



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

People's Democratic republic of Algeria

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministry of Higher Education and Scientific Research

جامعة عبد الحميد بن باديس - مستغانم

Abdel Hamid Ibn Badis University – Mostaganem

كلية العلوم والتكنولوجيا

Faculty of Sciences and Technology

قسم هندسة الطرائق

Department of Process Engineering



N° d'ordre : M2...../GPE/2021

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES DE MASTER ACADEMIQUE

Filière : Génie des procédés

Option: Génie des procédés de l'environnement

Thème

Étude de l'unité de dessalement de l'eau de mer MTM-Mostaganem

Présenté par

1- M^{lle} CHOUACHI Asma

2- M^{lle} KADDOURI Chaimae

Soutenu le 12 / 07 / 2021 devant le jury composé de :

| | | | |
|----------------|---------------|------------|--------------------------|
| Président : | B. BESTANI | Professeur | Université de Mostaganem |
| Examinatrice : | D. MEKHATRIA | MCB | Université de Mostaganem |
| Examinatrice : | I. TOUMI | MCB | Université de Mostaganem |
| Examineur : | K. SOLTANE | MAA | Université de Mostaganem |
| Encadreur : | F. ABDELMALEK | Professeur | Université de Mostaganem |

Année universitaire 2020 / 2021

Dédicace

*Je dédie ce modeste travail à celle qui m'a donné la vie, le symbole de la tendresse qui s'est sacrifiée pour mon bonheur et ma réussite, à mon adorable mère **FATMA**.*

*A mon père **ABDELKADER**, école de mon enfance, qui a été mon ombre durant toutes les années d'études, et qui a veillé durant toutes ces années à m'encourager, à me donner l'aide nécessaire pour que je réussisse dans tout ce que j'entreprends tout en me protégeant.*

*A la mémoire de mon grand-père **DJILALI**.*

*A mon chère frère **Mohammed Alaa Eddin**.*

*A mes adorable sœurs **Amina, Hafsa, Fatma, Aicha, Djamila, Zohra, Nour elhouda** leur soutien est sans faille.*

*A mes beau- frères **Mehdi, Abdallah, Mohammed, Sid Ahmed, Abdelrrzak***

A mes nièces et mes neveux.

*Toute la famille « **CHOUACHI** » et « **MEDJHARI** ».*

*Mes chers amies **Kheira, Chaimae, Ahlem, Amel** pour leur amitié sincère et pour tous les bons moments passés ensemble.*

Pour ceux que je n'ai pas cités bien sûr, ne croyez pas que je vous ai oublié, je vous porte toujours dans mon cœur.

CHOUACHI Asma



Dédicace

Je dédie ce mémoire :

❖ A mon très cher père **KADDOURI HOCINE**,

Tu as toujours été pour moi un exemple du père respectueux, honnête, de la personne méticuleuse, je tiens à honorer l'homme que tu es. Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour l'estime et le respect que j'ai toujours eu pour toi.

❖ A la femme qui a souffert sans me laisser souffrir, qui n'a jamais dit non à mes exigences et qui n'a épargné aucun effort pour me rendre heureuse, mon adorable mère **BAHRI FAIZA**.

❖ A mes chers frères **MOKHTAR, ABDESSAMAD et AMINE**.

A tous les moments d'enfance passés avec vous mes frères, en gage de ma profonde estime pour l'aide que vous m'avez apporté, vous m'avez soutenu, réconforté et encouragé.

❖ A mes sœurs **AMEL et SAFAA**, qui n'ont pas cessées de me conseiller, encourager et soutenir tout au long de mes études. Que DIEU les protège et leurs offre la chance et le bonheur.

❖ A mes neveux **ABDERRAHMEN, KOSAY et DJAMELEDDINE**.

❖ A mes nièces **TESNIM et RANIM**.

❖ A toute ma famille «**KADDOURI**» et «**BAHRI**».

❖ A mes amies **CHAHIRA, ASMA, KHEIRA**. En témoignage de l'amitié qui nous unit et des souvenirs de tous les moments que nous avons passés ensemble, je vous dédie ce travail et je vous souhaite une vie pleine de santé et de bonheur.

KADDOURI Chaimae



Remerciements

Nous remercions d'abord Allah, pour nous avoir donné la santé, la volonté, la patience, la capacité à nous surpasser et le courage pour bien mener nos années d'études et accomplir cet ouvrage.

Nous remercions très chaleureusement notre promotrice notre professeur encadrant, Mme F.ABDELMALEK, Professeure-Directrice de laboratoire SEVA à l'université de Mostaganem, que d'avoir accepté de diriger notre mémoire, Nous tenons à lui témoigner notre sincère gratitude pour les précieux conseils qu'elle nous a prodigué. Nous avons été honoré de travailler sous sa direction.

Nous exprimons nos profonds remerciements à Mr M. GHEZZAR Professeur à l'université de Mostaganem pour sa précieuse contribution à la réalisation de ce mémoire et le remercie aussi de son suivi permanent de notre travail, ses remarques et suggestions sans lesquelles ce mémoire n'aurait pas lieu, ses conseils pertinents avec amabilité et patience ont permis à notre travail d'aboutir.

Nos remerciements vont aux membres du jury président et examinateurs d'avoir accepté de juger ce modeste travail. En l'occurrence Pr B.BESTANI, Dr D.MKHATRIA, Dr I. TOUMI et Dr K. SOLTANE, qu'ils trouvent ici notre profonde reconnaissance.

Un grand remerciement à tous les membres de la station de dessalement de Mostaganem MTM particulièrement à Mr GOULMAN chef de production et Mr ZAAHAF Abdellah superviseur de control de cette station, qui nous ont beaucoup encouragé et aidé pour notre stage.

Un grand merci à tous les membres du laboratoire STEVA, particulièrement Professeur A. ADDOU.

En dernier, et encore une fois, nous insistons à remercier tous les enseignants de notre faculté pour tout ce qu'ils ont pu nous apprendre durant notre cursus universitaire.

ملخص

تعتبر التصفية عن طريق الغشاء عملية فصل فعالة امنة و سهلة القيادة لكن ليست بسيطة سبب هذه الصعوبات هو انسداد اغشية التناضح العكسي لذي يعتبر صعب التجنب و الحد و معقد الوصف كما يمكن ان يؤثر على اداء النظام و يتسبب في شيخوخة الاغشية.

يتركز الهدف من عملنا هذا على معرفة العوامل التي تؤثر على انسداد الاغشية مع تطوير استراتيجيات للحد من هذه الظاهرة.

الكلمات المفتاحية: ماء البحر، تحلية المياه ، التناضح العكسي ، الأغشية ، الانسداد

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. Il peut 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 de nous initier au calcul des paramètres de fonctionnement des modules membranaires utilisés par MTM-Mostaganem.

Mots-clés: Eau de mer, dessalement, osmose inverse, membranes, colmatage.

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 . On the other hand to introduce us to the calculation of the operating parameters of the membrane modules used by Mostaganem Desalination Plant.

Keywords: Sea water, desalination, reverse osmosis, membranes, clogging.

Table des matières

| | |
|---|----|
| Introduction générale | 01 |
| I.Introduction..... | 03 |
| PARTIE A. Eau de mer..... | 03 |
| I _A -1-Eau de mer..... | 03 |
| I _A -1-1. Composition de l'eau de mer | 03 |
| I _A -2.Eau potable..... | 03 |
| I _A -2-1. Critères de potabilités sur les principaux éléments d'une eau..... | 07 |
| I _A -3.Classification des eaux selon la salinité | 09 |
| I _A -3-1. Eau douce..... | 09 |
| I _A -3-2. Eau saumâtre | 10 |
| I _A -3-3. Eau de mer | 10 |
| I _A -4.Dessalement de l'eau de mer | 10 |
| I _A -4-1. Bref aperçu historique..... | 10 |
| I _A -4-2. Dessalement d'eau de mer dans le monde..... | 11 |
| I _A -4-3. Dessalement en Algérie..... | 11 |
| I _A -4-4. Techniques de dessalement | 12 |
| I _A -4-5. Avantages et les inconvénients de dessalement | 12 |
| I _A -4-6. Impact de dessalement sur l'environnement..... | 13 |
| PARTIE (B): Dessalement d'eau de mer par osmose inverse | 14 |
| I _B -1. Principe de L'osmose..... | 14 |
| I _B -2. Principe de L'osmose inverse | 14 |
| I _B -3. Mécanisme de transfert | 15 |
| I _B -4. Polarisation de concentration théorie du film..... | 15 |
| I _B -5. Membranes..... | 16 |
| I _B -5-1. Principe de séparation membranaire..... | 16 |
| I _B -5-2. Nature chimique des membranes | 16 |
| I _B -5-3. Structure des membranes..... | 17 |
| I _B -5-4. Configurations des membranes..... | 18 |
| I _B -5-5. Différents procédés de séparation membranaire..... | 20 |
| I _B -6. Présentation de station de dessalement de Mostaganem MTM..... | 20 |
| I _B -6-1. Description et fonctionnement normal des installations du process..... | 21 |
| I _B -6-1-1. Captage et pompage de l'eau de mer | 21 |

| | |
|---|----|
| I _B -6-1-2. Système de prétraitement | 22 |
| I _B -6-1-2-a.Système de filtration | 23 |
| I _B -6-1-2-b. Système d'osmose inverse | 25 |
| I _B -6-1-2-c. Système de reminéralisation et conditionnement de l'eau osmotique..... | 27 |
| I _B -6-1-2-d. Stockage et impulsion de l'eau produite..... | 28 |
| I _B -6-1-2-e. Système de vidange des saumures | 28 |
| II.Introduction..... | 29 |
| II-1. Définition du colmatage | 29 |
| II-2.Les type de colmatage | 29 |
| II-2-1.Colmatage par entartrage | 29 |
| II-2-2. Colmatage par dépôt..... | 29 |
| II-2-3. Colmatage par adsorption | 30 |
| II-2-4. Biocolmatage (Biofouling)..... | 30 |
| II-3. Décolmatage..... | 30 |
| II-3-1. Méthode chimique de décolmatage..... | 30 |
| II-4. Facteurs influençant le colmatage | 31 |
| II-4-1. Caractéristiques de la membrane..... | 31 |
| II-4-2. Caractéristiques de l'eau à traiter | 32 |
| II-4-3. Conditions opératoires du procédé membranaire..... | 35 |
| II-5. Indice de détection du colmatage..... | 36 |
| II-5-1. Pertes de charges | 36 |
| II-5-2. Taux de conversion Y | 37 |
| II.5.3 Pression osmotique..... | 38 |
| II-6. Solutions envisagées pour améliorer la résistance au colmatage des membranes | 40 |
| 1. Développement de membranes à potentiel zéta neutre | 41 |
| 2. Augmentation de la résistance chimique | 41 |
| 3. Minoration d'usage des produits chimiques dans le nettoyage | 41 |
| Conclusion..... | 43 |

Liste des abréviations

| ABREVIATION | SIGNIFICATION |
|-------------|------------------------------------|
| ADE | Algérienne Des Eaux. |
| °C | degré Celsius |
| NTU | Nephelometric Turbidity Unit |
| Cm | Concentration d'une membrane |
| Cp | Concentration perméable. |
| g | Gramme |
| kg | Kilogramme |
| HCl | Acide chlorhydrique. |
| HP | Haute Pression |
| L | Litre. |
| LSI | Indice de Langelier. |
| m | Mètre |
| MES | Matière En Suspension. |
| min | minutes. |
| mm | millimètre. |
| MTD | MTD Matière Totale Dissoute. |
| N | Normalité. |
| NTU | Nephelometric Turbidity Unit. |
| OI | Osmose Inverse. |
| OMS | Organisation Mondiale de la Santé. |
| p | Pression. |
| Pa | Pascal. |
| ppm | partie par million |
| PTM | Pression Transmembranaire. |
| Robs | Rétention observé. |
| ppb | partie par billion |
| Pp | Pression de permeat. |
| SDI | Silt Density Index. |
| T | Température |
| TH | Titre Hydrotimétrique |
| D | flux de diffusion |
| µS | micro Siemens |
| TDS | Total Desolved Salt |
| AEP | American Environmental Protection |
| QP | Débit de permeat |
| QA | Débit d'alimentation |

| | |
|------------|--------------------|
| Π | Pression osmotique |
| Δp | Perte de charge |
| Φ | Le flux massique |

Liste des Figures

Figure I_{A.1} : Schéma de la taille des matières organiques dans l'eau de mer.

Figure I_{A.2} Schéma général d'une installation de dessalement.

Figure.I_{B.1} : Schéma représente le principe de l'osmose.

Figure.I_{B.2} Schéma représente le principe de l'osmose inverse.

Figure I_{B.3}: Phénomène de polarisation de concentration.

FigureI_{B.4}: Représentation schématique du principe de séparation par la membrane.

Figure I_{B.5}: Représentation schématique des différents types de structures membranaires :

(a) membrane symétrique (b) membrane asymétrique [26].

Figure I_{B.6}: Image MEB d'une membrane composite [27].

FigureI_{B.7}: Schéma d'un module plan.

FigureI_{B.8} : Schéma d'un module tubulaire.

Figure I_{B.9}: Schéma d'un module spirale.

Figure I_{B.10}: Schéma d'un module à creuse.

Figure I_{B.11}: La station de dessalement de l'eau de mer de Mostaganem.

Figure I_{B.12} : Schéma représentant le captage de l'eau de mer.

Figure I_{B.13} : Système de pompage de l'eau de mer.

Figure I_{B.14} : Filtration de première et deuxième étape.

Figure I_{B.15} : Schéma présente le système de filtration.

Figure I_{B.16} : Schéma général d'une installation d'osmose inverse.

Figure I_{B.17}: Les châssis d'osmose inverse.

Figure I_{B.18}: Schéma représente le système de reminéralisation.

Figure I_{B.19} : Schéma représente le stockage et impulsion de l'eau produite.

Figure II.1: Évolution de la température d'eau de la station de Mostaganem.

Figure II.2: Évolution du pH d'eau filtrée de la station de Mostaganem.

Figure II.3: Évolution de la pression d'alimentation d'Osмосe Inverse.

Figure II.4 : Débit volumique du perméat en fonction du temps.

Figure II.5 : Évolution du taux de conversion.

Liste des Tableaux

Tableau I_A.1: Concentration en sels des différentes mers [1].

Tableau I_A.2 Concentration des éléments majeurs présents dans une eau de mer de salinité 35 g.kg⁻¹[2].

Tableau I_A.3:Descriptions des éléments nutritifs rencontrés dans l'eau de mer [3].

Tableau I_A.4 Les paramètres organoleptiques avec valeurs indicatives [8].

Tableau I_A.5 Les paramètres physico-chimiques avec valeurs indicative [8].

Tableau I_A.6Substances indésirables avec valeurs limites [8].

Tableau I_A.7 Substances toxiques avec valeurs limites [8].

Tableau I_A.8 Paramètres bactériologiques avec valeurs limites [8].

Tableau I_A.9 Classification des eaux selon la salinité [12].

Tableau I_A.10 Les stations de dessalement en Algérie.

Tableau I_A.11 Techniques de dessalement utilisé [17].

