



وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE
CHERCHE SCIENTIFIQUE

جامعة عبد الحميد بن باديس – مستغانم -
Université Abdelhamid Ben Badis - Mostaganem –

كلية العلوم و التكنولوجيا

Faculté des sciences et technologies

DEPARTEMENT DE GENIE DES PROCEDES.

N° d'ordre : M2../IP/2020



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES DE MASTER ACADIMIQUE

**Filiere : génie de procédé.
Option : Génie pétrochimique.**

Thème

Etude théorique
de traitement des eaux par
membrane

Présnté par :

1. Behih Razika.
2. Ould Abaddalah Kawtar.

Présidente : N. DOUARA

Examinatrice N MOUSSA

Encadrante :Z MEKIBES

MCB UMAB - Mostaganem

MA A UMAB - Mostaganem

MA A UMAB - MostaSoutenu

Année Universitaire : 2019/2020.

Remerciment :

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

*Je tiens à remercier **Mme Z MEKIBES** enseignante à l'Université MOSTAGANEM pour son encadrement, son soutien et le suivi de ce travail.*

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

*l'occurrence **Mme DOUARA NADIA** Et **Mme MOUSSA NAWEL** Pour avoir accepté d'examiner le présent manuscrit.*

J'exprime ma reconnaissance à tous les enseignants qui ont contribué de près ou de loin à ce travail.

MERCI

Dédicaces

J'adresse mes remerciements par un grand respect et gratitude

*À mes **très chers parents** qui sont la lumière de ma vie,*

Qui ont tant souffert et se sont sacrifiés pour que je sois heureuse,

Pour leurs conseils, leurs affections

Et leurs encouragements

*A ma chère maman **ZEBOUDJI FATIMA** » 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 « **BEHIH ALI** » pour la patience et*

Le dévouement dont il a fait preuve.

Et je le dédie à :

*A **MON très cher oncle ZEBOUDJI Boumediene Sofiane** qui m'a vraiment aidé pour son soutien moral constant au long de*

Ces mois de travail, même pendant les moments difficiles.

*A **MA très chère grand-mère** pour m'avoir supportée durant ces mois*

*A **Mon très cher frère AMINE** qui m'a aidé et qui est toujours présent à mes côtés.*

***Ma très chère sœur NAJET RAHMA** qui m'a soutenue affectivement tous le long de ma Formation.*

*A toute la famille « **BEHIH** » et « **ZEBOUDJI** ».*

A mes camarades de promotion " industriels pétrochimie "

2019/2020, pour tout ce que nous avons partagé,

Échangé ensemble durant ces années.

A tous les gens qui ont contribué ma réussite de près ou de loin.

Merci d'être toujours là pour moi.

Razika

Dédicace

On dédie ce modeste travail à :

□ *La famille ould abdallah :*

A mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs

prières tout au long de mes études .

A ma chère sœur et mes chers frères pour leur encouragement permanent, et leur soutien moral.

A toute ma famille pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire.

Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant allégués, et le fruit de votre soutien infallible.

Merci d'être toujours là pour moi.

kawtar

ملخص :

الترشيح الغشائي هو عملية فصل ، فعالة ، آمنة ، سهلة التنفيذ ولكن ليس من السهل تطويرها . سبب الصعوبات هو الانسداد الذي يظل من الصعب تجنبه أو الحد منه ومعقد في الوصف . يمكن أن تؤثر على أداء النظام وتتسبب في شيخوخة غشاء التناضح العكسي . يتركز هدف عملنا ، من ناحية ، على معرفة العوامل المؤثرة على الانسداد من أجل تطوير استراتيجيات تهدف إلى تقليل هذه الظاهرة ومن ناحية أخرى على معايير اختيار مضخة الضغط العالي التي تعمل دور مهم للغاية لأنه يرتبط مباشرة باستهلاك الطاقة

Résumé :

La filtration membranaire est un procédé de séparation, performant, sûr, facile à conduire mais pas simple à mettre au point. La cause de ses difficultés est le colmatage qui reste difficile à éviter ou limiter et complexe à décrire. Ils peuvent affecter les performances du système et provoquer le vieillissement de la Membrane d'osmose inverse. L'objectif de notre travail, est axé, d'une part sur la connaissance des facteurs influençant le colmatage afin de développer des stratégies visant à minimiser ce phénomène et d'autre part sur les critères de choix d'une pompe haute pression qui joue un rôle très important car elle est directement liée à la consommation d'énergie.

Abstract:

Membrane filtration is a separation process, efficient, safe, easy to drive but not simple to develop. The cause of these difficulties is clogging that is difficult to avoid or limit and complex to describe. It can affect system performance and cause the aging of the reverse osmosis membrane. The aim of our work is focused first on the knowledge of the factors influencing the blockage to develop strategies to minimize this phenomenon and also on the criteria for choosing a high-pressure pump which plays a very important role because it is directly related to the energy consumption.

Sommaire

Introduction général	1
----------------------------	---

Chapitre01 : Généralités sur l'eau.

I.Définition de l'eau.....	3
I.2. Cycle de l'eau	4
I.3. Importance du traitement des eaux	5
I.4. Les différents types d'eaux	5
I.4.1. Eaux de pluie	5
I.4.2. Eaux de surface	6
I.4.3.Eaux souterraines ;.....	6
I.4.4. Eaux marines	7
I.4.5. Eaux saumâtres	7
I.5. Normes de qualité.....	8
I.5.1. Normes microbiologiques	8

Chapitre02 : les Procédés membranaires

Introduction	9
II. Les membranes.....	9
II.1. Les différentes familles de membranes.....	9
II.1.1. Les membranes microporeuses.....	9
II.1.2. Les membranes anisotropes ou asymétriques	10
II.1.3. Les membranes homogènes et composites	11
II.1.4. Les membranes ioniques.....	11
II.1. Les différentes générations de membranes.....	11
II.1.1. Les membranes fonctionnelles.....	11
II.1.1. Les membranes organiques	12

II.1.1. Les membranes minérales (inorganiques)	12
II.1.1. Les membranes organon-minérales	12
II.1. Les différents types de modules	12
II.1.1. Module tubulaire	13
II.1.1. Module à fibres creuses	13
II.1.2. Module plan spiralé	13
II.1.1Module filtre-presse	14
II.1.2. Les différentes techniques séparatives	14
II.1.1. Microfiltration	14
II.1.1. Ultrafiltration	15
II.1.2. Nano filtration	15
II.1.3. Osmose inverse	15
II.4.4.2.Osmose inverse et Filtration	16
II.4.4.3.Principales Applications	18
II.1. Le nettoyage en place des membranes d'osmose inverse et des équipements de productions des produits laitiers.	19
II.1.1. Le nettoyage en place des membranes d'osmose inverse	20
II.1.1.1. Les mécanismes	20
a) La détergence	20
b) Mouillage	20
. Le déplacement de la souillure	20
. L'anti-déposition	20
b) Le nettoyage	21
II.1.1.2. Les cycles de nettoyage chimique des membranes	21

