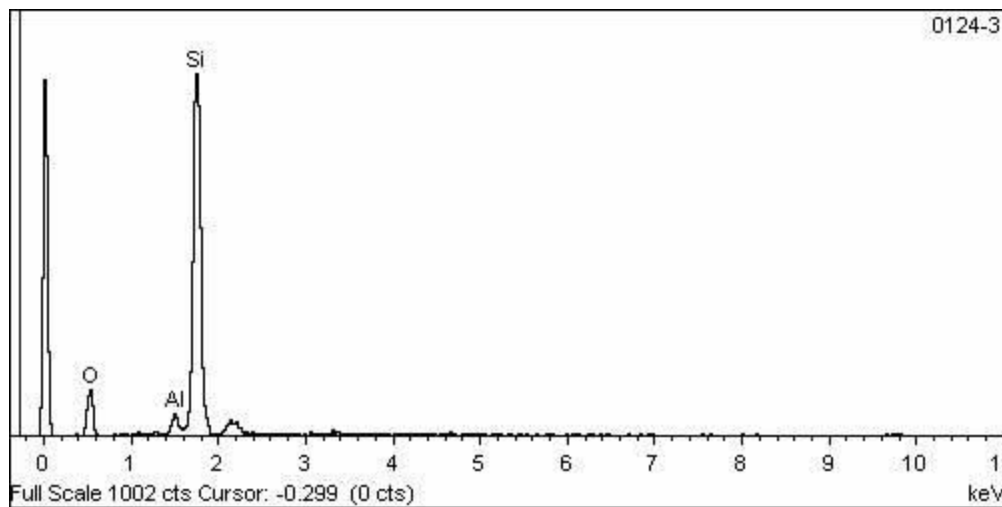


Figure III.13 : Analyse par rayon X de la membrane en position 7.

D'après les figures III.10 à III.13, on constate la présence d'encrassement et de micro-organismes

III.2.1.4. Essais de nettoyages sur plat -test à plat

Bien que le flux de perméat soit supérieur aux valeurs de références, différents programmes de nettoyages ont été testés sur les feuilles plates pour les coupons des membranes.

Tableau III.2 : Le pourcentage de changements de débit et de rejet de sel avec différents nettoyeurs dans les membranes.

Conditions de caractérisation : 800psi ; 32.000ppm NaCl, 1000 mL/min. Les solutions de nettoyage ont été recyclées à 40 psi.		Débit (L/m ³ .h 25°C) Valeur de référence : 31,53 L/m ³ .h			Rejet de sel (%) Valeur de référence : 99,8%		
		Avant	Après	%	Avant	Après	
Nettoyage 1	Étape 1 : 2% G40 à 35-40 °C (2 h)	44,61	43,24	-3,1	98,51	98,53	≈
Nettoyage 2	Étape 1: 2% G34 +1% G36 à 35-40°C (2h)	42,45	40,94	-3,6	98,95	98,83	↓
Nettoyage 3	Étape 1 : 2% G61 à 35-40°C (2h)	41,95	39,79	-5,4	99,10	99,15	↑
Nettoyage 4	Étape 1 : 2% G703 à 35-40°C (2h)	47,57	47,89	+0,66	98,36	98,40	≈
Nettoyage 5	Étape 1 : 2% G704 à 35-40°C (2h)	43,73	44,34	+1,4	98,04	98,02	≈
Nettoyage 6	Étape 1 : 2% G704 à 35-40°C (2h)	43,73	44,34	+1,4	98,04	98,02	≈
	Étape 2 : 2% G61 à 35-40°C (2h)	44,34	42,08	-5,1	98,02	97,66	↓
Nettoyage 7	Étape 1 : 2% G704 à 35-40°C (4h)	50,53	45,68	-9,6	99,22	99,21	≈
	Étape 2 : 2% G38 à température ambiante (1h)	45,68	36,99	-5,1	99,21	99,23	↓
	Étape 3 : 2% G704 à 35-40°C (2h)	36,99	44,17	+19	99,23	99,26	↑

Comme le montrent les résultats du tableau III.2, Genesol 704 n'a obtenu qu'une légère amélioration du débit de perméat, lorsqu'il a été appliqué en une seule étape pendant 2 heures.