Tableau.II.1 Les caractéristiques d'une membrane utilisée dans MTM.

Tableau.II.2 Les valeurs de la pression osmotique en amont et en aval de la membrane.

Introduction générale

Aujourd'hui, les ressources en eau douce pour la production d'eau potable sont inexistantes ou insuffisantes vis-à-vis de la croissance démographique ou de la production industrielle. Par conséquent, des solutions telles que la réutilisation d'eau et le dessalement d'eau salée, qui représente la très grande majorité de l'eau disponible sur terre, deviennent des solutions clés, répondant en outre aux exigences du développement durable. La réutilisation d'eau est principalement utilisée afin de fournir de l'eau pour l'irrigation, ou les procédés industriels, et elle est seulement considérée comme une méthode indirecte de production d'eau potable. En revanche, le dessalement est en passe de devenir une méthode prépondérante pour la production d'eau potable dans les zones de pénurie en eau douce.

Les procédés de dessalement sont principalement issus de deux technologies : les procédés thermiques et les procédés membranaires. La première usine de dessalement d'eau saumâtre par osmose inverse a vu le jour à la fin des années 60. Les décennies suivantes ont vu le développement de nouveaux matériels membranaires, et des membranes d'osmose inverse ont alors été utilisées pour le dessalement des eaux de mer. Aujourd'hui, plus de 15 000 usines de dessalement sont en opération dans le Monde, environ 50% sont des usines de dessalement par osmose inverse.

Le problème le plus aigu des séparations par membranes concerne leur colmatage qui réduit leur productivité et donc concourt à augmenter les dépenses d'énergie, à accroître la fréquence des lavages et à réduire éventuellement leur durée de vie. Il s'agit donc d'un enjeu majeur. Le colmatage est un phénomène complexe faisant intervenir à la surface ou dans les pores des membranes, des phénomènes physiques (accumulation de particules), chimiques (adsorption, précipitation, etc.), simples ou couplés, phénomènes liés non seulement à la qualité de l'eau mais aussi à la nature du matériau constitutif de la membrane.

Pour se familiariser avec les procédés d'osmose inverse conçus pour le dessalement d'eau de mer, nous avons choisi MTM-Mostaganem comme unité pilote. Au terme de notre stage au sein de cette entreprise, des calculs ont été réalisés et des recommandations ont été données. Le mémoire est structuré en une introduction, deux chapitres, une conclusion et des références.

- (i) Chapitre I, théorique, dédiée aux caractéristiques de l'eau de mer et aux procédés membranaires.

- (ii) Chapitre II : présente les résultats de calcul des paramètres de fonctionnement des modules membranaires utilisés par MTM-Mostaganem.

I. Introduction

L'objectif de ce chapitre est de présenter une étude bibliographique qui donne un aperçu général sur l'eau de mer et son dessalement. Ce chapitre se compose en deux parties principales A et B : la partie A est relative à la composition de l'eau de mer, mélange complexe d'espèces inorganiques et organiques est décrite. Puis, les propriétés des différents procédés de dessalement en général. Les procédés membranaires utilisés dans le dessalement de l'eau de mer font la deuxième partie (partie B). Le procédé d'osmose inverse y a été présenté plus en détail pour son émergence et sa large application dans le dessalement de l'eau de mer.

PARTIE A. Eau de mer

I_A-1-Eau de mer

L'eau de mer désigne l'eau présente dans les océans et les mers du globe. Elle constitue 97% de l'eau totale présente sur notre planète, soit environ 1 350 millions de km³[1]. L'existence des sels dans l'eau de mer modifie les caractéristiques de l'eau : par exemple la masse volumique moyenne de l'eau de mer est de $1,03 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$. Les paragraphes suivants présentent la composition de l'eau de mer : un ensemble complexe des composés minéraux et organiques.

I_A-1-1. Composition de l'eau de mer

I_A-1-1-1. Composition minérale

L'eau de mer est constituée à plus de 99,9% de sels parmi les espèces dissoutes. La concentration en sels de l'eau de mer varie d'une position géographique et d'une saison à une autre.

a). Concentrations en sels des différents océans et mers

La concentration en sels des mers ouvertes sur les masses océaniques est de l'ordre de $35 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, mais elle peut varier selon la position géographique et la saison. Pour les autres mers, les concentrations sont très différentes. Le Tableau **I_A.1** présente les principaux exemples :

Tableau I_{A.1}: Concentration en sels des différentes mers [1].

| Mer | Concentration (g.kg ⁻¹) |
|------------------|-------------------------------------|
| Mer Baltique | 7 |
| Mer Caspienne | 13 |
| Mer Noire | 20 |
| Mer Méditerranée | 36 à 39 |
| Mer Rouge | 40 |
| Golfe Arabique | 40 à 70 |
| Mer Morte | 270 |

La proportion relative en différents sels d'une eau de mer, c'est-à-dire sa concentration en différents sels par rapport à la concentration en sel total. Les principaux ions présents dans les eaux de mer sont présentés avec leurs concentrations dans le Tableau I_{A.2}. Il est à noter que les ions chlorure et sodium constituent environ 85% de la masse en sels présents dans l'eau de mer.

Tableau I_{A.2} : Concentration des éléments majeurs présents dans une eau de mer de salinité 35 g.kg⁻¹[2].

| Concentration en ppm | Valeur |
|---|---------|
| Na ⁺ | 10 770 |
| Mg ²⁺ | 12 90 |
| Ca ²⁺ | 412.1 |
| K ⁺ | 399 |
| Cl ⁻ | 19 354 |
| SO ₄ ²⁻ | 2 712 |
| HCO ₃ ⁻ , CO ₃ ²⁻ | 118-146 |
| Br ⁻ | 67.3 |
| F ⁻ | 1.3 |

b).Autres éléments minéraux présents dans l'eau de mer

L'élément bore est également présent dans l'eau de mer et peut avoir des incidences sur la santé à une certaine concentration. On le retrouve autour 4,5 mg.L⁻¹ dans l'eau de mer standard. L'Organisation Mondiale de la Santé, dans ses préconisations de 2011, estime que la concentration maximale en bore dans une eau potable doit être de 2,4 mg.L⁻¹. Cette préconisation a été réévaluée récemment puisqu'elle était de 0,5 mg.L⁻¹ antérieurement. De nombreux autres éléments sont présents à l'état de trace (moins de 0,1 ppm), comme par exemple l'ion baryum Ba⁺² ou l'iode I. Certains ions métalliques sont également rencontrés

CHAPITRE I. Eau de mer-Usine de dessalement

dans l'eau de mer à une concentration d'au moins une partie par billion en masse (ppb) : titane, zinc, nickel, aluminium, chrome, cadmium, cuivre, fer, manganèse, plomb, mercure [3].

Enfin, l'eau de mer contient certains éléments nutritifs que les phytoplanctons utilisent pour produire de la matière organique par photosynthèse. Ces éléments, en dehors du carbone, sont principalement le phosphore, l'azote inorganique et le silicium dont les différentes formes sont présentées dans le Tableau I_{A.3}.

Tableau I_{A.3}: Descriptions des éléments nutritifs rencontrés dans l'eau de mer [3].

| Élément | Forme | Localisation ou proportion | Concentration (mmol.L ⁻¹) |
|--------------------|------------------------------------|---|---------------------------------------|
| Phosphore | HPO ₄ ²⁻ 90% | Autour de 1 | |
| | PO ₄ ³⁻ 10% | | |
| Azote | N ₂ (gaz dissous) | Majoritaire | - |
| Inorganique | NO ₃ ⁻ | Zones oxygénées | Quelques dizaines |
| | NO ₂ ⁻ | Zones anoxiques | Entre 0,1 et 2 |
| | NH ₄ ⁺ | Zones oxygénées et anoxiques | Entre 5 et 100 |
| Silicium | Si(OH) ₄ | Principalement régions volcaniques et en surface (coquilles d'organismes) | Entre 25 et 550 |

I_A-1-1-2. Composition organique

L'océan est le réservoir principal du carbone organique sur terre, qui contient environ 1018 g de carbone [4]. La plupart du carbone organique dans l'océan est sous la forme de matière organique dissoute et principalement de molécules à faible poids moléculaire. Seulement 1% du carbone organique est de la matière organique particulaire [5]. Environ 75% du carbone organique dissous est de la matière organique dissoute de faible poids moléculaire. Une procédure largement utilisée pour séparer les matières organiques dissoutes des fractions particulaires est une filtration à travers une membrane ayant des pores de 0,2 à 1,0 μm. Le plus souvent, une membrane avec des pores de 0,45 μm est utilisée [3, 6].

La figure I_{A.1} donne une représentation très schématique et simplifiée de la gamme de taille et des types de matières organiques dans l'eau de mer. La concentration des matières organiques dissoutes et particulaires dépend de la profondeur de l'océan : l'eau de mer surfacique a une concentration plus élevée que l'eau en profondeur [5].

CHAPITRE I. Eau de mer-Usine de dessalement

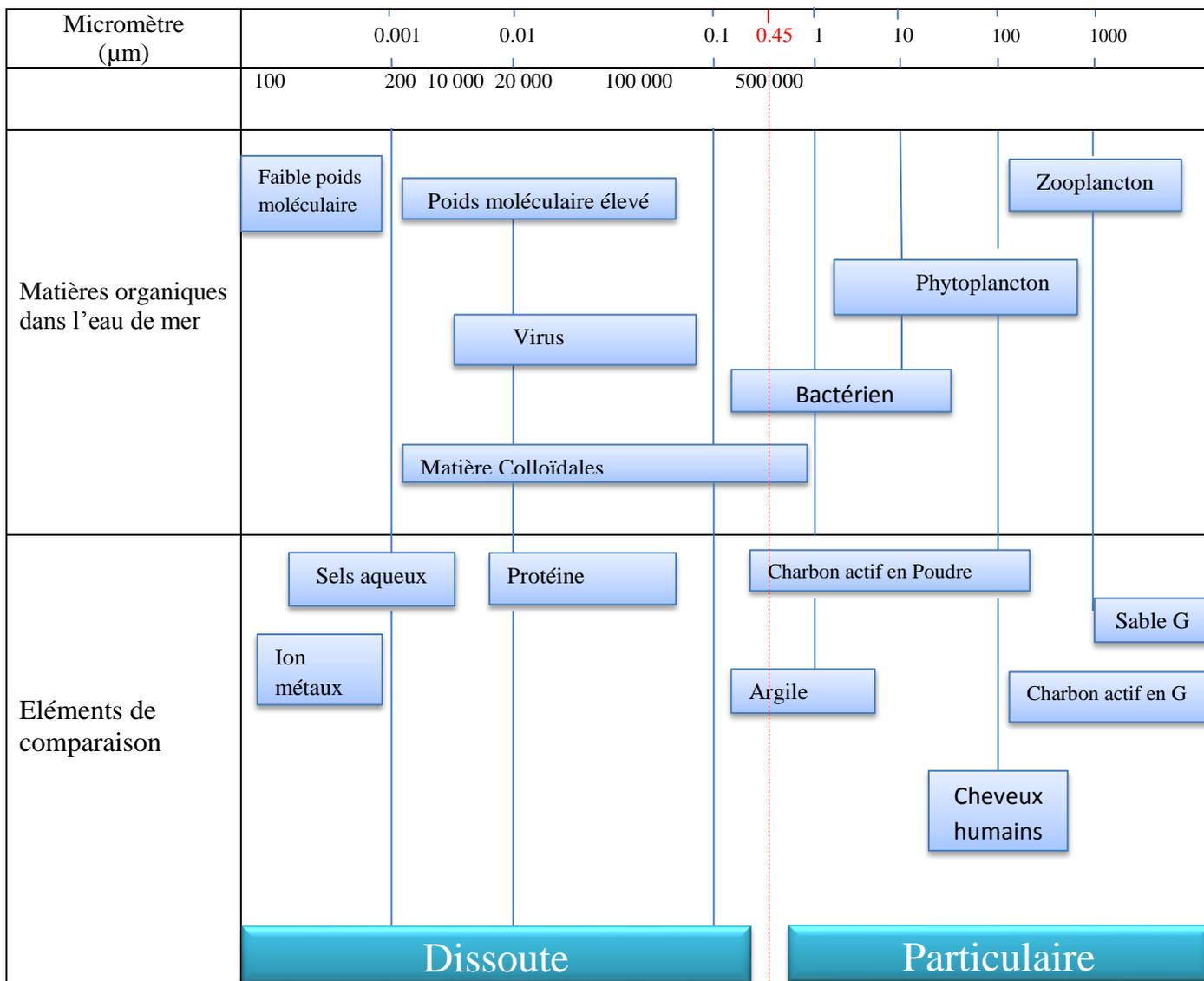


Figure I_A.1 : Schéma de la taille des matières organiques dans l'eau de mer.

I_A-2. Eau potable

Une eau potable est une eau que l'on peut boire sans risque pour la santé. Afin de définir précisément une eau potable, des normes ont été établies qui fixent notamment les teneurs limites à ne pas dépasser pour un certain nombre de substances nocives et susceptibles d'être présentes dans l'eau. Le fait qu'une eau soit conforme aux normes, c'est-à-dire potable, ne signifie donc pas qu'elle soit exempte de matières polluantes, mais que leur concentration a été jugée suffisamment faible pour ne pas mettre en danger la santé du consommateur [7].

I_A-2-1. Critères de potabilités sur les principaux éléments d'une eau

Une eau est dite "potable" si elle respecte les valeurs imposées par le **Décret exécutif n° 11-125 du 17 Rabie Ethani 1432 correspondant au 22 mars 2011 relatif à la qualité de l'eau de consommation humaine (JO N°18 du 23 Mars 2011)**; Il existe cinq catégories de paramètres à respecter, nous nous sommes basés pour présenter les paramètres sur le décret 11-125 et sur les recommandations de l'OMS [8].

I_A.2.1.1. Les paramètres organoleptiques

- **Le goût:** Ensemble complexe des sensations olfactives, gustatives perçues au cours de la dégustation, il doit être non désagréable [9].
- **La couleur et l'odeur** La couleur de l'eau est liée à la présence de substances organiques colorées (principalement des acides humiques et fulviques) et de métaux (le fer et le manganèse). L'odeur a pour origine principale la présence de substances organiques volatiles ou de certains gaz [10].
- **La turbidité** La turbidité est la mesure de l'aspect plus ou moins trouble de l'eau; c'est l'inverse de la limpidité. Techniquement, la turbidité correspond à la propriété optique de l'eau permettant à une lumière incidente d'être déviée (diffraction) ou absorbée par des particules plutôt que transmise en ligne droite. Elle est causée par diverses matières particulaires ou colloïdales composées de limon, d'argile, de composés organiques ou inorganiques ainsi que du plancton et d'autres microorganismes [11]. Le tableau I_A.4 renseigne sur les paramètres cités.