Chapitre03 : osmose inverse

III. Introduction.	23
III.1. Osmose	23
III.2. Osmose inverse	23
III.4. Schéma général d'une installation d'osmose inverse	25
III.5. Les caractéristiques principales d'une unité d'osmose inverse	25
III.5.1. Pression osmotique	25
III.5.2. Taux de conversion	26
III.5.3. Sélectivité	26
III.7.4. Les ennemis de la membrane II_B.7.4.1. Perméabilité	31
III.7.4.2. Durée de vie	31
Conclusion.	33
Bibliographie	34

Liste des figures :

Figure I.1 : Le cycle de l'eau	5
Figure I.2 : Les eaux de surface	6
Figure I.3 : Les eaux souterraines	6
Figure I.4 : Les eaux de marines.....	7
Figure II.1 : Schéma d'une membrane anisotrope.....	10
Figure II.2 : Module spirale d'osmose inverse.....	14
Figure II.3 : principe de l'osmose inverse	16
Figure II.4 : Mise en oeuvre du procédé d'osmose inverse.....	16
Figure II.5 : Unité d'osmose inverse utilisée dans l'industrie laitière et comportant des modules plan-spiralés.....	19
Figure III.1 : Principe de l'osmose inverse.....	24
Figure III.2 : Schéma général d'une installation d'OI	25
Figure III.3 : Membrane en spirale	30

Liste des tableaux :

Tableau I.1 : Recommandations relatives des paramètres physico-chimiques selon la norme OMS.....	08
Tableau II.1 : Procédés mécano membranaires et rétention des membranes vis-à-vis des différents types de soluté.....	17
Tableau III.1 : Les caractéristiques d'une membrane spiralée.....	30

Liste des abréviations

°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.

Liste des abréviations

NEP : Nettoyage En Place.

NTU : Nephelometric Turbidity Unit.

OI : Osmose Inverse.

OMS : Organisation Mondiale de la Santé.

ONU : Organisation des Nations Unies.

P : Pression.

PA : Pression d'Alimentation.

Pa : Pascal.

pH : Potentiel d'Hydrogène.

Pp : Pression de permeat.

ppm : partie par million.

PR : Pression de retentât.

PTM : Pression Transmembranaire.

Robs : Rétention **obs**ervé.

s: Seconde.

SDI: Silt Density Index.

T : Température.

TH : Titre Hydrotimétrique.

TR : Taux de Rétention.

Tr : Transmission.

μS : micro Siemens.

Introduction Général.

Introduction général

L'eau est très abondante sur terre, elle recouvre 73% de sa surface, la grande majorité

Est essentiellement de l'eau de mer (97 %) ou de la glace (2 %) et donc impossible à consommer directement.

L'eau douce, facilement disponible (lacs, fleuves, certaines eaux souterraines), ne représente que 0,07 % de la ressource totale soit environ 1 million de km³. Mais, la répartition de cette eau est très inégale.

L'eau couvre la proportion la plus grande de la surface de la planète de terre. Cette matière est une source vitale, elle est significativement incluse dans les activités quotidiennes de l'homme dites eaux usées et eau potable, mais seule une infime partie est directement utilisable par la biosphère, et notamment l'homme. En effet, l'eau douce des cours d'eau et des nappes phréatiques souterraines constitue 1 % du volume d'eau douce et 0.01 % de toute l'eau sur terre.

Les besoins, eaux, sont de plus en plus importants, L'évolution que connaît l'environnement urbain et industriel pose, dans de nombreux pays, le problème de l'eau. Le prélèvement global de l'eau, nos besoins en eau ne cesseront de croître alors que les réserves en eau de bonne qualité diminuent.

Ceci implique de ménager la ressource, en limitant les rejets de pollution dans le milieu naturel mais aussi produisant une eau propre à la consommation. C'est dans cette logique que les stations de dessalement des eaux s'inscrivent puisqu'elles permettent de produire de l'eau potable à partir de l'eau de mer ou

Introduction Général.

d'eaux saumâtres grâce à des techniques Particulières adoptées dans plusieurs pays a travers le monde. Le dessalement de l'eau de mer est parfois présenté comme la solution miracle aux problèmes de rareté de l'eau potable autrement dit: ' La mer à boire '.

Egalement l'Algérie a lancé ses dernières années, un programme ambitieux d'installations des stations de dessalement a fin de couvrir les besoins en eau qui s'accroissent par l'explosion démographique, le développement industriel et agricole ainsi que la sécheresse. Dans cette initiative, la station de l'eau de mer ,pour fournir de l'eau potable pour la population a fin de combler le déficit.

Parmi les différentes techniques de dessalement d'eau, certain sont plus adaptés a un environnement donnée qu'un autre. Le procédé membranaire d'osmose inverse est actuellement le procédé membranaire le plus concurrents, de fait qu'il fournisse une eau quantitativement satisfaisante a la population d'une part, et d'autre part il couvre le déficit en eau douce provenant des autres ressources.

I. Définition de l'eau.

L'eau est un élixir essentiel et important dans la vie, bien que les deux tiers de la surface de la terre soient couverts par l'eau sous diverses formes.

Il n'y a pas de ressources d'eau potable suffisantes, continues et disponibles quand cela

disponible, est souvent contaminée par l'activité humaine.

La disponibilité de l'eau potable, aujourd'hui est loin d'être pure, peut contenir



quelques 200 produits chimiques commerciaux mortels. Ajouté à cela les bactéries, les virus,

les minéraux organiques et inorganiques, donnant ainsi naissance à un cocktail chimique

impropre à la consommation humaine [1].

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 H₂O.

Les substances se trouvant dans l'eau se présentent sous l'une des formes : en suspension, colloïdale et dissoute [2]. 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 :