Enfin, on peut conclure que les membranes autopsiées ont montré la présence d'un encrassement similaire principalement inorganique et composées de dérivés de protéines d'aluminosilicates liées à un bio-film de matière organique et à la présence des particules métalliques (fer, chrome et autres métaux).

III.2.2. Le nettoyage chimique

Le nettoyage chimique des membranes a pour but de limiter le colmatage irréversible de perméabilité et par le fait même, à prolonger la durée de vie des membranes. Afin de faciliter ce nettoyage, nos systèmes peuvent être équipés de nettoyage en place (NEP) ou cleaning in place (CIP) qui est un circuit fermé entre les membranes et un réservoir de nettoyage.

En présence des résultats d'autopsie, nous avons suivi la procédure suivante :

1. Remplir le réservoir CIP avec 40 m³ de perméat, commencez à chauffer l'eau jusqu'à 35°C au minimum tout en faisant recirculer l'eau chaude à travers le châssis 2 jusqu'à ce que la température se stabilise à 35 °C.

Note

Vérifier la couleur de l'eau après recirculation. Si celle-ci est fortement coloré et/ou turbide, il sera nécessaire de vidanger le bac de lavage et de recommencer l'opération.

2. Préparer la solution concentrée de Genesol 704 (recirculation châssis toujours en marche) :

- Une fois la température stable de 35°C atteinte, verser doucement 800 kg de la poudre de G704 dans le réservoir CIP.
- Recirculer pendant 5 à 10 min pour homogénéiser la solution tout en évitant un moussage excessif.
- Fermer la vanne de recyclage sur le bac de lavage.
- Démarrage du lavage proprement dit durant 4 heures :
 - Recirculation : 15 minutes.
 - Trempage : 45 minutes.

Note

Renouveler la solution au cours du lavage en cas où la variation du pH est supérieure à 0,3 à 0,4.

Noter le pH, la température et la conductivité après chaque séquence.

▪ Mesure du pH

Le pH ou le potentiel d'hydrogène est le logarithme décimal de l'inverse de sa concentration en ions d'hydronium (H_3O^+), il est inférieur ou supérieur à 7 suivant que l'eau soit acide ou basique. Il représente une notion importante de la détermination de l'agressivité de l'eau et la précipitation des éléments dissous [27].

• Mode opératoire

Etalonner le pH-mètre avant la mesure, avec des solutions tampons à pH =4 ; pH=7 et pH=10. Après avoir rincé l'électrode en verre avec de l'eau à analyser dans un bécher, mettre une douce agitation puis tremper l'électrode dans le bécher. Laisser stabiliser un moment avec une faible vitesse d'agitation et noter le pH.

▪ Mesure de température

La température est le facteur le plus important pour une eau destinée à la consommation, elle agit sur la densité, la viscosité, et la dissociation des sels dissous. De même que sur les réactions chimiques et biochimiques, le développement et la croissance des organismes vivants dans l'eau et particulièrement les micro-organismes [27].

• Mode opératoire

Dans un bécher contenant de l'eau, plonger un thermomètre et le laisser atteindre la stabilisation puis on fait la lecture [29].

▪ Mesure de la conductivité électrique

La mesure de la conductivité permet d'obtenir rapidement une estimation de la teneur globale en sels dissous (chlorures, carbonates, sulfates, nitrates).

• Mode opératoire

Après avoir étalonné le conductimètre, mettre ensuite environ 100 mL de l'échantillon à analyser dans un bécher, appliquer un système d'agitation qui permet l'homogénéisation de l'échantillon de manière douce.