Tableau I_A.4: Les paramètres organoleptiques avec valeurs indicatives [8].

| Paramètres organoleptiques | Valeurs |
|----------------------------|----------------|
| Couleur | 15mg/L Platine |
| Turbidité | 5NTU |
| Odeur à 12°C | 4Taux dilution |
| Saveur à 25°C | 4Taux dilution |

I_A.2.1.2. Les paramètres 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

CHAPITRE I. Eau de mer-Usine de dessalement

vigueur en 2003, sauf pour les paramètres indiquées ci-dessous Tableau **I_{A.5}**. Pour ces paramètres les valeurs garanties pendant ou l'eau de mer traitée.

Tableau I_{A.5}:Les paramètres physico-chimiques avec valeurs indicative [8].

| Paramètres physico-chimiques | Valeurs |
|------------------------------|--|
| Matière totale dissoute | 150<MTD<500ppm |
| Dureté totale (TH) | 200mg.L ⁻¹ de CaCO ₃ |
| Alcalinité | 500mg.L de CaCO ₃ |
| Ph | 7.5à8.5 |
| Indice de langelier(LSI) | 0.0à0.4 |
| Bore | 1mg.L ⁻¹ |
| Température | 25°C |

I_{A.2.1.3}. Substances indésirables

Le tableau ci-dessous donne un aperçu général sur les différentes substances indésirables dans une eau de mer.

Tableau I_{A.6}:Substances indésirables avec valeurs limites [8].

| Substances indésirables | Valeurs |
|-------------------------|------------------------|
| Bore | 1mg.L ⁻¹ |
| Bromates | 10µg.L ⁻¹ |
| Chlore | 5mg.L ⁻¹ |
| Phénol | 0,5 µg.L ⁻¹ |

I_{A.2.1.4}. Substances toxiques

Parmi ces substances, on peut citer les éléments répertoriés sur le tableau ci-après :

Tableau I_{A.7}:Substances toxiques avec valeurs limites [8].

| Substances toxiques | Valeurs (µg.L ⁻¹) |
|---------------------|-------------------------------|
| Antimoine | 20 |
| Cyanure | 70 |
| Mercure | 6 |
| Nickel | 70 |

CHAPITRE I. Eau de mer-Usine de dessalement

I_A.2.1.5. Paramètres bactériologiques

L'eau contient une multitude de micro-organismes (bactéries, virus, parasites) issus de l'activité biologique naturelle. Certains de ces micro-organismes peuvent être pathogènes comme le montre le tableau ci-après.

Tableau I_A.8: Paramètres bactériologiques avec valeurs limites [8].

| Paramètres microbiologiques | Valeurs |
|---|-----------|
| Escherichia Coli | 0 n/100ml |
| Entérocoques | 0 n/100ml |
| Bactéries sulfitoréductrices y compris les spores | 0 n/20ml |

I_A-3. Classification des eaux selon la salinité

La salinité de l'eau est exprimée par la concentration de tous les sels dissouts (Sels Dissouts Totaux), en anglais TDS (Total Dissolved Salt). Elle représente un critère de classification des eaux. Le tableau ci-dessous donne une classification des eaux selon leur salinité.

Tableau I_A.9: Classification des eaux selon la salinité [12].

| Type d'eau | Salinité TDS (mg.L ⁻¹) |
|----------------------|------------------------------------|
| Eau douce | < 500 |
| Faiblement saumâtre | 1000 – 5000 |
| Moyennement saumâtre | 5000 -15000 |
| Fortement saumâtre | 15000 -35000 |
| Eau de mer | ≥ 35000 |

Pour l'organisation américaine de la protection de l'environnement (E. P. A), la salinité de l'eau potable destinée à la consommation ne doit pas dépasser la valeur de 500 mg/l. Pour l'organisation mondiale de la santé, l'OMS, la salinité doit être inférieure à 1000 mg/l et un taux de chlorures ne dépassant pas les 250 mg/l. La section ci-dessous décrit les différents types d'eau ainsi que les traitements nécessaires pour la potabilisation.

I_A-3-1. Eau douce

Dans la plupart des cas, si une source d'eau douce est disponible, son traitement pour produire de l'eau potable pour l'utilisation publique est relativement peu coûteux. Dans quelques régions, un ajustement simple du pH et la désinfection peuvent être le seul traitement exigé.

CHAPITRE I. Eau de mer-Usine de dessalement

Dans quelques secteurs, cependant, l'eau douce de surface ou souterraine, peut-être de qualité inférieure, exigeant ainsi un traitement plus étendu. Dans ces cas, l'eau saumâtre dessalée peut-être un approvisionnement plus fiable et moins coûteux.

I_A-3-2. Eau saumâtre

L'eau saumâtre est un milieu où l'eau douce rencontre l'eau de mer. On en trouve dans les estuaires, les embouchures de fleuves. Mais pour réaliser un tel milieu, il faut veiller à bien respecter certains paramètres. La marée et la saison des pluies jouent un rôle essentiel.

Les lagunes possèdent aussi des eaux saumâtres mais c'est aussi le cas de certaines mers comme la mer Baltique ou bien l'océan Arctique lors de la fonte de la banquise. Certains lacs peuvent aussi avoir des eaux saumâtres lorsque des infiltrations de sel parviennent à saliniser l'eau douce [13].

I_A-3-3. Eau de mer

La concentration des sels dissous des eaux des mers ouvertes est assez uniforme et égale approximativement à 3,5 pour cent ou à 35.000 parties par million (mg/l). Dans les régions à haute précipitation, la concentration de l'eau de mer est moins importante que celle des régions à forte évaporation (par exemple, mer rouge, Arabie saoudite,...etc.). Dans tous les cas, la proportion relative des principaux ions comparés au TDS demeure remarquablement constante [14].

I_A-4. Dessalement de l'eau de mer

I_A-4-1. Bref aperçu historique

L'idée de séparer le sel de l'eau est très ancienne, datant du moment où le sel, pas l'eau, était un produit précieux. La croissance démographique, et par conséquent la demande en eau douce n'a pas cessé d'augmenter poussant les scientifiques et les industriels à rechercher des manières de produire l'eau douce dans des sites éloignés et, en particulier, sur les bateaux en mer.

Une usine importante de dessalement d'eau de mer a été construite en 1938 dans ce qui est maintenant l'Arabie Saoudite. La recherche sur le dessalement a été conduite pendant la deuxième guerre mondiale pour satisfaire des besoins militaires d'eaux douces dans des régions arides. Les Etats-Unis et d'autres pays ont continué ce travail même après la guerre. Les premiers appareils de distillation apparurent dans la 1^{ère} moitié du XX^{ème} siècle, mais

CHAPITRE I. Eau de mer-Usine de dessalement

c'est à partir de 1975 que des moyens industriels ont été mis en œuvre pour dessaler l'eau de mer.

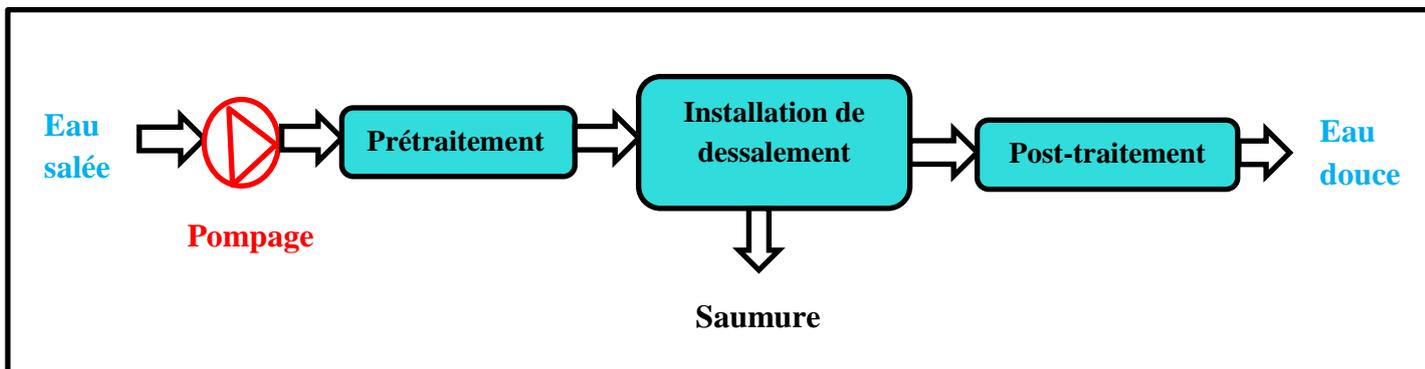


Figure I_A.2 : Schéma général d'une installation de dessalement.

I_A-4-2. Dessalement d'eau de mer dans le monde

La politique en matière d'eau pour la consommation est axée sur deux aspects essentiels : la disponibilité et la qualité. Le dessalement des eaux de mer et des eaux saumâtres a suscité de grandes espérances dans le monde entier comme seul moyen d'améliorer la qualité et garantir la disponibilité des ressources hydriques. Cette question s'aiguise davantage lorsqu'il s'agit d'une région comme l'Afrique touchée par un fort déficit en eau. La capacité de dessalement à l'échelon mondial dépasse les 45 millions de m³/jour [15].

I_A-4-3. Dessalement en Algérie

Un ambitieux programme est lancé par le gouvernement Algérien depuis plusieurs années et qui vise à pallier le manque de ressources conventionnelles en eau potable et à répondre aux besoins domestiques de plus de 40 millions d'Algériens. Voici un tableau qui regroupe les principales stations de dessalement en Algérie [16].

Tableau I_A.10 : 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 |

CHAPITRE I. Eau de mer-Usine de dessalement

I_A-4-4. Techniques de dessalement

Les techniques utilisées actuellement dans le dessalement d'eau de mer sont classées en trois catégories, selon le principe appliqué :

- Les procédés thermiques faisant intervenir un changement de phases « la distillation ».
- Les procédés utilisant des membranes : l'osmose inverse, l'électrodialyse et l'échange ionique.
- Procédés divers (congélation et autres).

Tableau I_A.11: Techniques de dessalement utilisées [17].

| Techniques utilisées | Pourcentage |
|---|-------------|
| Electro dialyse | 5% |
| Distillation multi-effet | 3% |
| Distillation flash à plusieurs étages | 35% |
| Osmose inverse | 46% |
| Compression de vapeur | 5% |
| Procédés divers (congélation et autres) | 5% |

I_A-4-5. Avantages et les inconvénients de dessalement

a) Avantages

Le dessalement de l'eau de mer présente de nombreux avantages :

Les réserves d'eau ont subi des infiltrations d'eau salée, à la suite, par exemple, de marées salines, comme cela s'est produit récemment avec les tsunamis en Asie.

D'autre part, l'irrigation à base d'eau dessalée est bénéfique pour l'environnement car elle permet une salinisation réduite du sol [18].

b)-Les inconvénients

Le dessalement de l'eau de mer apporte une réponse aux besoins d'eau douce. Toutefois, quel que soit le procédé utilisé, il n'est pas sans inconvénients :

- Besoins énergétiques importants ;
- Emploi de produits chimiques pour nettoyer les membranes ;
- Traces de métaux lourds échappés des installations.
- Aucune législation spécifique concernant la potabilité de l'eau issue de ces traitements [19].
- Un volume d'eau produit insuffisant comparé au volume d'eau de mer prélevé.
- La dégradation de l'environnement marin due à l'extraction et au rejet d'eau avec une quantité de sels très élevée (rejet des concentrats)[20].

I_A-4-6. Impact de dessalement sur l'environnement

Parmi les impacts dus à une usine de dessalement, il y a ceux qui se limitent à la phase de construction et ceux qui sont liés à la phase d'exploitation. Les impacts commencent avec la transformation de l'occupation du sol, puis continuent avec des conséquences visuelles et des nuisances sonores pour s'étendre à des émissions dans l'atmosphère et des rejets dans l'eau ainsi qu'à des dommages potentiels pour le milieu récepteur.

Les activités de construction et d'exploitation peuvent se traduire par une série d'impacts sur les zones littorales, affectant notamment la qualité de l'air, la qualité de l'eau, la flore et la faune marines, la perturbation d'écosystèmes importants [21].

Cet impact est multiple et se manifeste par : (Rejets atmosphériques, Rejets chimiques, Rejets de saumures.).

PARTIE (B): Dessalement d'eau de mer par osmose inverse

I_B-1. Principe de L'osmose

Le passage de solvant (généralement de l'eau) du milieu le moins concentré en sels dissous vers le plus concentré au travers d'une membrane semi-perméable et ce jusqu'à trouver l'équilibre entre les deux solutions (équilibre osmotique) [22]. Voir schéma ci-dessous.

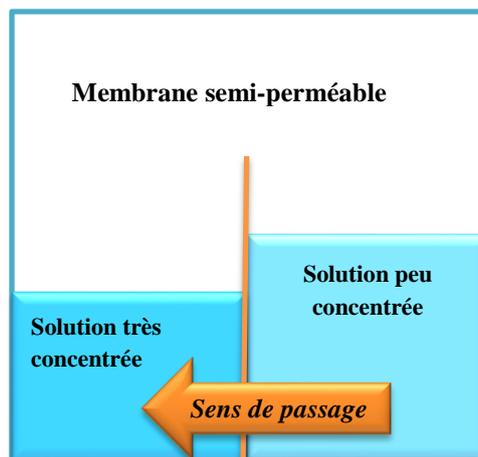


Figure.I_B.1: Schéma représente le principe de l'osmose.

I_B-2. Principe de L'osmose inverse

Une pression hydrostatique supérieure à la pression osmotique de la solution est appliquée mécaniquement sur la solution très concentrée en sels dissous. Le solvant diffuse au travers la membrane semi-perméable et les sels sont retenus dans le compartiment contenant la solution la plus concentrée. Ce processus s'effectue en sens inverse du phénomène naturel. C'est la raison pour laquelle il est appelé « osmose inverse » [22].

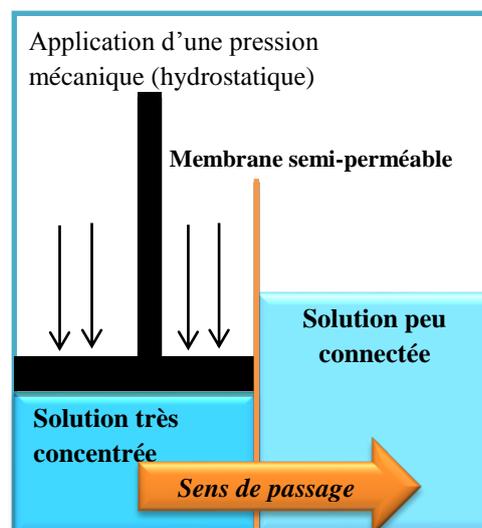


Figure.I_B.2: Schéma représente le principe de l'osmose inverse.

Nous obtenons alors une solution hyper-concentrée dans le compartiment de gauche. Cette résultante est appelée « concentrat » ou parfois « rétentat ». La solution dans le compartiment de droite est à l'inverse très peu chargée en sels dissous. Elle est appelée perméat.

I_B-3. Mécanisme de transfert

Dans le cas de l'OI, les transferts de solvant et de soluté au travers de la membrane semi-perméable se font majoritairement par diffusion : toutes les molécules (soluté et solvant) diffusent à l'intérieur de celle-ci sous l'action d'un gradient de concentration et de pression.