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

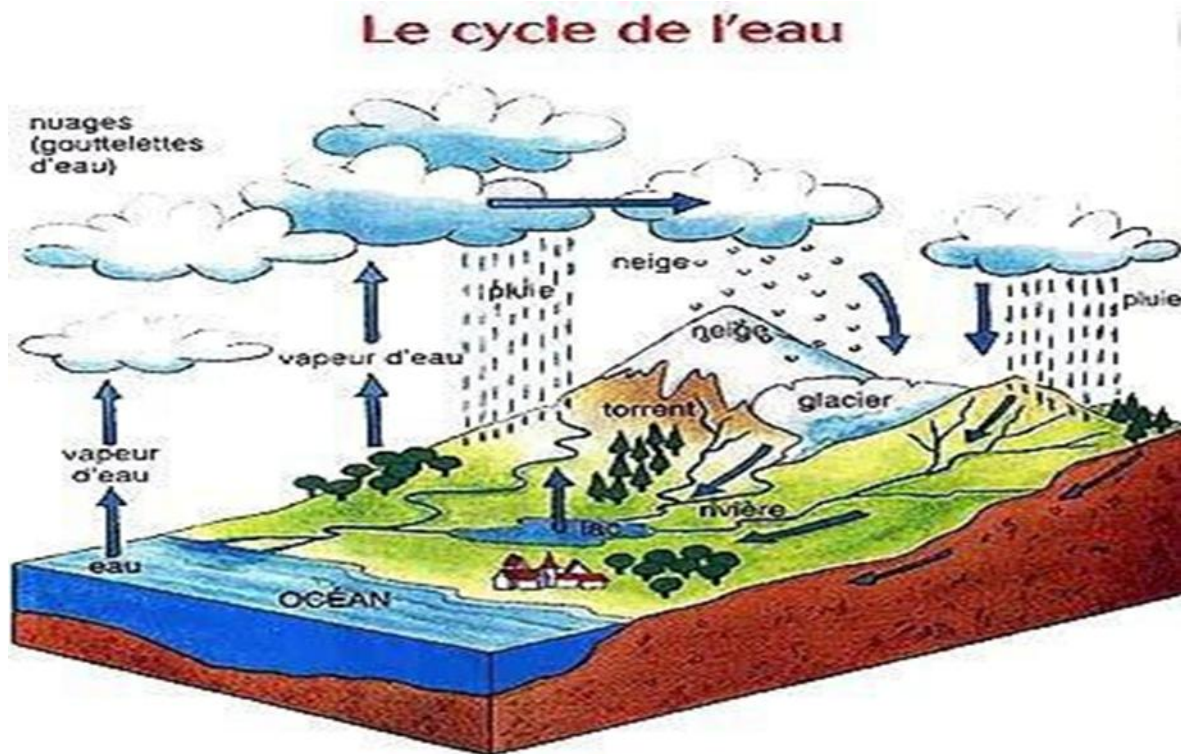


Figure I.1 : Le cycle de l'eau

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.

1.4.3.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 CaCO₃
Alcalinité	50 à 65 mg/L de CaCO₃
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

Introduction

La membrane peut être définie comme étant un film mince séparant deux Phases et formant une barrière sélective pour le transport des matières [8]. Le matériau au travers lequel a lieu le transport sélectif constitue la membrane. Les membranes sont incorporées dans un dispositif appelé module. Celui-ci se répète à

Un certain nombre d'exemplaires disposés selon divers arrangements, dans une unité [9].

Dans ce chapitre, nous nous accentuerons sur les types de membranes, leurs Structures, préparations, applications, les types de modules et leur principe de Fonctionnement ainsi que leur domaine d'utilisation, sans oublier les différentes Techniques séparatives.

II. Les membranes**II.1. Les différentes familles de membranes**

Les membranes permselectives sont actuellement classées en quatre catégories, Correspondant à leur structure, au mécanisme de transport et à leur domaine D'utilisation [9].

II.1.1. Les membranes microporeuses

Connues depuis longtemps, il existe une grande variété de ce type de Membranes. Les premières étaient de natures organiques (principalement en acétate de Cellulose puis progressivement en polysulfone (PSU) et polyethersulfone (PES)), puis Sont apparues des membranes minérales (fibre de verre, carbone, carbone-zircone, Alumine-alumine a ou g, inox-zircone) et enfin des membranes hybrides organominérales [10]. Les membranes microporeuses comportent des pores. La Couche filtrante (ou peau active) mince (0,1 à 1 nm) et poreuse (diamètre des pores de

2 nm à 10 μm) est déposée sur un support épais (100 à 200 μm) beaucoup plus solide

Et très poreux ([9] ; [10]). En première approche, on peut considérer

Que la séparation s'y effectue selon un mécanisme strictement analogue à la filtration

Classique : une particule est retenue ou traverse la membrane selon que sa taille est

Supérieure ou inférieure au diamètre des pores [9]. Leur domaine

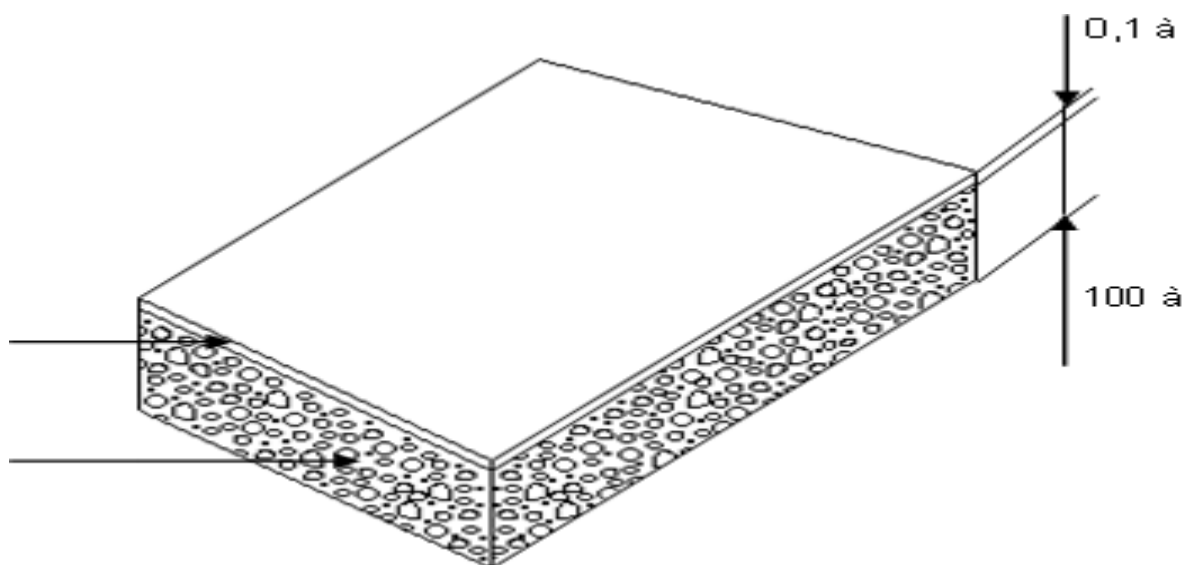
D'application est la microfiltration

II.1.2. Les membranes anisotropes ou asymétriques

Ce sont des membranes préparées en une seule étape à partir du même matériau

Présentant une taille de pores et un volume poreux croissants de la surface filtrante à la

Face externe [11] (Figure N°01)



Peau (couche filtrante)

Couche support

Figurai N°01 : Schéma d'une membrane anisotrope

II.1.3. Les membranes homogènes et composites

Ce sont des membranes à structure asymétrique qui se distinguent des précédentes par le fait que la couche mince sélective, à fine taille de pores, repose sur un support microporeux dont le rôle est d'assurer à l'ensemble de bonnes propriétés mécaniques. Ces deux matériaux peuvent être constitués de matériaux différents.

II.1.4. Les membranes ioniques.

Ces membranes présentent une densité de charges électriques importante. En présence d'une solution diluée d'électrolyte, une membrane ionique a tendance à exclure par effet DANNAN tous les ions de même signe que les charges fixes, la concentration interne et le nombre de transport de ces copions sont extrêmement réduits. La membrane se comporte comme un conducteur ionique sélectif aux cations (membrane cationique) ou aux anions (membrane anionique). Par contre, lorsque la concentration de la solution externe augmente, la membrane est peu à peu envahie par tous les ions et perd sa sélectivité [9].

L'application principale des membranes ioniques étant l'électrodialyse, dont le principe repose sur un transport sélectif des contre-dons.