Laver l'électrode avec l'eau distillée et sécher doucement avec un papier de cellulose, ensuite plonger l'électrode du conductimètre pour mesurer. Attendre que l'appareil donne la lecture exprimée en ($\mu\text{S} / \text{cm}$).

Donc, pour confirmer la concentration de la solution qui est recommandé par Genesys, on doit suivre la courbe de conductivité en fonction de la concentration à partir de la formule suivante:

$$\text{Conductivité} = 12748 * \text{concentration} \quad (\text{III.3})$$

Tableau III.3 : Valeurs de la conductivité en fonction de la concentration de la solution

Conductivité (μS/cm)	3187	6374	9561	12748	15935	19122	22309	25496
Concentration (%)	0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00

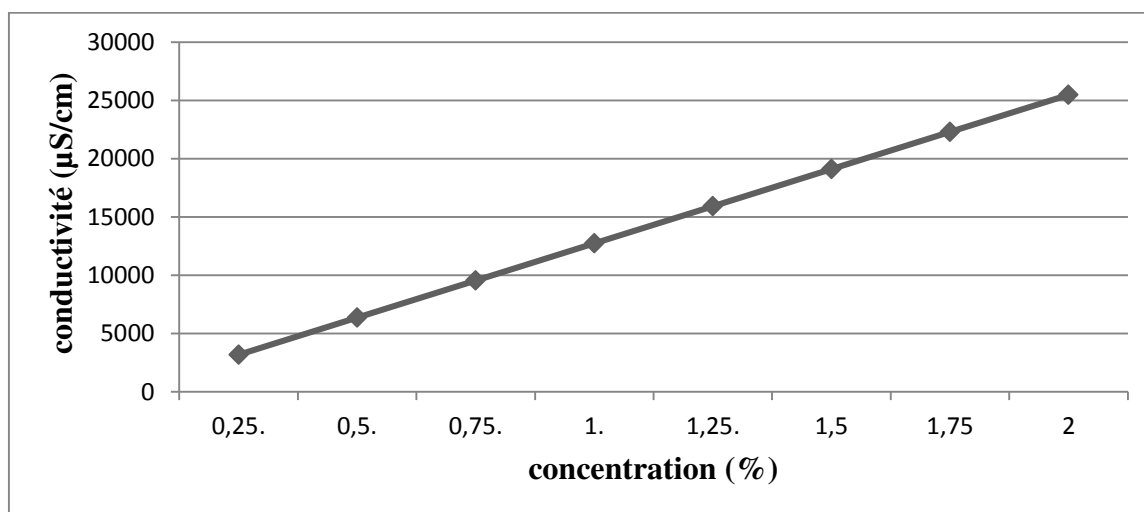


Figure III.14 : La variation de la conductivité en fonction de la concentration de la solution.

La courbe de la figure III.14 illustre une droite linéaire qui est la conductivité en fonction de la concentration de la solution recommandé par Genesys .

Tableau III.4 : Détermination des paramètres pendant le lavage chimique.

Recirculation	pH	Conductivité (μS/cm)	Température (°C)
Recirculation N°1	11,47	12,48	40,88
Recirculation N°2	11,33	12,79	40,72
Recirculation N°3	11,37	12,78	39,64
Recirculation N°4	11,40	13,09	39,26

3. Vider et rincer le réservoir de NEP pour 11 fois successives.
4. Rinçage à basse pression :
 - Recirculation : 10 minutes
 - Mise à l'égout : 15 min, l'ouverture de la vanne de vidange et l'addition d'eau via la NEP (utiliser seulement du perméat).
5. Passez en mode de production une fois que la qualité de perméat est jugée suffisante.
6. Enregistrer les paramètres opérationnels (débit de perméat et la différence de pression).