I_B-4. Polarisation de concentration théorie du film

Un phénomène limitant intervient lors de l'osmose inverse, il s'agit de la polarisation de concentration au voisinage de la membrane. Comme montré dans la figure 11, la polarisation de concentration est caractérisée par une accumulation à la surface de la membrane des espèces retenues. La concentration d'une espèce au voisinage de la membrane (C_m) va augmenter jusqu'à ce qu'un équilibre s'établisse entre le flux transféré à travers la membrane sous l'action du gradient de pression ($J.C_0$) et le flux qui diffuse en sens inverse sous l'action du gradient de concentration, de la couche limite vers la solution (D). La polarisation de concentration est un phénomène réversible qui disparaît si la force motrice de transfert est annulée.

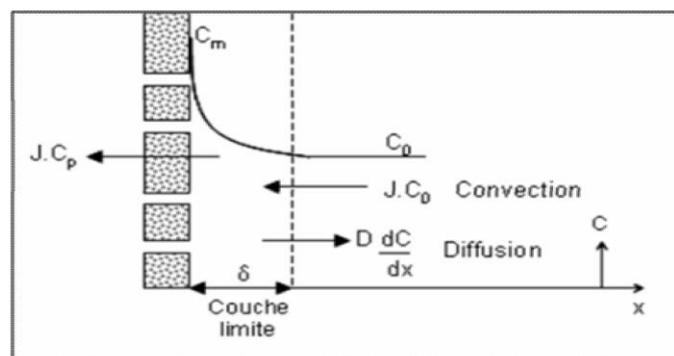


Figure I_B.3: Phénomène de polarisation de concentration.

I_B-5. Membranes

I_B-5-1. Principe de séparation membranaire

Une membrane d'une manière générale comme une barrière (fine couche de matière) de quelques centaines de nanomètres à quelques millimètres d'épaisseur, sélective, qui sous l'effet d'une force motrice de transfert, va permettre ou interdire le passage de certains composants entre deux milieux qu'elle sépare figure I_B.1, I_B.2.

Le fluide d'alimentation se divise en deux fluides, le fluide qui traverse la membrane est appelé perméat ou filtrat et le fluide qui ne traverse pas la membrane est connu sous le nom de rétentat ou de concentrât [23].

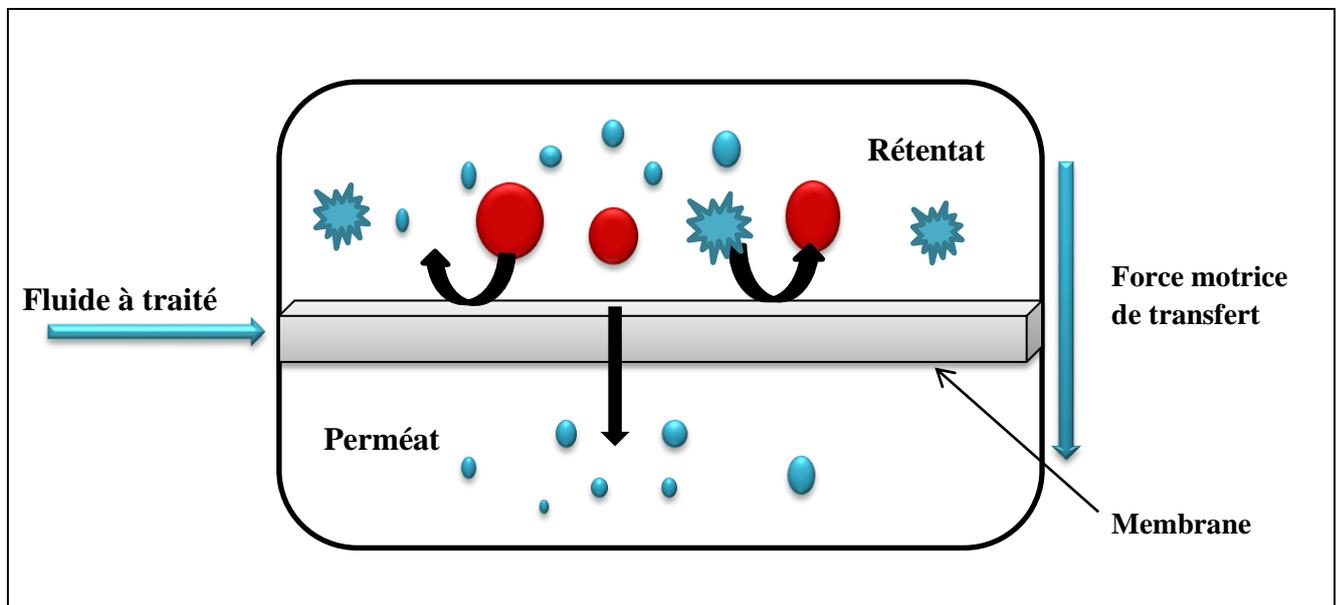


Figure I_B.4: Représentation schématique du principe de séparation par la membrane.

I_B-5-2. Nature chimique des membranes

En termes de matériaux de fabrication, les membranes peuvent être classées selon qu'elles soient polymériques (organiques) ou céramique (minérales).

- **Membranes organiques** Les membranes organiques, en acétate de cellulose, a première génération, ces membranes étaient généralement fabriquées selon le procédé d'inversion de phase. Elles ont été suivies d'une seconde génération fabriquée à base de couches de polymère soit obtenues par le procédé de polymérisation interfaciale ou par le procédé d'inversion de phase. Ces membranes sont fabriquées à base de polymère tels que le polysulfone, le polyamide, le polyéthersulfone, le poly (amide-uréthane) [24].

- **Membranes minérales (inorganique)** Les membranes inorganiques sont constituées de matériaux céramiques (oxydes métalliques) tels que l'alumine, le dioxyde de titane ou la zircone et sont fabriquées selon le procédé sol-gel suivi d'un frittage ou par oxydation anodique [25].

I_B-5-3. Structure des membranes

Outre la nature des matériaux la constituant, une membrane est caractérisée essentiellement par sa morphologie/structure.

- **Membranes symétriques (ou isotropes)** Dans le cas des membranes symétriques, la membrane présente une structure homogène (qui peut être dense ou poreuse) sur toute son épaisseur.
- **Membranes asymétriques (ou anisotropes)** les membranes asymétriques, dites aussi membranes anisotropes, présentent une structure hétérogène.

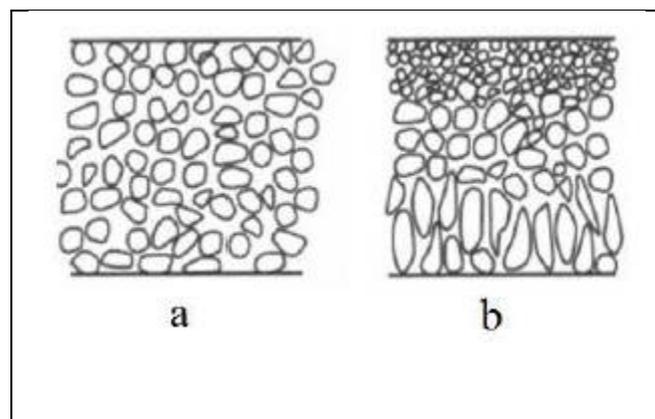


Figure I_B.5: Représentation schématique des différents types de structures membranaires :

(a) membrane symétrique (b) membrane asymétrique [26].

- **Membranes composites** Les membranes composites sont en général constituées d'une couche active (régissant la sélectivité des membranes vis-à-vis du fluide à traiter) et d'une couche support macroporeuse (assurant une bonne résistance mécanique) entre lesquelles s'insèrent une ou plusieurs couches intermédiaires dont le rôle est de permettre le dépôt de la couche active et sa tenue face à la force motrice exercée (gradient de pression, gradient de concentration, gradient de température).

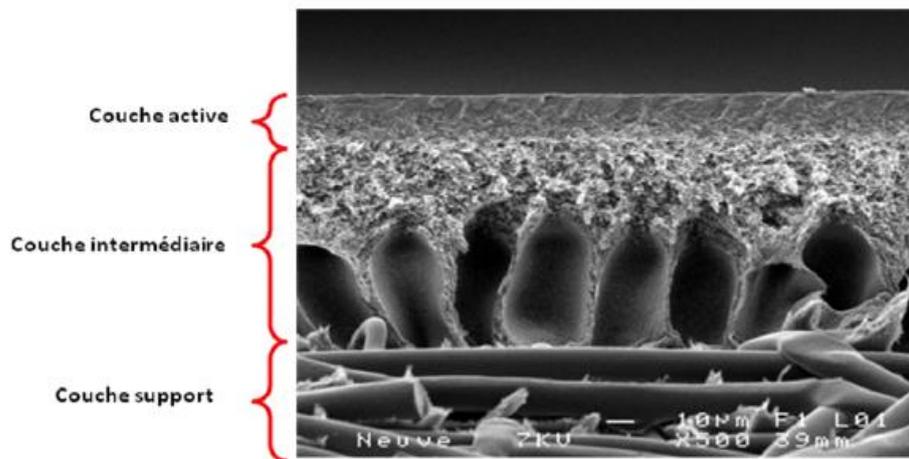


Figure I_B.6: Image MEB d'une membrane composite [27].

I_B-5-4. Configurations des membranes

Il existe plusieurs types de configuration c'est-à-dire plusieurs géométries et de manières dont la membrane est montée et orientée par rapport à l'écoulement de l'eau.

Les modules membranaires couramment utilisés sont :

- **Le module plan** ils sont constitués d'un empilement de plaques chacune équipée sur ses deux faces d'une grille de drainage faisant office d'espace filtrant, et d'une feuille poreuse soutenant la membrane [28].

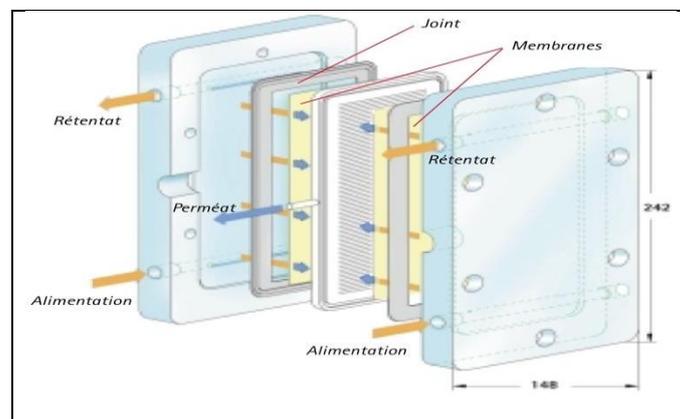


Figure I_B.7: Schéma d'un module plan.

- **Module tubulaire** ils sont constitués d'un tube poreux sur lequel la membrane est fixée (Fig. I_B.7). L'eau à traiter, pompée à une extrémité du tube, est forcée au travers de celui-ci et de la membrane. Le rétentat est recueilli à l'autre extrémité du tube tandis que le perméat qui sourd à la surface extérieure de la membrane est récolté dans un tube extérieur concentrique [29].

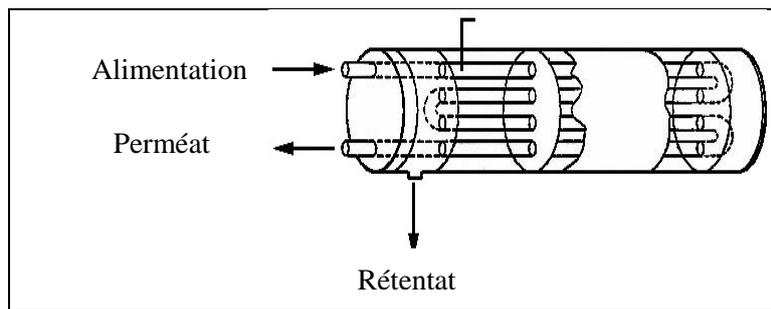


Figure I_B.8 : Schéma d'un module tubulaire.

- **Le module spiralé** est des cylindres multicouches constitués d'une superposition de feuillets de membranes enroulés autour d'un tube percé qui collecte le perméat. Ce dernier s'écoule selon un chemin spiralé vers le tube central tandis que le rétentat circule le long de l'axe dans les canaux formés par les feuillets de membranes [30].

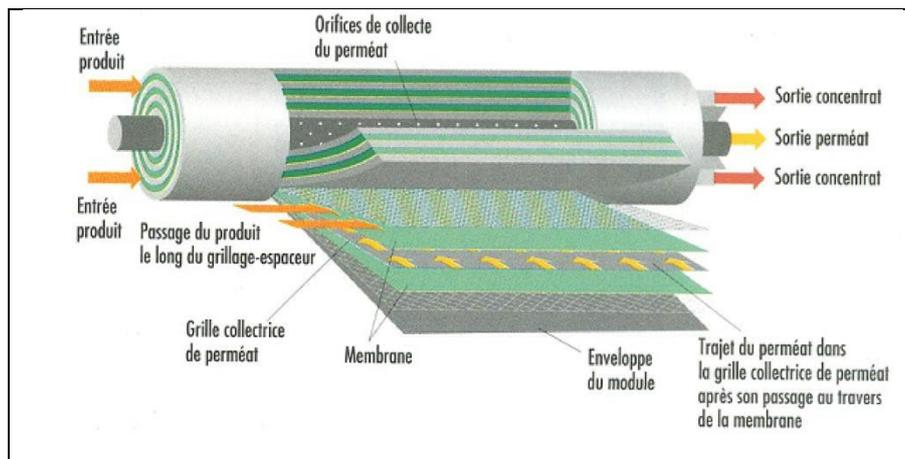


Figure I_B.9: Schéma d'un module spirale.

- **Le module à fibre creuse**

Dans ce cas la membrane est sous forme de tubes très fins (diamètre intérieur de à 0,05 mm à 1 mm). Ces tubes dont le nombre peut varier entre 50 et plus de 1000 sont contenus dans une cartouche [30].

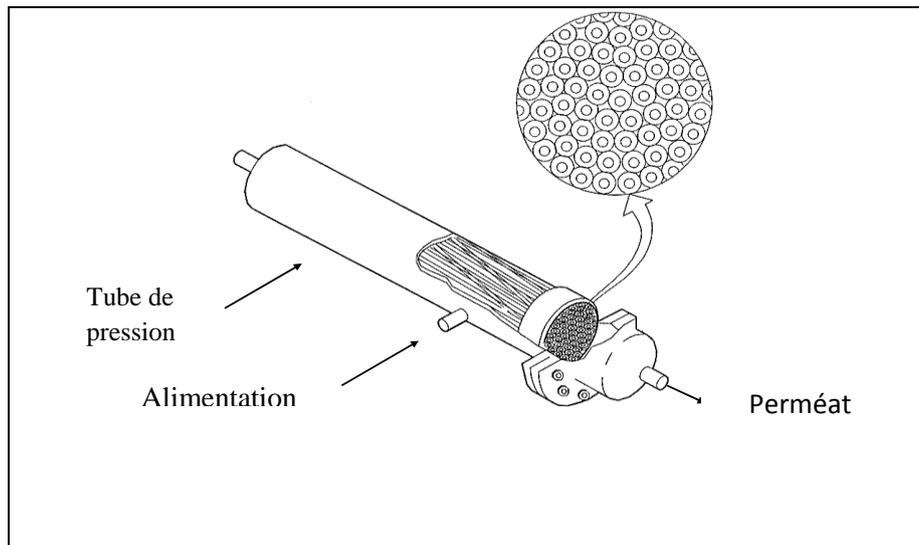


Figure I_B.10: Schéma d'un module à fibre creuse.