II.1. Les différentes générations de membranes

La première génération de membranes synthétiques était à base de dérivés de cellulose. Par la suite, de nombreux polymères organiques ont été utilisés comme matériaux de base : polyamides aromatiques, polyacrylonitriles et plus récemment, polysulfones ou polymères fluorés. La grande diversité des matériaux employés dans leur fabrication a permis un élargissement des utilisations potentielles. Citons, notamment l'obtention d'une meilleure résistance aux agents acides, basiques ou aux solvants organiques [10].

II.1.1. Les membranes fonctionnelles

Pour accroître la sélectivité des membranes on leur confère des propriétés fonctionnelles. Diverses voies de recherches ont déjà été explorées.

II.1.1. Les membranes organiques

Les premières membranes synthétiques furent élaborées en matériaux organiques sur le modèle d'une membrane asymétrique. Elles représentent 80% des membranes industrielles. Ces membranes qui présentent une large gamme de tailles de pores (de quelque angström à 20 mm) et de nature chimique (polyamides aromatiques, acétate de cellulose, poly sulfone) ont contribué largement au développement de la technologie des membranes [12].

II.1.1. Les membranes minérales (inorganiques)

Les membranes minérales possèdent une stabilité thermique et chimique plus élevée par rapport aux membranes organiques ([13] ; [8] ; [14]. Mais, la faiblesse de leur résistance à la pression (résistance mécanique) leur rend non utilisées et appliquées notamment dans le domaine de dessalement des eaux saumâtres et/ou de mer. L'utilisation industrielle des membranes minérales se limite actuellement à l'ultrafiltration et à la microfiltration (MF), souvent de solutions chargées en matières en suspension ou particulièrement visqueuses [15].

II.1.1. Les membranes organon-minérales

La voie la plus fréquente pour la synthèse des membranes composites est celle du dépôt d'un polymère organique sur un support minéral, par adsorption puis réticulation ou par greffage [16]. Cette technique permet d'améliorer les performances des membranes minérales surtout leur résistance mécanique (à la pression).

II.1. Les différents types de modules

Les membranes sont incorporées dans un dispositif appelé module. Celui-ci se répète en un certain nombre d'exemplaires disposés selon divers arrangements dans une unité [9]. Les différentes mises en œuvre des procédés à membrane se distinguent principalement par la géométrie de la surface membranaire : plane, tubulaire ou spiralée [17].

II.1.1. Module tubulaire

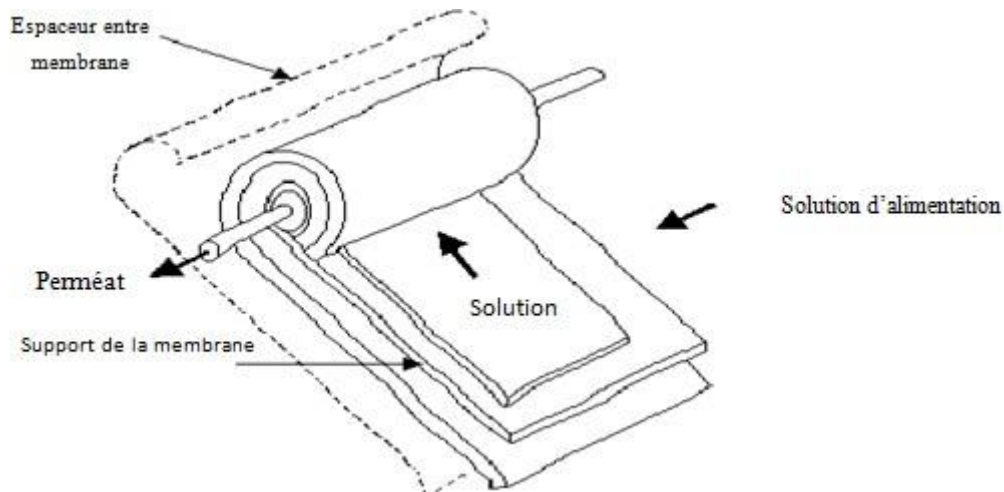
Les membranes sont obtenues par dépôt à la surface de tubes poreux de petit diamètre (de l'ordre de cm), où sont directement incorporées au support (membranes minérales) au cours de la fabrication. Les tubes sont placés parallèlement en petit nombre dans les modules avec un espacement régulier.

II.1.1. Module à fibres creuses

Formé d'une quantité assez importante de fibres creuses de la taille d'un cheveu, assemblées, ce module est comme une extrapolation du module tubulaire vers des diamètres fins ou ultrafins. Sa principale caractéristique est son importante surface spécifique, qui atteint couramment $10000\text{m}^2/\text{m}^2$. Son faisceau est disposé en forme de U à l'intérieur d'une enveloppe, et les extrémités ouvertes des fibres sont d'abord noyées sur une longueur de quelques centimètres dans une résine époxy [18].

II.1.2. Module plan spiralé

Il est généralement destiné à l'application de l'osmose inverse. Il se présente comme une cellule unique de grande longueur, constituée des mêmes éléments que la précédente, et enroulée en spirale autour d'un axe (Figure N°02). Celui-ci est creux, perforé et en contact direct avec l'un des compartiments (le plus souvent l'aval), sert ainsi à collecter le perméat [11].



Figurai N°02 : Module spirale d'osmose inverse (Maurel, 1974)

II.1.1 Module filtre-presse

Ces modules sont compétitifs grâce à d'excellentes performances au plan hydrodynamique et à l'accessibilité des membranes, malgré leur investissement élevé et leur surface spécifique modeste, de l'ordre de 200 à 500m².m⁻³. Ils sont capables d'encaisser des différences de pression transmembranaire moyennes, et conviennent bien à la micro- et à l'ultrafiltration [9].

II.1.2. Les différentes techniques séparatives

Dans cette partie, nous nous intéresserons beaucoup plus à l'osmose inverse qui est une technique séparative utilisée d'une manière généralement dans le traitement des eaux saumâtres durant notre stage au sein de l'industrie laitière de Sidi Saada. Mais, nous toucherons aussi en quelques paragraphes les autres techniques séparatives telles que la microfiltration, ultrafiltration, nano filtration...etc.

II.1.1. Microfiltration

Les membranes utilisées sont microporeuses, leur sélectivité est fonction de la taille des particules à séparer. La microfiltration concerne la séparation de particules micrométriques ou submicroniques (0,1 à 10 km). Elle permet une décontamination parasitaire et bactérienne de l'eau, ainsi que

l'extraction des oxydes métalliques et les particules colloïdales [19] mais pas l'élimination des virus. La pression appliquée est entre 0.1 à 2 bar.

II.1.1. Ultrafiltration

La distinction entre l'ultrafiltration et la microfiltration repose sur la taille des particules ou macromolécules filtrées. L'ultrafiltration permet d'extraire le solvant et les solutés ioniques ou moléculaires d'une solution contenant des macro solutés. Ce procédé est utilisé pour des concentrations et des purifications de protéines. Ce procédé est aussi utilisé pour le traitement d'effluents et plus récemment, préparation d'eau potable [11] . La séparation de particules est de taille comprise entre 1 à 100 nm. La pression appliquée est entre 1 à 5 bar.