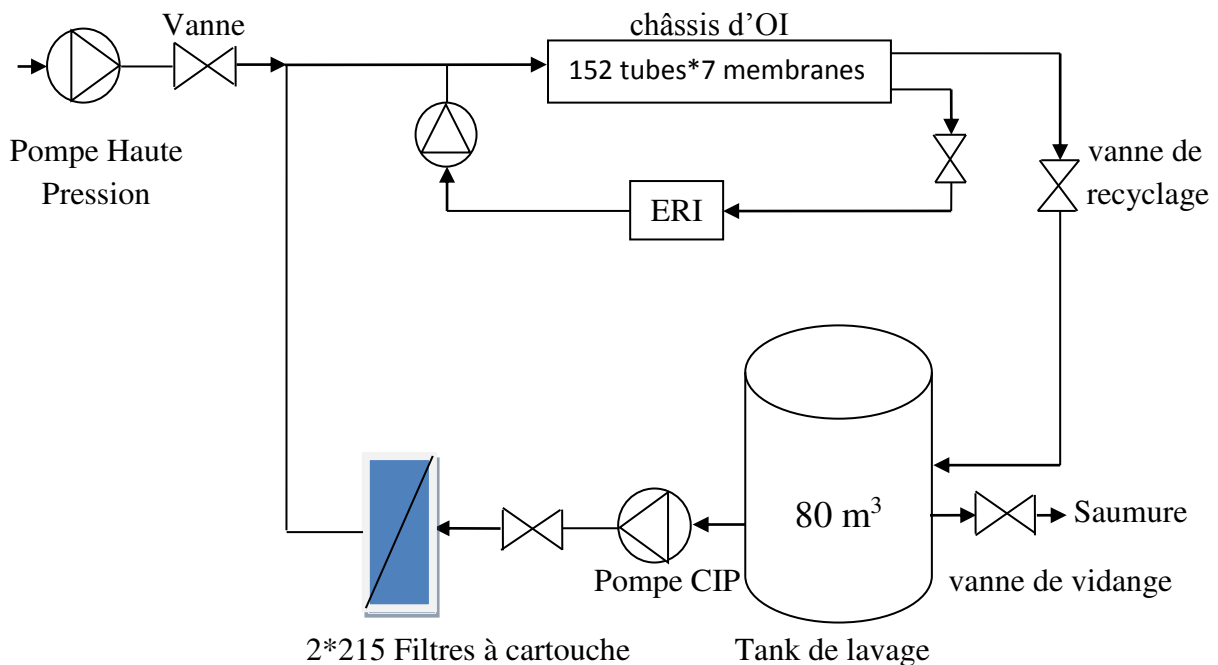


Figure III.15 : Le cycle fermé du nettoyage en place (NEP).



Figure III.16: Le nettoyage chimique.

III.3. Résultats et discussions

III.3.1. Les paramètres de fonctionnement

III.3.1.1. La différence de pression

Le dépôt de matière entraîne la formation d'une couche à la surface de la membrane ce qui conduit par conséquent à l'augmentation de la différence de pression entre la pression d'alimentation et la pression du concentrât. Donc notre objectif consiste à tracer la différence de pression en fonction du temps.

Les résultats de la variation de différence de pression obtenus pendant la durée d'expérimentation sont mentionnés dans la figure III.17.