I_B-5-5. Différents procédés de séparation membranaire

Il existe quatre procédés de séparation membranaire :

- ✚ Procédés à transfert électrique.
- ✚ Procédés à gradient de concentration.
- ✚ Procédés à gradient de température.
- ✚ Procédés à gradient de pression.

I_B-6. Présentation de station de dessalement de Mostaganem MTM

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.

Il apparaît clair que la distillation et l'osmose inverse restent des technologies dont les performances ont été prouvées pour le dessalement d'eau de mer. En effet, ces deux procédés sont les plus commercialisés dans le marché mondial du dessalement.

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.

CHAPITRE I. Eau de mer-Usine de dessalement

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 [31].



Figure I_B.11: La station de dessalement de l'eau de mer de Mostaganem.

I_B-6-1. Description et fonctionnement normal des installations du process

I_B-6-1-1. 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.

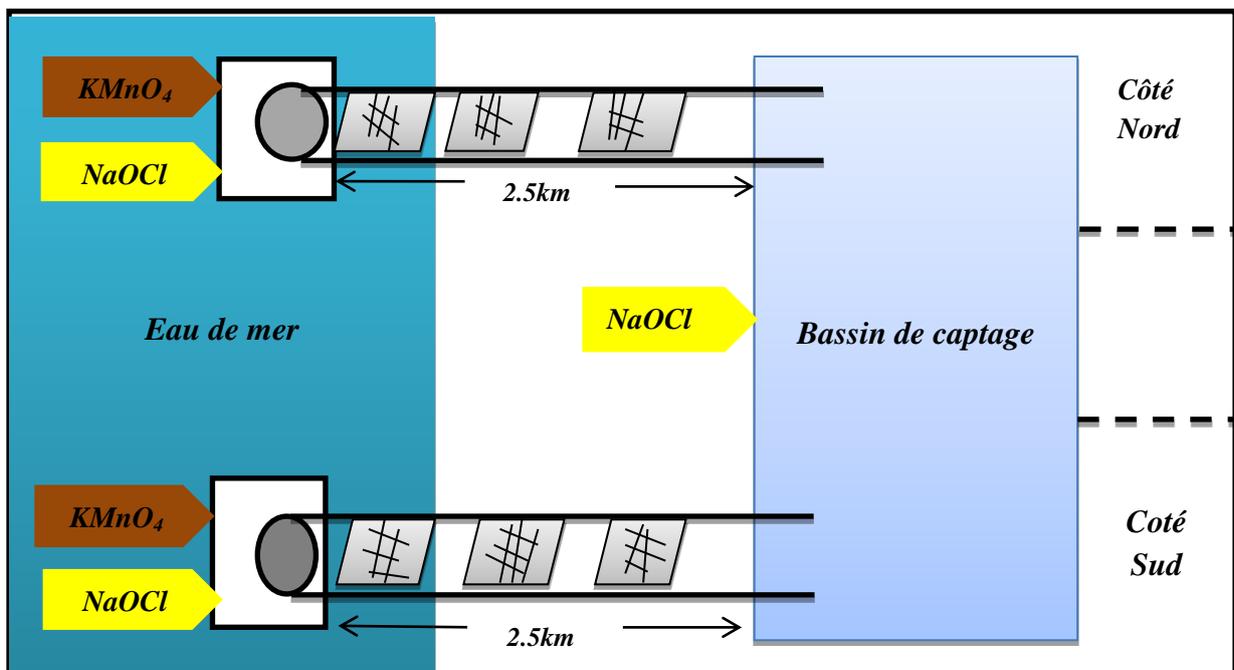


Figure I_B.12 : Schéma représentant le captage de l'eau de mer.

CHAPITRE I. Eau de mer-Usine de dessalement

Le système de captage comprend les sous-systèmes suivants :

- ✚ Tours de captage et tuyauteries de captage.
- ✚ Système anti-méduses.
- ✚ Système d'amorçage des pompes de l'eau de mer.
- ✚ Système de pompage de l'eau de mer.



Figure I_B.13 : Système de pompage de l'eau de mer.

I_B-6-1-2. 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 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 [30].

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.

Le prétraitement chimique ou bien le conditionnement chimique consiste en l'addition d'inhibiteur d'entartrage, de coagulant-floculant et des désinfectants [31].

I_B-6-1-2-a.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 [31].

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.

- Filtration de première étape.
- Filtration de deuxième étape.
- Microfiltration.



Figure I_B.14 : Filtration de première et deuxième étape.

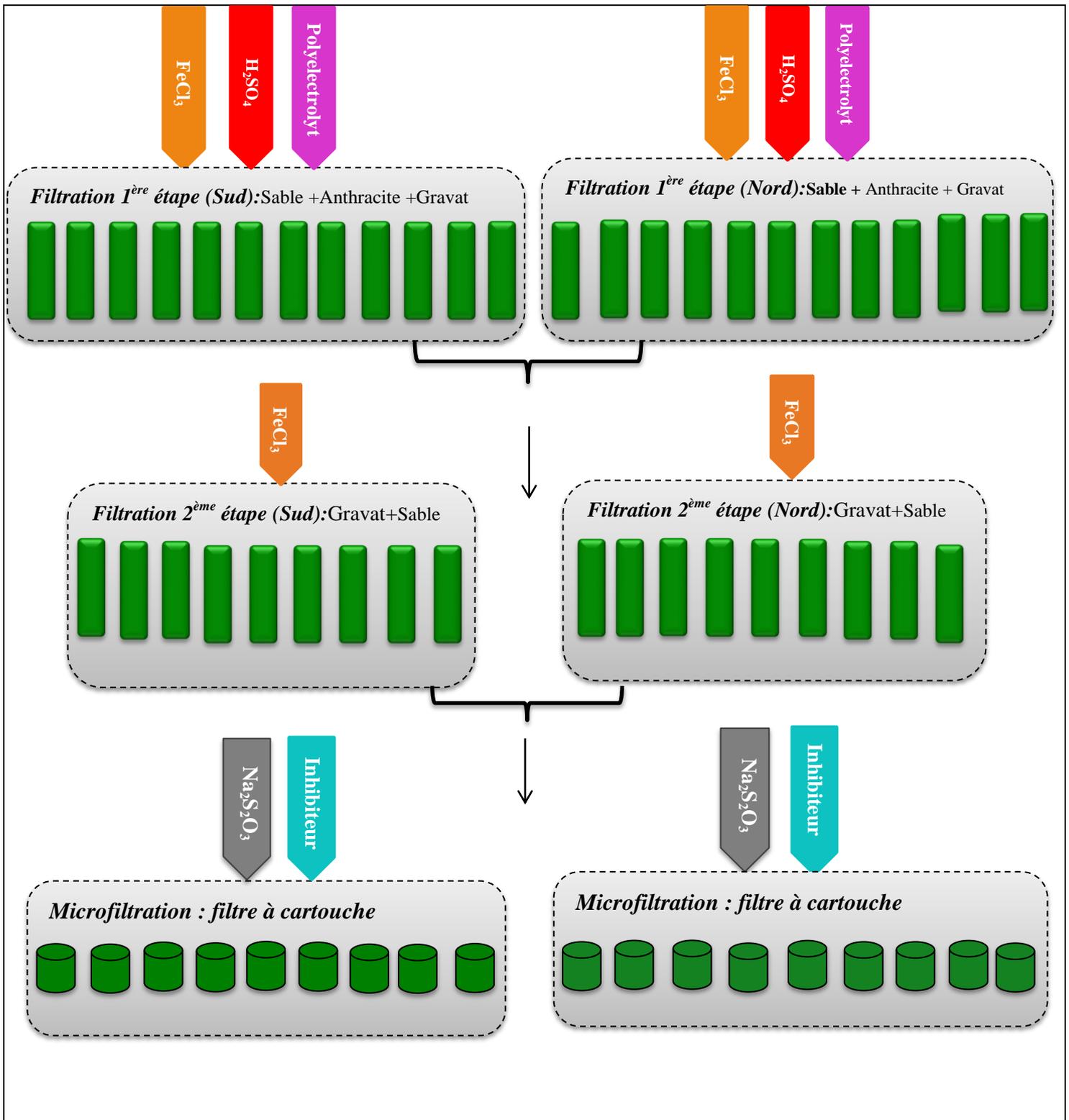


Figure I_B.15 : Schéma présente le système de filtration.

CHAPITRE I. Eau de mer-Usine de dessalement

I_B-6-1-2-b. 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-filt.

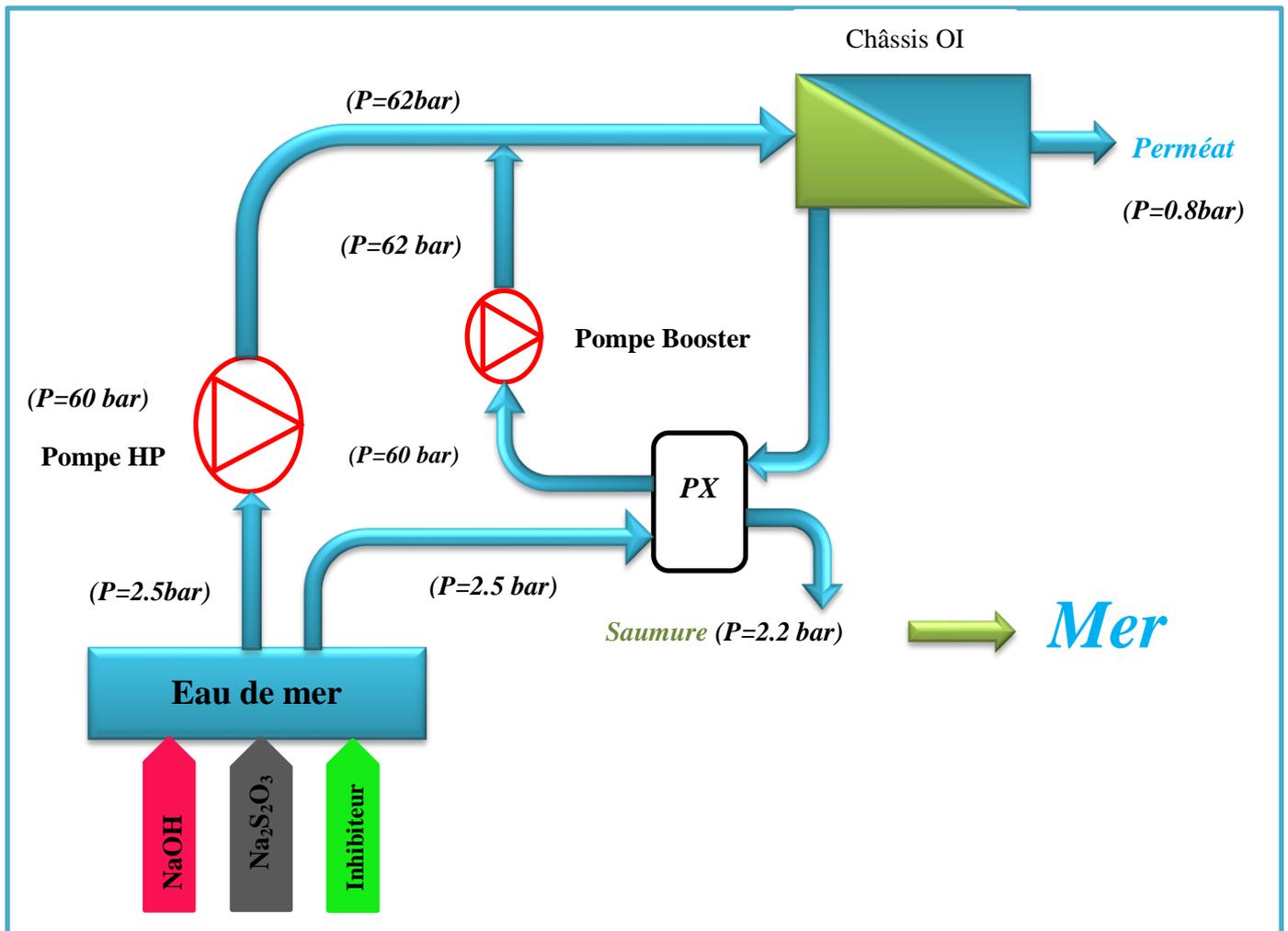


Figure I_B.16 : Schéma général d'une installation d'osmose inverse.

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

- **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 microfiltrée vers les châssis d'osmose inverse (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

CHAPITRE I. Eau de mer-Usine de dessalement

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'OI.

➤ *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'osmose inverse 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 [33].

L'osmose inverse met en œuvre des membranes **semi-perméables** qui laissent passé 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 général; dans l'osmose inverse, l'eau micro-filtrée migre du compartiment le plus concentré vers le moins concentré [34].



Figure I_B.17: Les châssis d'osmose inverse.

CHAPITRE I. Eau de mer-Usine de dessalement

➤ 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.

I_B-6-1-2-c. Système de reminéralisation et conditionnement de l'eau osmotique

Ce système permet de potabiliser l'eau à la sortie de l'osmose inverse (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.

L'eau osmotique de chaque ligne d'OI 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 [33].

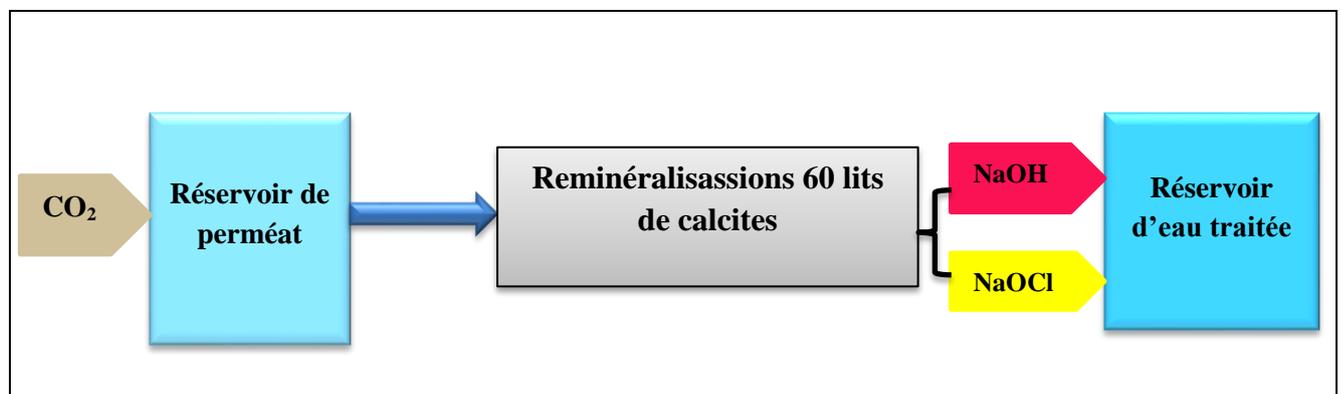


Figure I_B.18: Schéma représente le système de reminéralisation.