II.1.2. Nano filtration

La nano filtration est un procédé de séparation membranaire situé entre l'osmose inverse et ultrafiltration. La nano filtration est particulièrement adaptée pour éliminer les molécules organiques dissoutes et pour l'extraction des ions multivalents (calcium et magnésium), les ions monovalents étant fortement transmis [8].

II.1.3. Osmose inverse

Principe

Généralement l'osmose inverse est la plus utilisées dans le traitement des eaux saumâtres, eaux de mer, les effluents industriels...etc.

C'est une technique séparative consistant à extraire de l'eau d'une solution généralement salée, en la faisant circuler en amont d'une membrane adéquate sous pression suffisante pour inverser ou convaincre le flux osmotique (Figures N°03 et N°04). Et le transport sélectif du solvant par rapport au soluté résulte de la nature, structure de membrane et de la différence de pression transmembranaire. Le permet sortant en aval est généralement recueilli sous la pression atmosphérique.

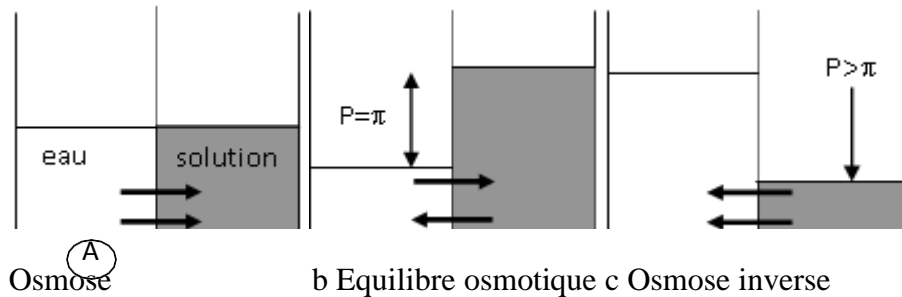


Figure N°03 : principe de l'osmose inverse

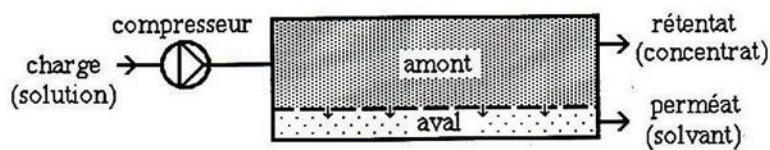


Figure N°04 : Mise en œuvre du procédé d'osmose inverse (Brun, 1989).

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

a) Réduire la concentration totale en soluté ; les principales applications sont la production de l'eau potable à partir des gisements saumâtres ou d'eau de mer, et amélioration de la qualité de l'eau à usage industriel.

b) Augmenter la concentration d'une solution ; la déshydratation partielle des jus dans l'industrie alimentaire en constitue une application intéressante. Enfin, le traitement d'effluents industriels par osmose inverse permet simultanément de les débarrasser de leurs vecteurs de pollution, et de récupérer éventuellement les constituants valorisables.

II.4.4.2. Osmose inverse et Filtration

En tenant compte de sa finalité, on peut voir l'osmose inverse comme un cas particulier, extrême, de filtration. L'ensemble de ces techniques, parfois qualifiées de mécano membranaires pour les distinguer de celles, électro membranaires, fondées sur un transport induit par une force électrique, peut en effet être découpé en quatre domaines (Tableau N°1 et Figure N°5). Ce découpage se fait selon la taille

des espèces retenues par le filtre, leur masse molaire M , leur rayon du port Pores et selon le gradient de pression (P .) nécessaire aux opérations courantes.

Tableau N°01 : Procédés mécano membranaires et rétention des membranes vis-à-vis des différents types de soluté.

Proced	Type de membrane	Force mortice	Mechanism et separation	Régime de transport	Domaine application
Microfiltration	Symétrique microporeuse $R_{pores} = 0,1$ à $10 \mu m$	Différence de pression 0,1 à 2 bar	Tamisage dû aux ports et adsorption (Effet tamis)	Macrospores	Stérilisation Filtration Clarification $M > 10^6$ g/mol
Ultrafiltration	Asymétrique microporous $100 < R_{pores} < 10^3 A^\circ$	Différence de pression 1 à 5 bars	Tamisage et Capillarité Convection $J = L \cdot \Delta P$ (Effet tamis)	Mesoporous	Filtration des macromolécules $10^6 > M > 10^3$ g/mol
Nano filtration	Asymétrique ou composite $R_{pores} = 10$ à $20 A^\circ$	Différence de pression 5 à 30 bars	Convectif diffusion el $J = A (\Delta P - \sigma \Delta \pi)$ (Effete tames + effect Donna)	Microspores	Désaliénation partielle de l'eau Séparation de molécules $200 > M > 100$ g/mol
Osmose inverse	Membrane à peau superficielle asymétrique (dense) Absence de Pores	Différence de pression 20 à 100 bars	Solubilisation diffusion $J = A (\Delta P - \Delta \pi)$	Molecular	Filtration des sels micro solutés $M < 100$ g/mol

L'osmose inverse concerne des solutions de composés ioniques ou moléculaires de faible masse, inférieure à 100 g. mole⁻¹ (100 Da). La pression osmotique est importante, et ne peut pas être négligée devant la pression opératoire. Cette dernière peut atteindre jusqu'à 100 bar. La séparation s'effectue à l'aide d'une membrane anisotrope comportant une membrane dense (absence de pores), et met en jeu les propriétés d'interaction physicochimique (solubilité) et dynamique (diffusivité) des espèces dans la membrane. Le transport sélectif du solvant s'interprète donc plutôt par un mécanisme solution-diffusion que par une filtration à l'échelle moléculaire [20].

II.4.4.3.Principales Applications

Le dessalement des eaux saumâtres et de l'eau de mer est l'application la plus importante (95%) de l'osmose inverse. Des applications existent dans d'autres domaines, telles que, le traitement des eaux, agro-alimentaire (déshydratation partielle de certains jus) ou le traitement des effluents industriels.

- Le dessalement :

Depuis des années, un effort considérable a été fait pour produire de l'eau potable, sanitaire, ou d'irrigation dans des zones arides ou qui n'ont pas de qualité standard.

On trouve la plupart des installations en territoire Anglophone (Etats-Unis, Moyen-Orient, états du golfe persique), mais aussi dans le reste des continents. L'ensemble représentait en 1980 une production voisine de 8000000m³ d'eau potable, dont 5% à partir d'eau de mer, répartie sur quelques 2000 points du globe.

La charge est d'abord filtrée sur sable, micro filtrée (5µm), puis prétraitée par ajustement du pH (inférieur ou égal à 7) et adjonction d'un inhibiteur de précipitation (antis calant, est généralement l'hexamétaphosphate de sodium) des sulfates de calcium ou carbonates de calcium pour protéger les membranes de la dégradation chimique et du colmatage. La charge est ensuite envoyée vers le module d'osmose inverse pour suivre le traitement final de dessalement ([9] ; [11]).