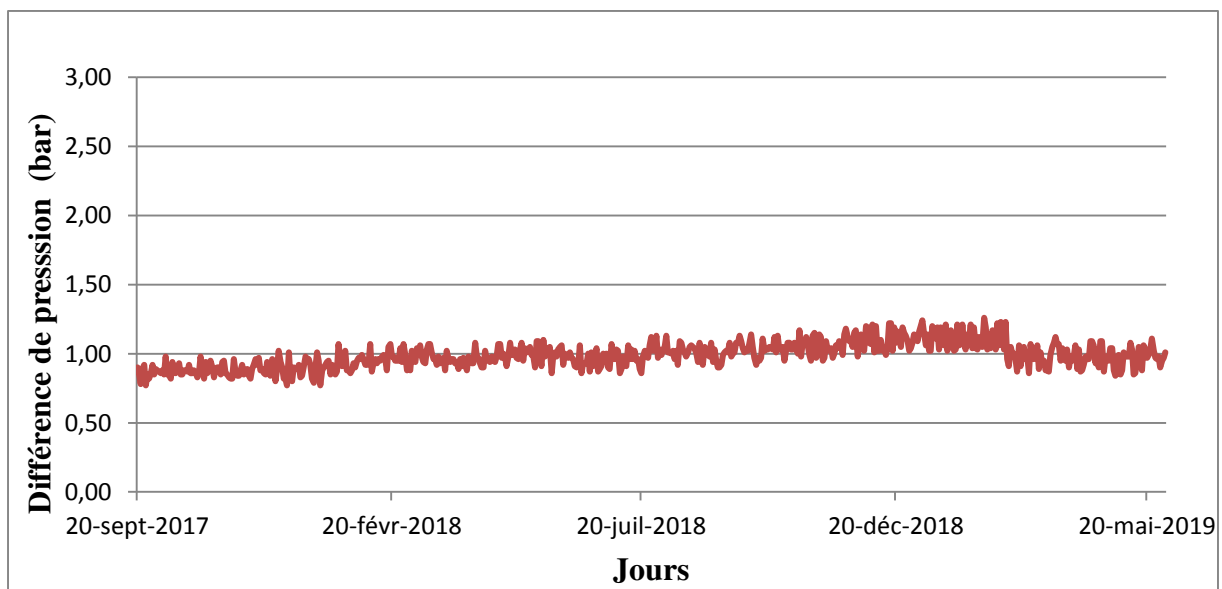


Figure III.17: Evolution de la différence de pression en fonction du temps.

Les pertes de charges sont un facteur qui permet de prédire le phénomène de colmatage.

Notre étude d'autopsie montre que le colmatage des membranes par formation d'un bio-film et d'un précipité sur la surface membranaire conduit à l'augmentation de la différence de pression dans le système d'OI. De ce fait, nous avons conclu que la différence de pression à travers la membrane doit être pour maintenue stable afin de garantir les performances du système.

D'après la figure III.17, on remarque que la variation pression est variable, allant de 0,77 bar à 1,20 bars ; alors cette augmentation nous a conduits à faire un nettoyage chimique afin de récupérer les performances des membranes. Après ce lavage, nous avons observé une diminution de la différence de pression ce qui montre que nous avons réussi à nettoyer et à récupérer ce paramètre fonctionnel du système.

III.3.1.2. Le débit normalisé du perméat

Le graphe suivant présente l'évolution du débit normalisé de perméat en fonction du temps.