I_B-6-1-2-d. Stockage et impulsion de l'eau produite

Le système de stockage et impulsion de l'eau commercialisable a 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.

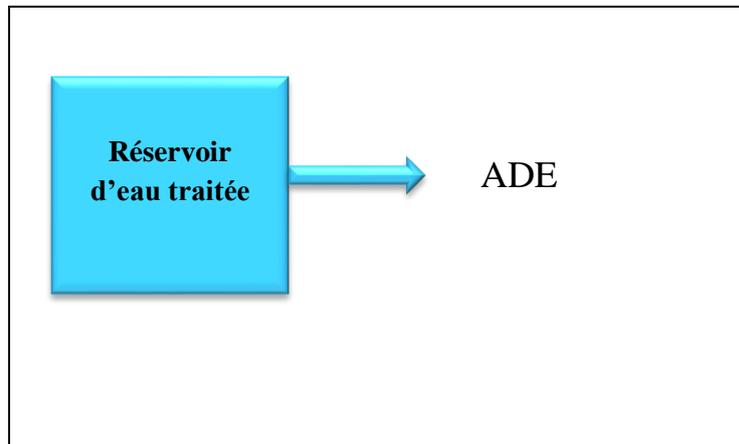


Figure I_B.19 : Schéma représente le stockage et impulsion de l'eau produite.

I_B-6-1-2-e. 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.

II. Introduction

Ce chapitre met en évidence le problème récurrent intervenant lors des opérations de dessalement par les modules membranaires conçus à base d'osmoseurs inverses (OI) dans les stations de dessalement MTM-Mostaganem. Le problème en question est le colmatage des membranes, conséquence de l'accumulation de matière à sa surface. Pour cela, l'approche suivante a été adoptée :

- (i) Diagnostic par les méthodes d'analyses in-situ.
- (ii) Bilans de matières sur la salinité dans les modules membranaires.
- (iii) Proposition de solution pour réduire l'étendu de ce colmatage.

II-1. Définition du colmatage

Le colmatage est défini comme l'ensemble des phénomènes qui interviennent dans la modification des propriétés filtrantes d'une membrane, exceptées la compaction et la modification chimique. Il s'agit de phénomènes physiques, chimiques, biologiques, se produisant à l'interface membrane-solution ou dans le volume poreux, dont la conséquence est une obstruction des pores entraînant à la fois des variations de perméabilité et de sélectivité.

II-2. Les type de colmatage

Dans le cas de l'OI, le phénomène de colmatage peut être classifié en 4 catégories suivantes:

II-2-1. Colmatage par entartrage

L'entartrage sur une membrane est principalement causé par le dépassement de la limite de solubilité des composants inorganiques, c'est-à-dire qu'il y a une sursaturation et l'augmentation rapide de la vitesse de déposition. Des sels sursaturés vont précipiter sur la surface de la membrane et former une couche fine qui bloque le transfert de matières à travers la membrane. Les dépôts de tartre rencontrés le plus fréquemment dans le dessalement comportent du carbonate de calcium, du sulfate de calcium, de l'hydroxyde de magnésium et des dépôts de silice.

II-2-2. Colmatage par dépôt

Le colmatage d'une membrane peut résulter soit de l'obstruction des pores à l'intérieur même de la membrane (blocage des pores), soit d'un dépôt de matières en surface de la membrane par convection.

- **Le blocage des pores** Il s'agit de la pénétration et du blocage, partiel ou total, des pores de la membrane par des particules sur lesquelles des composés peuvent être adsorbés.
- **Colmatage par dépôt de matières par convection** La présence de particules dans les fluides peut conduire au simple dépôt de ces particules à la surface de la membrane, pour peu que leur taille soit supérieure ou égale à la taille des pores de la membrane.

II-2-3. Colmatage par adsorption

L'adsorption est un phénomène irréversible dû aux interactions physico-chimiques entre le soluté et la membrane. Elle se traduit par la formation d'une ou de plusieurs couches moléculaires à la surface de la membrane et/ ou à l'intérieur des pores. Il s'agit d'un type de colmatage irréversible c'est-à-dire que son élimination nécessite un lavage chimique adapté.

II-2-4. Biocolmatage (Biofouling)

Le biocolmatage peut être défini comme un colmatage dû à des micro-organismes (bactéries principalement), mais aussi des micro-algues, champignons :

- Soit directement par le développement d'une biomasse.
- Soit indirectement par les métabolites produits par les microorganismes (Polysaccharides).

II-3. Décolmatage

Le décolmatage est un nettoyage qui consiste à éliminer d'une surface donnée toute souillure visible ou invisible pouvant s'y trouver. Ceci est réalisé par différents processus selon lesquels les agents colmatants 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.

II-3-1. Méthode chimique de décolmatage

Le lavage chimique est généralement effectué en dernier recours quand les membranes sont colmatées et que les rétro-lavages n'ont pas permis de retrouver leur perméabilité initiale. S'il existe des nettoyages de type enzymatiques employés lorsque les matériaux sont peu tolérants aux réactifs chimiques, ces derniers sont de loin les plus répandus. L'agent nettoyant se doit d'être efficace pour éliminer le colmatage tout en étant inoffensif vis-à-vis des membranes et du procédé. C'est pourquoi le choix des agents de nettoyage s'effectue en fonction de la nature des éléments colmatants – lorsqu'ils sont identifiés - et de la stabilité chimique du matériau membranaire.

II-4. Facteurs influençant le colmatage

Nombreux sont les exemples trouvés dans la littérature qui soulignent l'importance de plusieurs paramètres tels que les caractéristiques des membranes, les caractéristiques physicochimiques des eaux à traiter, et les conditions opératoires, vis-à-vis du colmatage observé.

Il apparaît délicat et peut-être un peu arbitraire de séparer ces différents paramètres dans la mesure où le colmatage résulte de la combinaison de tous ces facteurs. Néanmoins nous avons choisi de traiter ces différents aspects en les examinant individuellement.

II-4-1. Caractéristiques de la membrane

Parmi les caractéristiques des membranes influençant le colmatage, il y a le seuil de coupure, la charge de surface et l'hydrophobicité.

Le tableau ci dessous représente les caractéristiques d'une membrane utilisée dans MTM.

Tableau.II.1 : Les caractéristiques d'une membrane utilisée dans MTM.

| Fabricant 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 |

II-4-1-1. Effet du seuil de coupure

Le seuil de coupure désigne la masse de la plus petite molécule ou du plus petit ion arrêté par une membrane, plus le seuil de coupure d'une membrane est petit, plus la séparation effectuée risque d'être importante. En conséquence, s'il n'y a pas de prétraitement approprié, le colmatage de cette membrane risque d'être plus important.

II-4-1-2. Influence de la charge de la membrane sur le colmatage

Pour ce qui est de la charge de la membrane, si elle est de même signe que la charge des particules, il y aura alors répulsion entre la membrane et les particules et donc moins de risques de colmatage. C'est pourquoi certains auteurs recherchent un prétraitement membranaire qui serait capable de charger les particules présentes dans les eaux naturelles afin qu'elles acquièrent une charge similaire à la charge de la membrane utilisée. La triboélectricité est un procédé qui par frottement électrostatique pourrait constituer un tel prétraitement.

II-4-1-3. Caractère hydrophile ou hydrophobe du matériau

Il joue un rôle important dans le colmatage des membranes, ce critère est l'un des plus importants dans le choix d'une membrane, les membranes hydrophiles étant préférées aux hydrophobes en raison de leurs plus faibles capacités d'adsorption. C'est pour cela Les manufacturiers cherchent à rendre leurs membranes plus hydrophiles et donc moins susceptibles d'être colmatées par les substances hydrophobes présentes dans les eaux naturelles.

II-4-2. Caractéristiques de l'eau à traiter

Le colmatage est aussi dépendant de la nature de l'eau à traiter et de la concentration de ses principaux constituants. En général, plus une eau est chargée en particules et plus elle aura tendance à colmater les membranes.

II-4-2-1. Effet de la température

D'un point de vue théorique, quand la température augmente, la viscosité diminue, ce qui entraîne une polarisation de concentration plus importante et le colmatage peut s'en trouver augmenté. La figure II.1 présente la variation de la température durant la période comprise entre avril et décembre 2020.

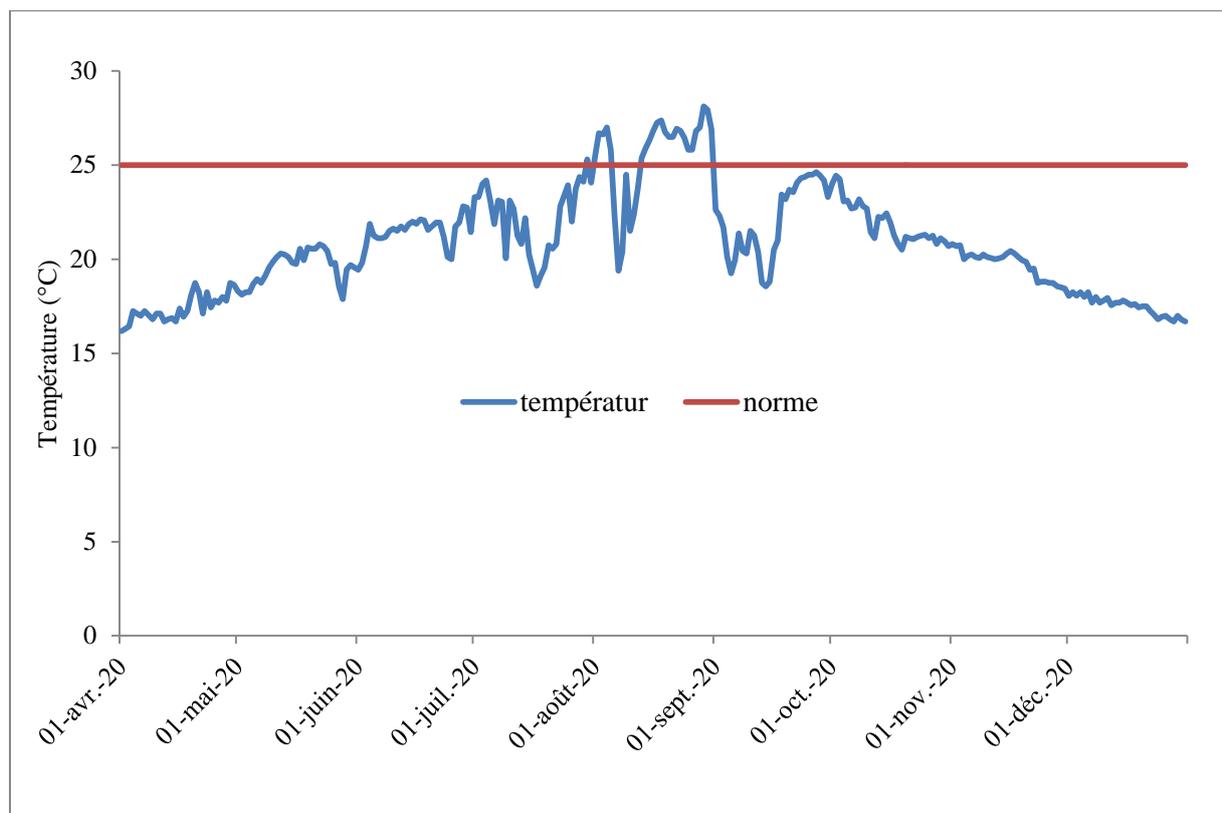


Figure II.1: Évolution de la température d'eau de la station de Mostaganem.

Dans la station de dessalement de Mostaganem la température varie de 15°C à 28°C. Avec sa variation, elle peut influencer les autres paramètres qui sont la densité, la solubilité des gaz dans l'eau, la dissociation des sels dissous. De même que sur les réactions chimiques/biochimiques, le développement et la croissance des organismes vivant dans l'eau et particulièrement les microorganismes. Ceci affecte énormément le colmatage des membranes, notamment en été où la température atteint 28°C, dépassant ainsi les normes.

II-4-2-2. Effet du pH

Le pH est un paramètre important car en présence de molécules chargées, telles que les acides humiques, le flux et le colmatage irréversible dépendent clairement du pH car c'est à pH faible, lorsque les répulsions électrostatiques sont plus faibles et le caractère hydrophobe des acides humiques est plus élevé, que le colmatage le plus critique intervient sur des membranes.

La figure II.2 reprend les valeurs du pH en fonction du temps.

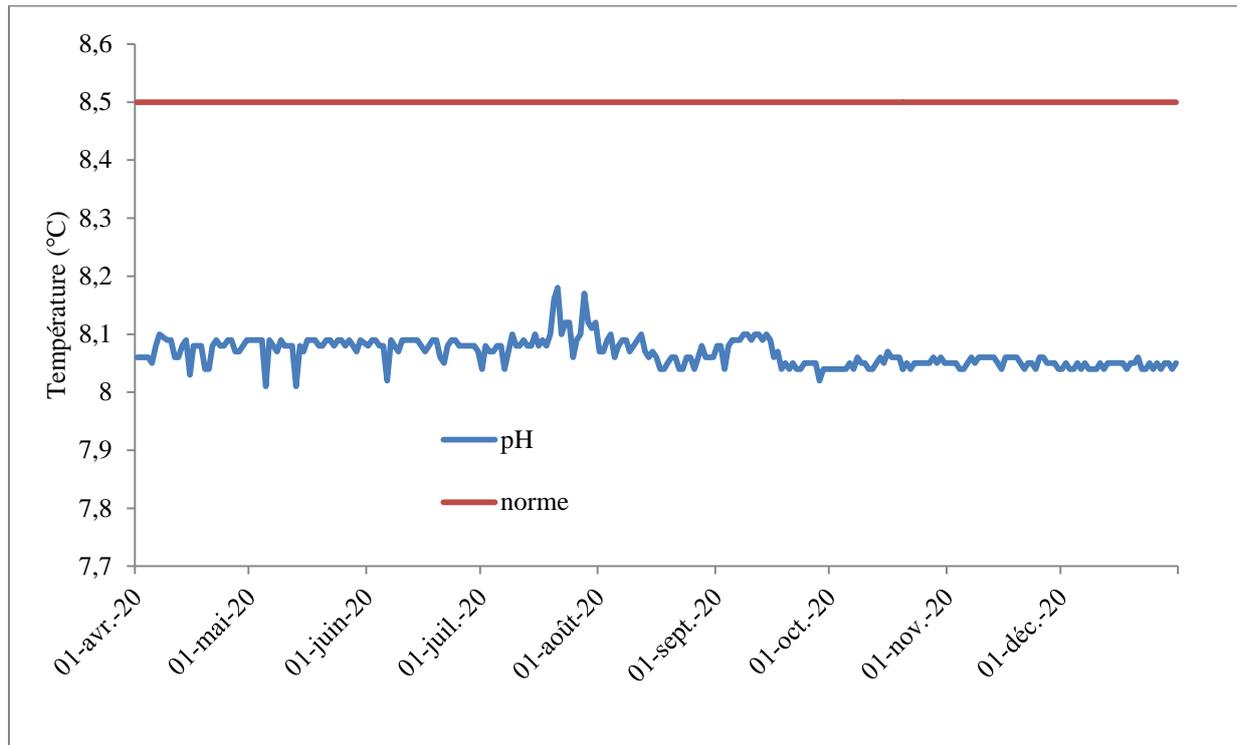


Figure II.2: Évolution du pH d'eau filtrée de la station de Mostaganem.