- Traitement des eaux et des effluents :

L'osmose inverse peut être utilisée comme prétraitement à l'extraction ionique sur résine mixte. Elle permet d'améliorer la qualité d'une eau dure, en réduisant sa teneur en sels minéraux. Ce qui augmente ainsi la durée de vie des résines. Ce type d'application, peu exigeant pour les performances des membranes, assez bon marché, concerne toutes les industries où la qualité des eaux de rinçage est un facteur essentiel.

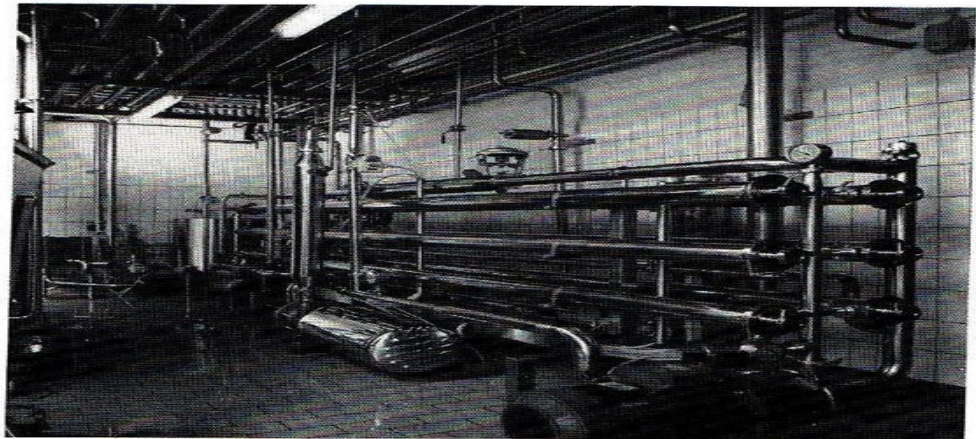
L'osmose inverse permet aussi de réduire la pollution, et de valoriser certains produits contenus dans les effluents industriels. Parmi les applications, concernant les petites et moyennes unités, citons le traitement des eaux de rinçage des industries galvanoplastique et de la pâte à papier. Mais, elle est concurrencée dans ce domaine par l'électrodialyse et surtout l'ultrafiltration.

- Déshydratation partielle des jus agro-alimentaire

Sous réserve que la pression osmotique d'un jus alimentaire reste à modérée, l'osmose inverse peut être utilisée pour le déshydrater partiellement.

L'application est toutefois limitée par le colmatage des membranes, dû à la formation des lits bactériens difficiles à éviter. Elle nécessite un contrôle strict de qualité des produits, car les méthodes usuelles de nettoyage et de désinfection endommagent le plus souvent les membranes.

La Figure N°06 représente une unité d'osmose inverse utilisée pour la déshydratation partielle des jus.



Figurai N°05 : Unité d'osmose inverse utilisée dans l'industrie laitier comportant des modules plan-spiralés DDS-RO[®] (Brun, 1989).

II.1. Le nettoyage en place des membranes d'osmose inverse et des équipements de productions des produits laitiers.

Le nettoyage consiste à éliminer d'une surface donnée toute souillure visible ou invisible pouvant s'y trouver. Ceci est réalisé par la détergence, processus selon lequel les agents colmatant sont détachés de la surface où ils sont fixés, et mis en solution ou en suspension, et qui est la résultante de plusieurs phénomènes physico-chimiques survenant aux interfaces dans le système support/ souillure/ détergent [21].

II.1.1. Le nettoyage en place des membranes d'osmose inverse

Le nettoyage en place ou encore CIP (clearing-in-place) en anglais suit un certain nombre de mécanismes et réaction

II.1.1.1. Les mécanismes.

Le nettoyage en place se base généralement sur deux principaux mécanismes qui sont la détergence et le nettoyage.

a) La détergence

La détergence peut être décomposée en trois phases successives : le mouillage, le déplacement de la souillure, l'anti-déposition ou maintien des espèces comatantes à l'écart de la surface à nettoyer [17].

b Mouillage

Le mouillage consiste, pour la solution détergente, à entrer en contact avec la souillure et établir une force entre la souillure et constituants de la solution de nettoyage supérieure à celle existant entre l'agent colmatant et la surface. Le plus souvent, sont introduits les tensioactifs pour abaisser la tension superficielle de la solution de nettoyage, ainsi que les tensions interraciales entre la solution de nettoyage et la surface colmatée.

. Le déplacement de la souillure

Lorsque le détergent est parvenu à mouiller puis à pénétrer la souillure, il la décroche de la surface. Ce premier mouille le support, s'adsorbe sur celui-ci, diminue l'attraction du support pour la souillure qui peut se détacher.

. L'anti-déposition

Les souillures précédemment déplacées, se retrouvent au sein de la solution détergente. Il est indispensable d'éviter leur déposition sur les surfaces nettoyées. Pour cela, plusieurs mécanismes peuvent intervenir selon la composition de la solution détergente. Les réactions chimiques permettent d'obtenir une bonne solubilisation des souillures.

a) Le nettoyage

Le nettoyage chimique est basé sur la réaction hétérogène entre un agent chimique de la solution de nettoyage et la matière colmatant, provoquant différentes modifications physico-chimiques : variation du pH, de solubilisation, modification de l'affinité des matières comatantes pour la surface de la membrane ou pour elles- mêmes (agrégats), hydrolyse chimique, ... Ces réactions conduisent à des produits solubles ou en suspension éliminés par l'écoulement de la solution de nettoyage.

Les réactions de nettoyage peuvent généralement être séparées en 5 étapes [22] :

- Transport convectif des détergents vers la surface mouillée
- Transport par diffusion ou capillarité des détergents à l'intérieur de la couche de colmatage
- Réaction avec les agents colmatant
- Transport des produits de la réaction en retour vers l'interface par diffusion ou capillarité
- Transport en retour des produits vers la solution

II.1.1.2. Les cycles de nettoyage chimique des membranes

Le colmatage lié à la membrane par des interactions physico-chimiques fortes est généralement irréversible et ne peut être éliminé que par un traitement curatif post filtration : le nettoyage chimique [23]. Le cycle de nettoyage chimique des membranes se compose généralement de plusieurs étapes :

- Pré-rinçage à l'eau pour éliminer le colmatage réversible
- Nettoyage chimique avec différentes solutions chimiques spécifiques à chaque couple membrane/fluide filtré, avec des inter-rinçages à l'eau intermédiaires
- Désinfection pour tuer les micro-organismes (virus, bactéries, etc.) et garantir la sécurité sanitaire des installations dans le cas des Industrie Agro- alimentaire (IAA).
- Post-rinçage à l'eau avant remise en production

Les conditions de nettoyage influent fortement sur la durée de vie des membranes qui

est comprises entre 3 et 5 ans, la fréquence de nettoyage dépend du couple membrane/fluide et qui peut varier entre 15 à 20 jours dans le cas du dessalement des eaux saumâtre.

III. 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 [24].

III.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 [24].

III.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 [25].