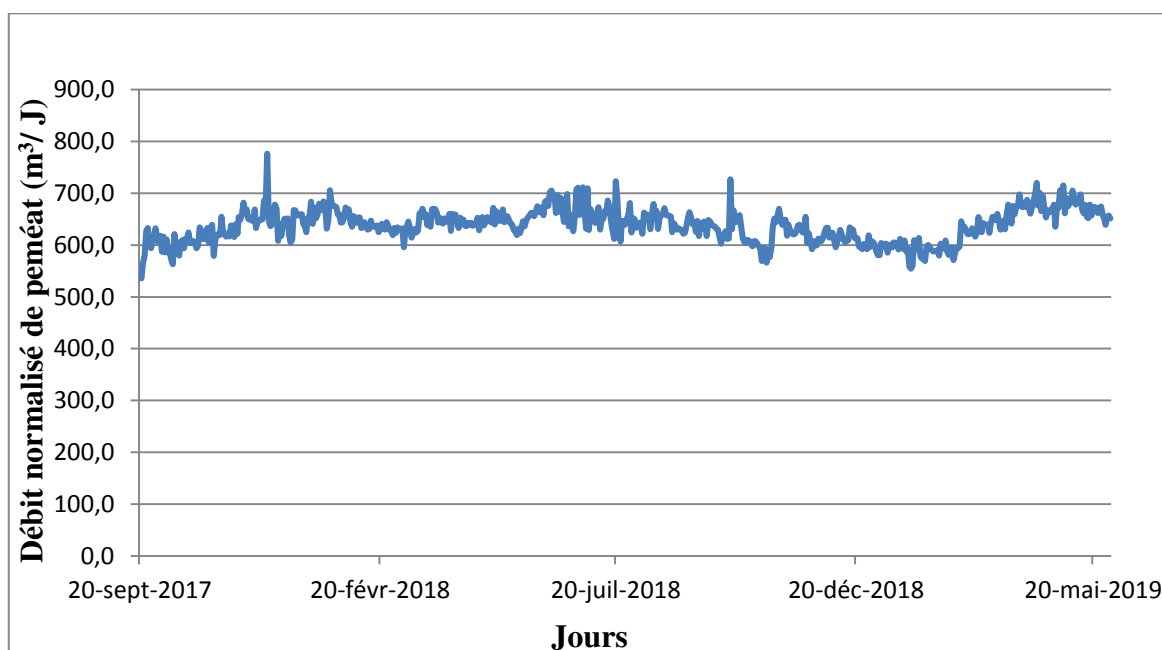


Figure III.18 : Evolution du débit normalisé de perméat en fonction du temps.

La courbe de la figure III.18 illustre une décroissance du débit de perméat, on peut l'expliquer par l'encrassement de la surface de la membrane et par l'augmentation de la pression d'alimentation de l'OI. Pour cela, on a nettoyé les membranes ; après le nettoyage le

débit de perméat augmente avec le temps. De ce fait ; on peut conclure que ce nettoyage a permis d'améliorer les caractéristiques des membranes.

Conclusion générale

Conclusion générale

Avec l'essor et le développement du secteur industriel, le problème de l'approvisionnement en eau potable reste le sujet d'intérêt de nombreux scientifiques, puisqu'il touche plusieurs secteurs vitaux. Dans ce travail, nous nous sommes intéressés aux ressources en eau douce par le principe de dessalement de l'eau de mer.

Notre stage de fin d'étude qui a été effectué au niveau de la station de dessalement de l'eau de mer de Sonaghter avait comme but la comparaison des paramètres des châssis d'osmose inverse avant et après lavage chimique.

Au terme de cette étude, les paramètres importants qui influent sur le châssis 2 de l'unité 1 ont été déterminés ; nous avons alors constaté une augmentation de la différence de pression et une diminution dans le débit de perméat ; et de cela nous avons conclu que les membranes sont colmatées, ce qui nous a conduit à faire un lavage chimique.

Avant de faire le lavage, on a fait une autopsie membranaire pour connaître les matières qui colmatent les membranes, et ainsi pouvoir choisir la solution adéquate pour le lavage

Puis, on a déterminé les paramètres des châssis nettoyés où nous avons remarqué une de ces paramètres.

Donc, on peut conclure que ce nettoyage chimique est réussi, car il nous a permis de récupérer et d'améliorer les performances des membranes.

Enfin ; la période de ce stage a été bénéfique pour nous puisqu'elle nous a permis d'avoir une vision large et complémentaire sur le domaine industriel, d'une part d'approfondir nos connaissances acquises pendant le cursus d'études, tant sur le plan théorique que sur le plan pratique et d'autres part, de découvrir le fonctionnement des différentes installations de l'osmose inverse.