Dans la station de Mostaganem la variation du pH est très faible et se situe entre 8,01 et 8,24, ce qui indique que ce paramètre est presque stable et par la suite il n'a pas vraiment une influence sur le phénomène de colmatage dans la période indiquée. Ceci dit, et dans le cas contraire, le colmatage serait dû à un dépôt d'acides humiques à la surface de la membrane, puisque le simple fait d'essuyer doucement la membrane colmatée permet de récupérer 80% de la perméabilité initiale. A pH plus élevé, lorsque les charges électriques des acides humiques et de la membrane sont similaires, l'adsorption est probablement régie par les forces hydrophobes.

La solubilité des substances humiques diminuant avec le pH, le phénomène de polarisation se traduit par une concentration des grosses particules d'acides humiques à proximité de la surface de la membrane pouvant induire des phénomènes de précipitation et par conséquent une importante diminution du flux de perméat. Donc afin de rendre plus hydrophiles les matériaux couramment utilisés dans l'élaboration des membranes, les fabricants greffent de plus en plus des polymères hydrophiles chargés ou non chargés, ce qui rend les propriétés de la membrane dépendantes du pH, de par leur chimie de surface. Ainsi l'ajustement du pH peut être un moyen de modification de l'état de surface et par la suite du colmatage.

II-4-3. Conditions opératoires du procédé membranaire

Enfin, la cinétique de colmatage d'une membrane, et l'évolution de la résistance additionnelle RA qui y est associée, dépendent aussi des conditions opératoires des procédés membranaires. Ces conditions sont la vitesse de perméation, la vitesse d'écoulement tangentielle et la pression d'opération.

II-4-3-1. Effet de la pression transmembranaire

La pression transmembranaire joue aussi un rôle important. À basses pressions, les forces de cisaillement sont assez importantes pour minimiser le dépôt de toutes particules sur la surface de la membrane. À pression élevée, les particules vont à la surface de la membrane plus rapidement que les forces de cisaillement ne les en éloignent, le colmatage est donc plus important. Si la pression augmente encore, la polarisation de concentration atteint une concentration limite et la couche colmatant se forme et commence à être compressée à pressions élevées. La figure II.3 présente la variation de la pression d'alimentation dans la période avril-décembre 2020.

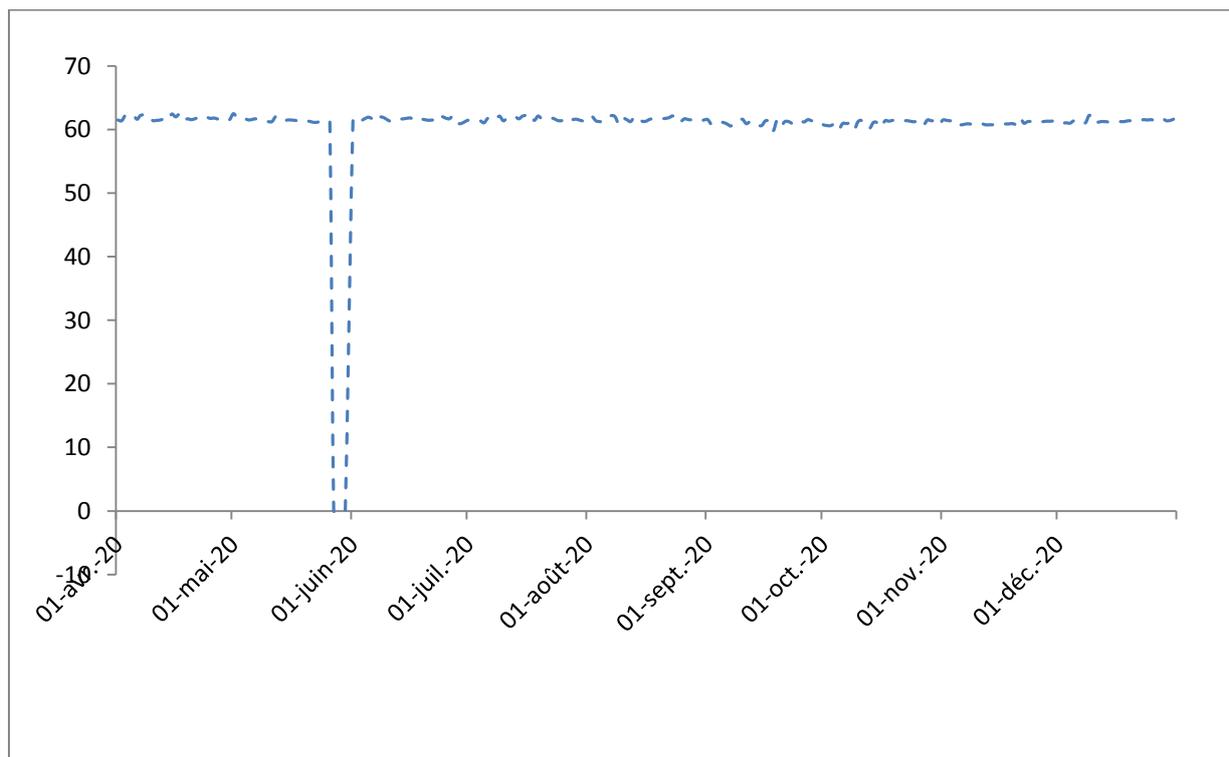


Figure II.3: Évolution de la pression d'alimentation d'Osiose Inverse.

Pour atteindre un débit de 200000 m³/j dans le cas de la station de Mostaganem parfois il faut augmenter la pression, et par la suite le colmatage des membranes augmente aussi. Après un certain temps il faut faire un nettoyage ce qui nécessite l'arrêt d'un ou plusieurs trains d'osmose inverse pour, c'est ce qu'on remarque en juin 2020, lorsqu'il était question d'arrêter carrément la station, ce qui correspond à une pression d'alimentation presque nulle. Une procédure indispensable pour éviter la formation de plusieurs couches de colmatage.

II-5. Indice de détection du colmatage

II-5-1. Pertes de charges

La perte de charge est l'indicateur du colmatage d'une membrane lorsque cette dernière est opérée à flux de perméat constant. Pour étudier le colmatage dans la station de dessalement de Mostaganem nous avons pris une série d'échantillons de la production associée à une pression.

À titre d'exemple, nous avons pris le débit volumique de 20000 m³.j⁻¹ pour un des trains fonctionnant en régime permanent. Ce travail nécessite au moins un mois de collecte d'information pour garantir un diagnostic adéquat. Les résultats sont récapitulés comme suit :

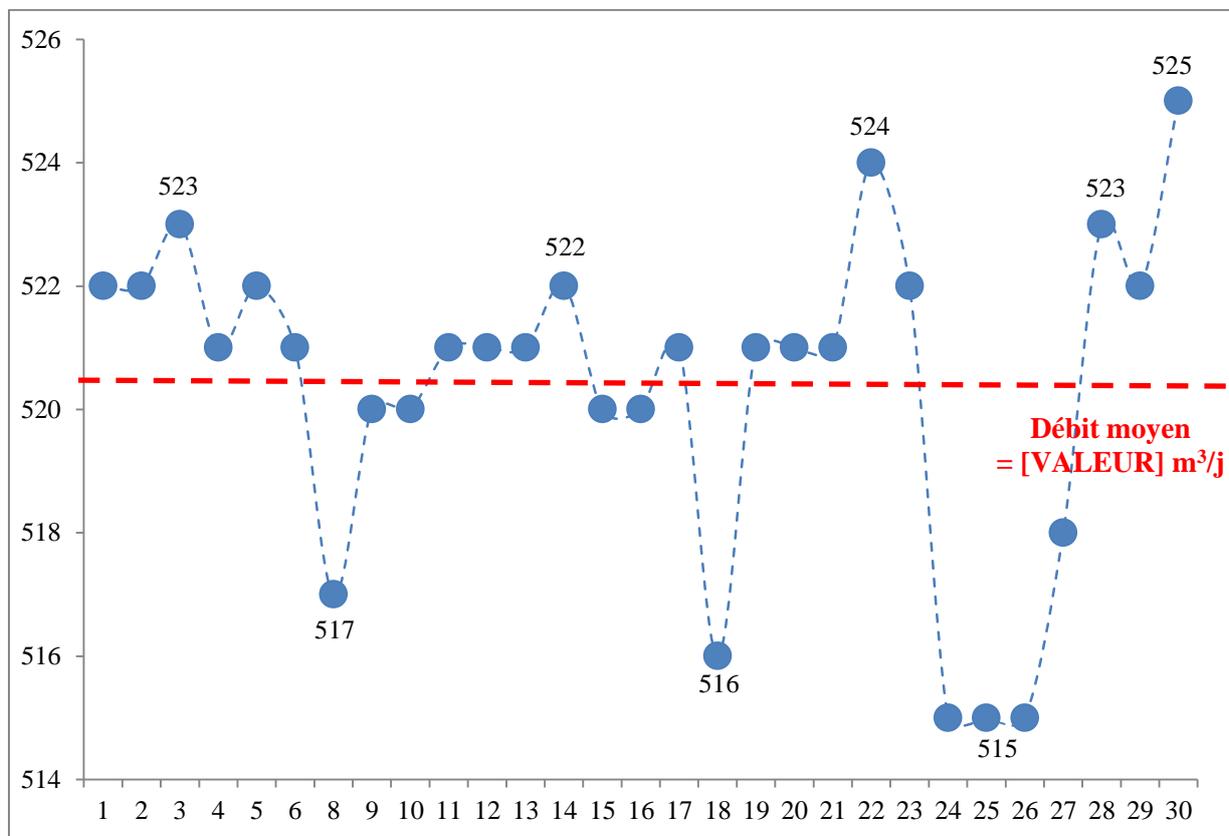


Figure II.4 : Débit volumique du perméat en fonction du temps.

Tout au long de la période indiquée, des fluctuations de débit de production d'eau dessalée ont été enregistrées avec des pics mineurs se situant entre 522 et 525 m³/J. Des minimums de débits volumique de perméats ont été signalés avec des valeurs comprises entre 515-517 m³/J. Qu'il soit maximum ou minimum, le débit volumique de production d'eau dessalée est relativement constant et tourne autour d'une valeur moyenne de 520 m³/j tout au long de la période de 1 mois. Néanmoins, il arrive que les responsables de MTM constatent que les fluctuations sont majeures et décident donc de mettre l'usine à l'arrêt pour parer au problème de colmatage. Dans cette usine, les raisons de ce dernier sont souvent liés aux phénomènes indésirables suivants :

- (i) Blocage mécanique des pores : les pores étant bloqués par des colloïdes d'une taille voisine de celle de la membrane. Dans ce cas, même les opérations de rétrolavage peuvent être infructueux pour déloger les particules de la membrane.
- (ii) Adsorption de matières organiques à la surface : le phénomène est présent sur la surface mais aussi en profondeur, à l'intérieur des pores. En effet, les matières organiques dissoutes diffusent par gradient de concentration dans cet espace poreux afin de s'y installer. Ces risques d'adsorption dépendent beaucoup du couple matériau membranaire/matières organiques présentes dans l'eau brute et de leur affinité réciproque.

II-5-2. Taux de conversion Y

On entend par le taux de conversion, noté communément dans le jargon des membranes par Y, d'un module membranaire de dessalement d'eau de mer, la différence entre entrée et sortie en terme de salinité par rapport à l'entrée. Il faut savoir que Y se calcul comme suit :

$$Y = 100 \times \frac{Q_P}{Q_A} \quad (\text{II.1})$$

Avec : Q_P et Q_A sont les débits d'alimentation et de production, respectivement.

Les résultats de nos calculs sur la période avril et décembre 2020 sont résumés dans la figure **II.5**:

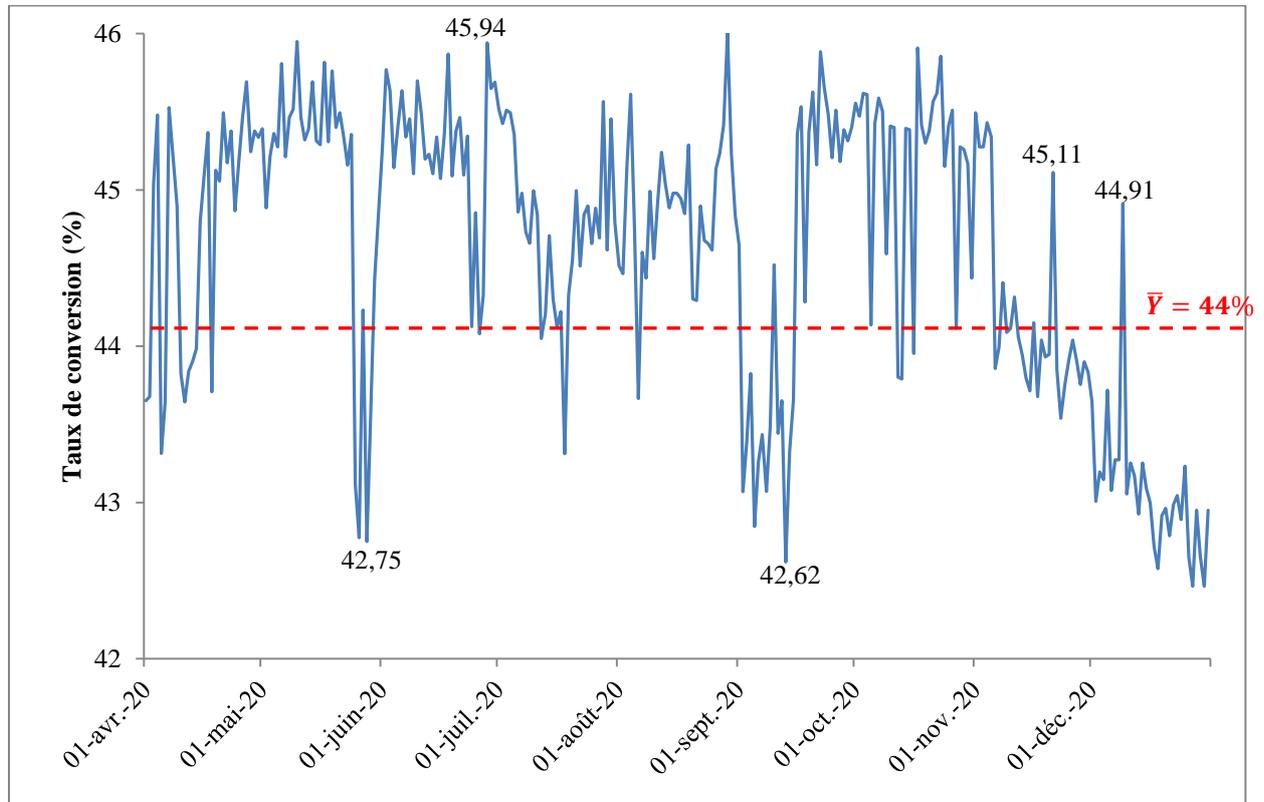


Figure II.5 : Évolution du taux de conversion.