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 [26].

III.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 perméable 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 telle 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 [27].

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 [28].

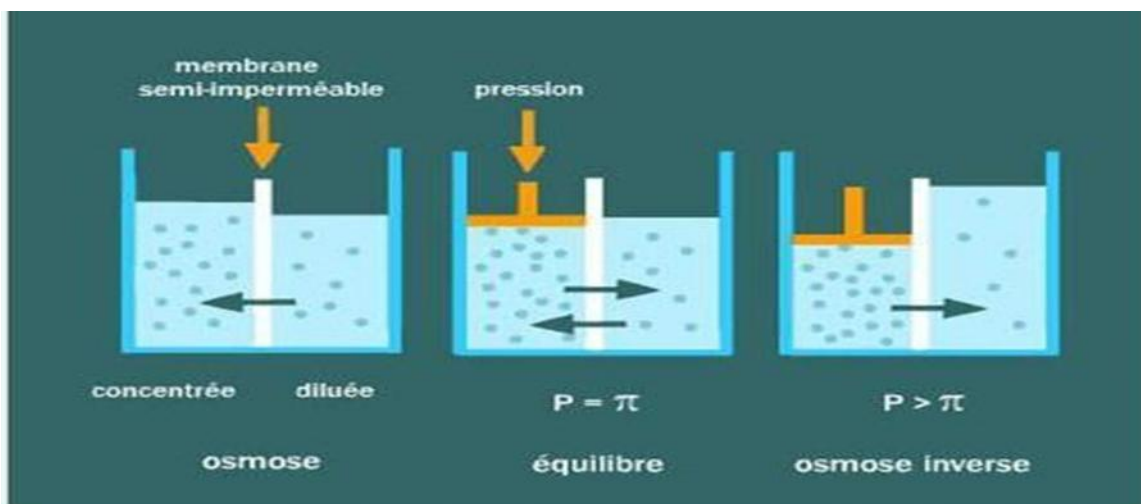


Figure .1 : Principe de l'osmose inverse.

III.4. Schéma général d'une installation d'osmose inverse

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

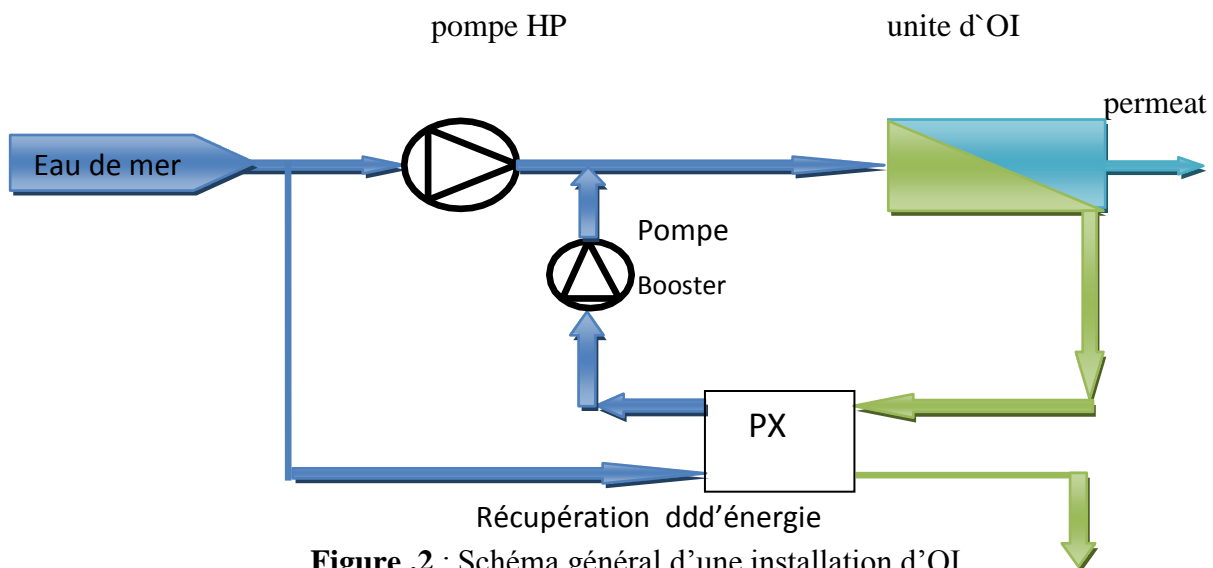


Figure .2 : Schéma général d'une installation d'OI

III.5. Les caractéristiques principales d'une unité d'osmose inverse

III.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 :

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

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).

III.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 [29].

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

III.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.

$$Tr = (C_0 - C_p) * 100 / C_0 = (1 - C_p) / C_0 \quad (\text{IIB.3})$$

Avec :

C_p : concentration finale (perméable). C_0 : concentration initiale.

Il y a deux valeurs particulières du TR :

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

$Tr = 100 \%$ 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 % [27].

III.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 [27].

III.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 [25].
- 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. III.7. Membrane III.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 [23].

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 [31].

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 [22].

III.7.2. Les grandeurs caractéristiques de la membrane III.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 [27].

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

$$PTM = (PA + PR / 2) - PP \quad (\text{IIB.4})$$

IIB.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 :

$$J = L_p * PTM \quad (\text{IIB.5})$$

Avec :

J : le flux de perméat exprime en (L. h-1. m-2).

PTM : La pression transmembranaire exprimée en bar.

Lp : perméabilité hydraulique de la membrane exprimée en (L. h-1. m-2. 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 :

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

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 [27].

III.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 :

$$Ret = 100 - Tr = (1 - (CP / CR)) * 100 \text{ (IIB.7)}$$

Avec :

Ret : Le taux de rétention (%). Tr : La transmission.

CP : La concentration de soluté dans le perméat.

CR : 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 ($g \cdot mol^{-1}$) [27].

III.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 III.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

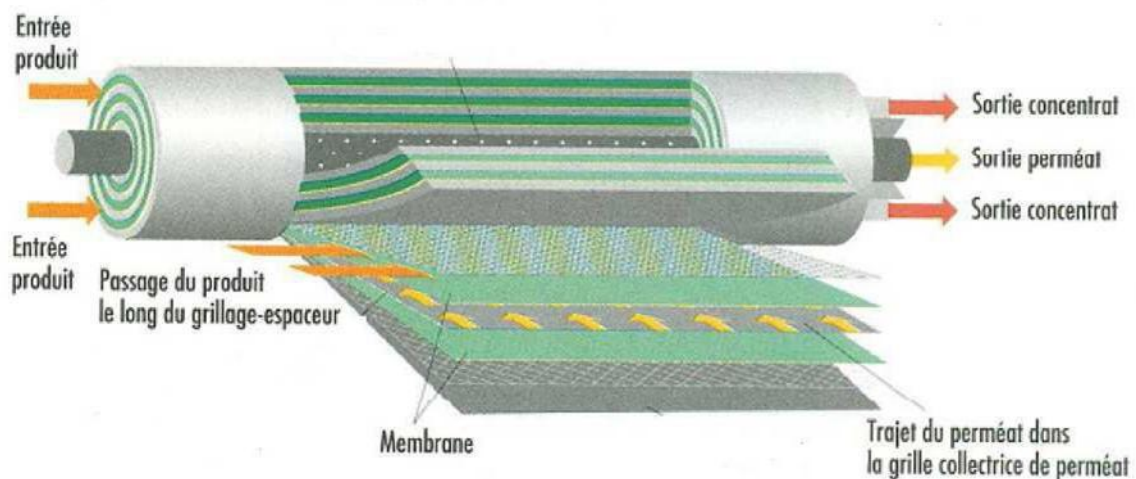


Figure III.3 : Membrane en spirale.