Références bibliographiques

- [1] P. HUBERT, Eau puscule, édition ellipses, Juin 1984.
- [2] Dégrèvement collectivité, Mémento technique de l'eau, 8^{ème} éditions, Lavoisier, France 1978.
- [3] C.GOMELLA, H.GUEREE et M. NEVEUX, Le traitement des eaux publiques industrielles et privées, 2^{ème} édition, 1978.
- [4] R. Des JARDANS, Le traitement des eaux, édition de l'école polytechnique de Montréal.
- [5] F. G .BRIERE, Distribution et collecte des eaux, 2^{ème} éditions, 2000.
- [6] M. RAPINAT, L'eau, 1^{ère} édition, 1982 Novembre.
- [7] A. MAUREL, Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres, 2^{ème} éditions, Septembre 2006.
- [8] L.GERMAIN, L.COLAS, J.ROUQUET, Le traitement des eaux, 5^{ème} édition, 1976.
- [9] B. REMINI, La problématique de l'eau en Algérie, 2^{ème} éditions, 2007.
- [10] Y. MANDRI, Étude paramétrique du procédé du dessalement de l'eau de mer par congélation sur paroi froide , Thèse de doctorat en Génies des procédés, Université de Rabat (2011).
- [11] [http.e-monsite.com](http://e-monsite.com). Dessalement de l'eau de mer.
- [12] L.BERTHET, I. JACQUET, A. PROVASI, Ethique des affaires, Master 2 « L'eau gratuite c'est fini ? » Grenoble I.A.E 2005 – 2006.
- [13] Manuel d'exploitation et d'entretien de l'usine de dessalement de l'eau de mer de Mostaganem.

- [14] A. ATALLAH, Procédé de dessalement et qualité physico-chimique de l'eau dessalée par la station de dessalement de l'eau de mer, Mémoire de Master en Biologie, Université de Tlemcen (2014).
- [15] <https://WWW.lenntech.fr/procédés/dessalement/dessalement/dessalement-point-des .htm>
- [16] F. SI MOUHAMED, Etude expérimentale de l'efficacité d'une membrane en film mince de type spiralé pour le dessalement des eaux saumâtres, Mémoire de Master en Hydraulique, Université de Tlemcen (2015).
- [17] Projet d'évolution de la station de dessalement d'eau de mer par osmose inverse de l'île de sein, société Lorientaise de construction électromécanique, 2006.
- [18] N. NOUREDDINE, Etude d'impact des rejets des eaux de la station de déminéralisation de Brédéah sur l'environnement, Mémoire de Magister en Sciences et Techniques, Université d'Oran (2008).
- [19] N. WEMSY DIAGNE, Le nettoyage : une étape-clef pour une production durable par procédé à membrane : réflexion sur le lien entre conductions de production et nettoyabilité d'une membrane PES de l'industrie laitière, Thèse de Doctorat en chimie, Université de Rennes 1(2013).
- [20] J. P.BRUN, Procédés de séparations par membrane : transport, techniques membranaires, application, édition Masson, 1988.
- [21] A.BENAIRIA, N.EL KHARMECHEN, Impact de la turbidité de l'eau de mer sur la station de dessalement de Mainis à Ténès (W.Chlef), mémoire de Master en Génies chimique, Université de Bejaia.
- [22] <http://WWW.ecotoscicologie.fr/ Dessalement. PHP>.
- [23] N. LEBLEU, Désinfection des eaux par procédés membranaires : étude des mécanismes de transfert des bactéries, Thèse de Doctorat de l'université de Toulouse (2007).
- [24] M.S OUALI, Procédés unitaires biologiques et traitement des eaux, édition OPU, 2017
- [25] R.WEINER, Epuration des eaux résiduaires dans la transformation et la galvanisation des métaux, éditions Eyrolles, 1975.

Références bibliographiques

- [26] B. TIADJOUE, Procédés de dessalement d'eau de mer par énergie solaire à concentration, Mémoire de Master en ingénierie énergie et génie des procédés industriels, Université de Perpignan (2010).
- [27] Cours d'eau potable : WWW.coursdeau.com/junior_4/dossiers/eau_potable_criteres
- [28] Y.ABBAS, Contrôle de la qualité de l'eau au niveau de la station de Sidi Lahjal (Mostaganem), Mémoire de Master en Génie chimique, université de Mostaganem (2016).
- [29] F. GHALI , F. HAMMOU, Etude de la qualité physico-chimique de l'eau de mer des trois sites « Salamandre, Sablette et Sidi Medjdoub », Mémoire de Master en Hydrobiologie Marine et Continentale, Université de Mostaganem (2017).