Le taux de conversion est variable mais tourne autour d'une valeur moyenne de $\bar{Y} = 44\%$ avec des maximum et minimum de 46 et 43%. Ces valeurs sont acceptables si l'on se réfère à la structure complexe d'une membrane et s'ajoute à cela le phénomène de colmatage qui remet en question la qualité de l'opération. Les modules membranaires utilisés par MTM sont de type cylindrique et la nature de l'écoulement est piston, ce qui donne normalement un régime de fonctionnement optimal, cependant, les rendements obtenus sont tributaires de la nature de la membrane elle-même.

II.5.3 Pression osmotique

On appelle osmose le transfert de solvant, eau dans la plupart des cas, à travers une membrane sous l'action d'un gradient de concentration. Il est possible de la calculer selon l'équation suivante :

$$\Pi = i . C . R . T \quad (II.2)$$

CHAPITRE II: COLMATAGE DES MEMBRANES D'OSMOSE INVERSE - CAS DE MTM-MOSTAGANEM

Avec : Π : Pression osmotique (bar), i : Nombre d'ions dissociés dans le cas d'un électrolyte, C : Concentration molaire (mol. L⁻¹), R : Constante des gaz parfaits (0,082 L.bar.mol⁻¹K⁻¹) et T : Température absolue (K).

Les résultats de nos calculs, avant et après dessalement sur une période de 30 jours, sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau.II.2 : Les valeurs de la pression osmotique en amont et en aval de la membrane.

| Jours | pression osmotique avant traitement | Pression osmotique après traitement |
|-------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 01 | 30,58 | 0,11 |
| 02 | 30,61 | 0,11 |
| 03 | 30,53 | 0,12 |
| 04 | 30,89 | 0,12 |
| 05 | 30,88 | 0,11 |
| 06 | 30,84 | 0,11 |
| 08 | 30,80 | 0,12 |
| 09 | 30,85 | 0,11 |
| 10 | 30,81 | 0,12 |
| 11 | 30,79 | 0,11 |
| 12 | 30,87 | 0,12 |
| 13 | 30,78 | 0,11 |
| 14 | 30,89 | 0,12 |
| 15 | 30,85 | 0,10 |
| 16 | 30,99 | 0,099 |
| 17 | 31,04 | 0,105 |
| 18 | 31,18 | 0,107 |
| 19 | 31,18 | 0,108 |
| 20 | 31,26 | 0,114 |
| 21 | 31,16 | 0,115 |
| 22 | 31,19 | 0,11966527 |
| 23 | 31,14 | 0,119 |
| 24 | 31,17 | 0,108 |
| 25 | 31,10 | 0,12 |
| 26 | 31,08 | 0,12 |
| 27 | 31,09 | 0,119 |
| 28 | 31,05 | 0,122 |
| 29 | 31,026 | 0,127 |
| 30 | 31,04 | 0,129 |

Les valeurs de la pression osmotique en amont et en aval de la membrane attestent de la stabilité du système pendant la période de 30 jours indiquée. En entrée et sortie, la pression étaient en moyenne de 30,5 bars et 0,11 bars. Ces valeurs montrent un fort gradient de concentration qui permet un flux de matière important des sels.

Pour quantifier ce flux, et sachant que les membranes utilisées sont constituées d'une couche active de 3 µm d'épaisseur de polyamide reposant sur une sous-couche en polysulfone, nous avons appliqué la première loi de Fick mise en équation selon l'équation suivante :

$$\phi = -D \frac{dC}{dx} \quad (\text{II.3})$$

Aussi, il est possible de considérer que :

$$P = CRT \quad (\text{II.4})$$

En combinant les équations précédentes, on obtient :

$$\phi = -\frac{D}{RT} \frac{dP}{dx} \quad (\text{II.5})$$

Dans un domaine de linéarité précis, on peut réécrire l'équation (II.5) sous la forme ci-après :

$$\phi = -\frac{D}{RT} \frac{\Delta P}{\Delta x} \quad (\text{II.6})$$

Avec :

D : coefficient de diffusion moléculaire, R : constante des gaz parfaits, T : température,

Δx : épaisseur de la couche limite.

$$\phi = -\frac{10^{-9}}{8.31 \times 298} \frac{(30.5 - 0.11) \times 10^5}{3 \times 10^{-6}}$$

$$\boxed{\phi = 0.41 \text{ mol. m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} = 22.68 \text{ g. m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}}$$

II-6. Solutions envisagées pour améliorer la résistance au colmatage des membranes

Les données récoltées au niveau de l'entreprise MTM, n'indiquent pas la présence de colmatage. Cependant, ce problème est récurrent et nécessite une prise en charge sérieuse par les managers de l'entreprise. Pour cela, nous proposons les solutions suivantes :

1. Développement de membranes à potentiel zéta neutre

Le but est de développer de membranes à potentiel zéta neutre quel que soit la valeur du pH. Ceci est obtenu en remplaçant le résiduel d'acide carboxylique (Pz -) par un groupement aminé

résiduel à Pz neutre aux valeurs de pH généralement adoptées. Il s'agit de membranes en polyamide-urée.

2. Augmentation de la résistance chimique

Il est rappelé que les membranes sont très sensibles aux oxydants notamment le chlore, ce qui nécessite une déchloration de l'eau d'alimentation ayant subi une préchloration afin de réduire l'activité biologique. Cette déchloration ne permet donc pas de maintenir un environnement biocide dans l'étage membranaire. En développant des membranes tolérantes au chlore cet inconvénient peut être éliminé ce qui permet de protéger les membranes contre le bio-fouling. La résistance aux oxydants est obtenue en modifiant les groupements chimiques des constituants de la couche sélective.

3. Minoration d'usage des produits chimiques dans le nettoyage

Développement de méthodes de nettoyage des membranes minorant l'usage des produits chimiques. L'utilisation de produits chimiques pour le nettoyage périodique des membranes présente les inconvénients suivants :

- Impact sur l'environnement.
- Mise à l'arrêt de tout ou partie de l'étage membranaire pendant une durée assez longue.
- Diminution de la durée de vie des membranes en cas de nettoyages fréquents.
- Coût d'investissements importants pour le poste de nettoyage en place et pour les circuits de distribution et de retour des solutions recyclées.
- Manipulation de produits dangereux.

Sur la base du principe de l'osmose naturelle qui tend à diluer une solution saline par de l'eau ayant une salinité moins élevée, les deux solutions étant séparées par une membrane semi-perméable, il a été expérimenté une méthode de nettoyage faisant appel à une solution concentrée de chlorure de sodium injectée périodiquement dans le circuit d'alimentation. En se déplaçant le front très salin (pression osmotique : 200 bar) va provoquer le passage du perméat vers la zone d'alimentation-concentration et provoquer ainsi le décollement des dépôts et leur entraînement dans le flux. Ce procédé de nettoyage présente les avantages suivants :

- Le chlorure de sodium est un produit non dangereux et dont l'impact sur l'environnement est négligeable.
- Facilité de mise en œuvre (injection en ligne dans la conduite d'alimentation).

- Les valeurs du pH de la solution sont proche de 8 et donc sans influence sur la durée de vie des membranes.
- Il permet surtout d'effectuer des nettoyages préventifs permettant d'éviter le développement des dépôts et d'espacer les nettoyages chimiques.

CONCLUSION

Le dessalement d'eau de mer est un procédé souvent indiqué comme solutions efficace pour rassasier la demande en eau potable. À court terme, il deviendra une solution prépondérante pour la production d'eau potable dans les zones de pénurie en eau douce.

Pour étudier le procédé de près, nous avons pris la station de dessalement MTM-Mostaganem comme exemple concret. Cette unité industrielle préconise l'osmose inverse (OI) comme moyen de traitement de la salinité de mer. Comme tout autre procédé, l'OI a des limites d'exploitation qui n'amoindrirent pas de sa valeur ajoutée mais doivent être pris en charges. Parmi ces problèmes, le colmatage, qui touche les pores de la membrane l'empêchant à retenir la salinité du soluté, le sel de mer dans notre cas.

Au terme du stage effectué au sein de MTM-Mostaganem, nous avons pu calculer les paramètres suivants :

1. Le taux de conversion est variable mais tourne autour d'une valeur moyenne de 44% avec des maximum et minimum de 46 et 43%.
2. Les valeurs de la pression osmotique en amont et en aval de la membrane attestent de la stabilité du système pendant la période de 30 jours indiquée. En entrée et sortie, la pression étaient en moyenne de 30,5 bars et 0,11 bars.
3. Le flux massique par unité de surface (densité de flux) a été estimé à $\emptyset = 22,68 \text{ g. m}^{-2}. \text{s}^{-1}$.

Les données recueillis n'indiquent pas la présence de colmatage mais en cas où il existerait, une série de recommandations sont suggérées pour remédier au problème, à savoir :

1. Développement de membranes à potentiel Zéta neutre,
2. Augmentation de la résistance chimique,
3. Minoration d'usage des produits chimiques dans le nettoyage.

En perspectives, nous envisageons élargir la période d'étude pour assister à l'arrêt et le démarrage des unités pour leur entretien. Dans ce cas, il y aura la possibilité de revoir les équations de bilan dans un régime transitoire et éventuellement développer une approche globale qui permettrait à l'entreprise d'avoir des périodes d'arrêts plus distantes.

Références bibliographiques :

- [1] MAUREL.A, <<Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres et autres procédés non conventionnels d'approvisionnement en eau douce>>, 2eme Edition. Ed. Tec & Doc, Paris 2006.
- [2] COPIN-MONTEGUT.G, <<Chimie de l'eau de mer, Institut Océanographique>>, 1996.
- [3] BROWN E., COLLING A., PARK D., PHILLIPS J., ROTHERY D. ET WRIGHT J., <<Seawater Its composition, properties and behaviour, The Open University>>, Second edition, 1997.
- [4] HEDGES.J.I. Global biogeochemical cycles: progress and problems, *Marine Chemistry* 39. 1992, 67-93.
- [5] BENNER, R., BIDDANDA, B., BLACK, B., MCCARTHY, M. Abundance, size distribution, and stable carbon and nitrogen isotopic compositions of marine organic matter isolated by tangential flow ultrafiltration. *Marine Chemistry* 57. 1997, 243–263.
- [6] BALDOCK J.A, MASIELLO C.A., GÉLINAS Y. ET HEDGES J.I. Cycling and composition of organic matter in terrestrial and marine ecosystems, *Marine Chemistry* 92 ,2004, 39– 64
- [7] <http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/doseau/decouv/potable/menuRessour.html> consulté le 14/07/2013.
- [8] Décret exécutif n° 11-125 du 17 RABIE ETHANI 1432 correspondant au 22 mars 2011 relatif à la qualité de l'eau de consommation humaine.
- [9] ALPHA SIDIKI MAIGA. Qualité organoleptique de l'eau de consommation produite et distribuée par l'EDM.SA dans la ville de BAMAKO : Evaluation saisonnière .Pour obtenir le grade de Docteur en Pharmacie, faculté de Médecine de Pharmacie et D'ODONTO-STOMATOLOGI, BAMAKO, 2005.
- [10] Direction Générale de la Santé: « Rapport de synthèse 1996-1997-1998-Ressources en eau- Distribution de l'eau d'alimentation- Qualité des eaux distribuées dans les unités de distribution de plus de 5 000 habitants ». 8, Avenue de Ségur – Paris, 2003.
- [11] Groupe scientifique sur l'eau: « Turbidité ». Dans Fiches synthèses sur l'eau potable et la santé humaine. Institut national de santé publique du Québec, 2003.
- [12] A. MAUREL, <<Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres et autres procédés non conventionnels d'approvisionnement en eau douce>>, Édition Lavoisier, France, 2001.
- [13] Direction de la recherche et de la planification de l'eau: « Eaux souterraines saumâtres au Maroc, potentialités en tant que ressources alternatives », Marrakech, 2008.
- [14] I. C. WATSON, O.J. MORIN, L. HENTHORNE. Desalting Handbook for planners, Desalination and Water Purification, Research and Development Program, Report No.72, 2003.
- [15] Water Desalination Report, WDR Volume 43, Issue N°37- October 2007.
- [16] K. WAGNICK. , Worldwide Desalting Plants Inventory, IDA, Int. Desalination, Report No.16, 1999.
- [17] GNARRENBURG, K. Association Report No.18, December, 2004.
- [18] Water Desalination Report, WDR Volume 43, Issue N°41, October 2007.
- [19] BECHKI DJAMEL. Etude comparative et optimisation des procédés de distillation solaire en vue de la production d'eau potable dans les zones arides sahariennes .Pour obtenir le diplôme de DOCTORAT, université de HADJL AKHDAR.BATNA, algérie.2011.

- [20] <http://dessalement.blogspot.com/2011/08/les-inconvenients-de-dessalement.html> consulté le 18/06/2013.
- [21] <http://controverseeauabarcelone.netne.net/solutionsenvisagees.html> consulté le 22/05/2013.
- [22] HAMITI OMAR. L'influence des paramètres physico-chimique sur la performance de la station de dessalement de GHAZAOUET. Mémoire de projet de fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en hydraulique. Université d'ABOUBAKR BELKAID, Tlemcen, algérie.2011.
- [23] LA Y.H., DIEP J., AL-RASHEED R., MILLER D., KRUPP L., GEISE G.M., VORA A., DAVIS B., NASSAR M., FREEMAN B.D., MCNEIL M., DUBOIS G., Enhanced desalination performance of polyamide bi-layer membranes prepared by sequential interfacial polymerization, *J. Membr. Sci* 437, 2013, 33-39.
- [24] TOWLER, G. & SINNOTT, R. Chapter 16, «Separation of Fluids», in *Chemical Engineering Design* Second edition. Boston, Butterworth-Heinemann, 753–806, 2013.
- [25] ALONSO A.M., CRESPO J.G., *Green Separation Processes*, Wiley-VCH, 2005.
- [26] BAKER R.W. JOHN WILEY AND SONS, CHICHESTER, « Membrane technology and applications », 2004.
- [27] SZYMCZYK A., IBRAHIM DIRIR Y., PICOT M., NICOLAS I., BARRIÈRE F. Advanced electrokinetic characterization of composite porous membranes, *J. Membr. Sci* 429, 2013, 44-51.
- [28] ALAIN MAUREL, «Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres Et autres procédés non conventionnels d'approvisionnement en eau douce», Tec et Doc,Lavoisier, 2eme édition, 2006.
- [29] DAVID ALBOUY, «Environment and Energy Economics» MARC, RIS, BibTeX Décembre 2011.
- [30] JEAN-MARC BERLAND, CATHERINE JUERY, «Les procédés membranaires pour le traitement de l'eau», cercle français de l'eau 2ème édition, 2003.
- [31] 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, Algérie. 2014.
- [32] R. Des JARDANS, «Le traitement des eaux», édition de l'école polytechnique de Montréal.1997.
- [33] Manuel d'exploitation et d'entretien de l'usine de dessalement de l'eau de mer de Mostaganem.