III.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) [28].

III.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 [29].

III.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 [30].

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

III.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.

III.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 [31]. 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 [32]

Conclusion.

Conclusion.

Le traitement des eaux résiduaires urbaines (ERU) ou industrielles (ERI) est régi, soit par une réglementation basée sur la plus ou moins grande fragilité du milieu récepteur en cas de rejet direct, soit par une qualité d'usage requise en cas de volonté de réutilisation des eaux traitées.

Le présent article a pour objet de présenter les bioréacteurs à membranes utilisés en traitement des eaux usées, de mettre en avant l'originalité de ce procédé multifonctionnel, en terme de qualité et de fiabilité du traitement, et de donner quelques outils pour la maîtrise des processus physiques et biologiques spécifiques au procédé.

Le bioréacteur à membranes étant l'association d'un réacteur biologique et d'une séparation physique par des membranes poreuses, le document intègre la présentation générale du système, les caractéristiques propres à chaque étape unitaire et à leur couplage, des exemples de dimensionnement et d'applications, ainsi que des perspectives de développement.

BIBLIOGRAPHIE

- [1]:P. HUBERT, Eau puscule, édition ellipses, Juin 1984.
- Dégréement collectivité, Mémento technique de l'eau, 8^{ème} éditions, Lavoisier, France 1978.
- [1] C.GOMELLA, H.GUEREE et M. NEVEUX, Le traitement des eaux publiques industrielles et privées, 2^{ème} édition, 1978.
- [2] :R. Des JARDANS, Le traitement des eaux, édition de l'école polytechnique de Montréal.
- [3]:F. G .BRIERE, Distribution et collecte des eaux, 2^{ème} éditions, 2000.
- [3] M. RAPINAT, L'eau, 1^{ère} édition, 1982 Novembre.
- [4] A. MAUREL, Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres, 2^{ème} éditions, Septembre 2006.
- [8] Aptel P., Membranes and Membranes devices in water treatment, in: Proceeding of XVth Annual Summer School on Membrane Processes in Water and Waste water Treatment, European Membrane Society, Toulouse, France, 6-10 July (1998) 38-52.
- [9] Brun J. P., Procédés de séparation par membrane: transport, techniques membranaires et applications, Ed. Masson, Paris, France, 1989.
- [10] Crine M., Le Traitement des eaux industrielles chargées en métaux lourds, Tribune de l'eau, 46, N°561/1, Janvier/ Février (1993) 3-14.
- [11] Daufin G., René F., Aimar P., Les séparations par membrane dans les procédés de l'industrie alimentaire, Collection Sciences et Techniques Agro-alimentaires, Ed. Technique et Documentation - Lavoisier, Paris, France, 1998.

BIBLIOGRAPHIE

[12] Delaunay D., Nettoyage éco-efficace de membranes planes et spirales d'ultrafiltration de lait écrémé. Approches physico-chimiques et hydrodynamiques concertées, Thèse de doctorat, Université Rennes 1, France, 2007.

[13] Jakobs E., Karos W. J., Modification of ceramic ultrafiltration membranes and their characterisation, in: Proceeding of 8th Annual Meeting of North American Membrane Society, Ottawa, Canada, 22 mai (1996) 147-148.

[14] Bouzid H., Rôle de la physico-chimie sur les flux limites et critiques en ultrafiltration, nanofiltration et osmose inverse. Application à des effluents laitiers modèles, Thèse de doctorat, Université Rennes1, France, 2008.

[15] Rollin M., Concentration et extraction hautement sélective de protéines et d'antibiotiques par des membranes minérales d'ultrafiltration fonctionnalisées par dépôt de PVI quaternisé, Thèse Université Paris XII, 1991.

[16] Tondeur D., Science des séparations : Progrès, enjeux, obstacles, in : Génie des procédés, Ed. Technique et Documentation – Lavoisier, Paris, France, 1993.

[17] Vincent J., La chimie de nettoyage (chapitre 6) dans nettoyage, désinfection et hygiène dans les bio-inustries, Eiteurs : Leveau J. Y. et Bouix M., (Tec et Doc, lavoisier) Paris, 167-204, 1999.

[18] DU PONT DE NEMOURS E. I. and Co., Permasep B-9 Permeator - Technical Information Manual: Section 7, Du Pont de Nemours, Wilmington, U.S.A., 12 Janvier 1983, pp

[19] Crine M., Le Traitement des eaux industrielles chargées en métaux lourds, Tribune de l'eau, 46, N°561/1, Janvier/ Février (1993) 3-14.

BIBLIOGRAPHIE

- [20] Lonsdale H. K., Reverse osmosis, in: Synthetic membranes: Science, Engineering and Applications, Nato ASI Series, Series C: Mathematical and Physical Sciences, D. Reidel Publishing Company, Dordrech, Holland, 181 (1986) 307-342.
- [21] Bégoin L., Analyses des modules spirales industriels d'ultrafiltration de fluides laitiers, Physico-chimie du nettoyage de membranes en polyéthersulfone d'ultrafiltration de lait écrémé, Thèse de doctorat, Université Rennes1, France, 2004.
- [22] Blanpain-Avet P., Rabiller-Baudry M., Chaufer B., Bénézech T., Faille C., anré T., Jégou A., Le Maux M., Méthodes et caractérisation microbiologique et physico-chimique des membranes. Application au nettoyage des membranes, Actes dans 6ème Colloque Prosetia, (Versaille, 19-21 Mars 2001) 6 pages.
- [23] (Bégin, 2004 ; Delaunay, 2007).
- [24] 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.
- [25] 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).
- [26] N. WEMSY DIAGNE, Le nettoyage : une étape-clef pour une production durable par procédé à membrane : réflexion sur le lien entre conceptions de production et nettoyabilité d'une membrane PES de l'industrie laitière, Thèse de Doctorat en chimie, Université de Rennes 1(2013).
- [27] A. MAUREL, Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres, 2ème éditions, Septembre 2006.

BIBLIOGRAPHIE

[28] J. P.BRUN, Procédés de séparations par membrane : transport, techniques membranaires, application, édition Masson, 1988.

[29] 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.

[30] <http://WWW.ecotoscicologie.fr/> Dessalement. PHP.

[31] N. LEBLEU, Désinfection des eaux par procédés membranaires : étude des mécanismes de transfert des bactéries, Thèse de Doctorat de l'université de Toulouse (2007).

[32] M.S OUALI, Procédés unitaires biologiques et traitement des eaux, édition OPU, 2017