



وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة عبد الحميد ابن باديس مستغانم
Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem
كلية العلوم و التكنولوجيا
Faculté des Sciences et de la Technologie



N° d'ordre : M...../GP/2018

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES DE MASTER ACADEMIQUE

Filière : Génie des Procédés

Spécialité : Génie chimique

Thème

**Contribution à l'étude du colmatage des membranes d'osmose inverse :
cas de TMM El MAGTAA**

Présenté par :

Fethallah Tadjeddine BOUMEHDI

Soutenu le 04/07/2019 devant le jury composé de :

Président :	Pr. B. BESTANI	Université de Mostaganem
Examineur :	Dr. H. BOUZID	Université de Mostaganem
Encadreur :	Pr. M R. GHEZZAR	Université de Mostaganem

Année Universitaire : 2018/2019

Remerciements

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

Je tiens à remercier Pr. GHEZZAR Mouffok Rédouane pour son encadrement et son soutien.

Mes remerciements vont aux membres du jury d'avoir honoré ma soutenance et pour l'effort fourni afin de juger ce modeste travail. EN l'occurrence Pr.BESTANI Benaouda Et Dr.BOUZID Habib 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

DÉDICACE

Je dédie ce travail à mes chers parents
Mon cher père **Abdelkader** et ma cher mère **Zerfa NOUDARI** pour tous
les sacrifices qu'ils ont consentis pour que je réussisse. Que dieu me les
garde.

À mes sœurs **Fatiha, Fatima** et **Sara** et mes frères **Amine et Hichem**.

Tadjeddine

تعتبر التصفية عن طريق الغشاء عملية فصل فعالة, امنة و سهلة القيادة لكن ليست بسيطة ,سبب هذه الصعوبات هو انسداد أغشية التناضح العكسي الذي يعتبر صعب التجنب و الحد و معقد الوصف , كما يمكن أن يؤثر على أداء النظام و يتسبب في شيخوخة الأغشية.
يتركز الهدف من عملنا هذا على معرفة العوامل التي تؤثر على انسداد الاغشية مع تطوير استراتيجية للحد من هذه الظاهرة مع اختيار مضخة مناسبة التي تلعب دور فعال في لأنها مرتبطة فعليا في استهلاك 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 GENERAL E	1
------------------------------	---

Chapitre I Généralités sur les procédés de dessalement de l'eau de mer

	Page
I.1 Eau de mer	3
I.2 Eau saumâtre	4
I.3 Eau potable	4
I.4 Critères de potabilité d'une eau destinée à la consommation	4
I.5. Définition du dessalement de l'eau de mer	4
I.6. Etapes du dessalement	4
I.6.1. La prise de l'eau de mer	5
I.6.2. Le prétraitement	5
I.6.3. Installations du dessalement	6
I.6.3.1. Procédés de distillation	6
I.6.3.1.1. Distillation à simple effet	6
I.6.3.1.2. Distillation à multiples effets.....	7
I.6.3.1.3. Distillation avec compresseur de vapeur	7
I.6.3.1.4. Distillation par détente successive ou procédé Flash	7
I.6.3.2. Procédés membranaires	8
I.6.3.2.1. Électrodialyse	8
I.6.3.2.1.1. Électrodialyse conventionnelle	8
I.6.3.2.1.2. Électrodialyse à membranes bipolaires.....	8
I.6.3.2.1.3. Électrolyses à membranes	8
I.6.3.2.2. Osmose inverse	9
I.6.3.2.2.1. Installation d'osmose inverse	10
I.6.3.2.2.1.1. Membranes d'osmose inverse	10
I.6.3.2.2.1.1.1. Classification des membranes	11
I.6.3.2.2.1.2. Modules d'osmose inverse	11
I.6.3.2.2.1.3. Colmatage de membranes et leur nettoyage	13
I.6.3.2.2.1.4. Pompe haute-pression HP et Système de récupération d'énergie	13
I.6.3.3. Autres procédés de dessalement	14
I.6.3.3.1. Echange ionique	14
I.6.3.3.2. Dessalement par congélation	14
I.6.3.3.3. Distillation solaire	14
I.6.4. Le post-traitement	15
I.6.4.1. L'ajustement du pH	15
I.6.4.2. La chloration	15
I.7. Conclusion	16

Chapitre II : Description de la station de dessalement d'eau de mer

De Magtaa Oran

II.1. Introduction	17
II.2. Situation géographique	17
II.3. Description du procédé de la station	19
II.3.1. Prise d'eau de mer	20
II.3.2. La filtration mécanique	20
II.3.4. Station de pompage d'eau de mer	21
II.3.5. Premier dosage de SMBS	21
II.3.6. Le système d'ultrafiltration (UF)	21

II.3.6.1. Description du système	21
II.3.6.2. Membranes d'ultrafiltration	22
II.3.6.3. Le système « Backwash » (Lavage à contre-courant)	22
II.3.6.4. Le système CIP (Clean-In-Place)	23
II.3.6.5. Réservoir d'eau filtrée et station de pompage	24
II.3.7. Deuxième dosage de SMBS	24
II.3.8. La technique d'osmose inverse (RO)	24
II.3.8.1. Description de la technique	24
II.3.8.2. Système de dosage anticalcaire	24
II.3.8.3. Station de pompage de RO	25
II.3.8.3.1. Pompes d'alimentation de RO	25
II.3.8.3.2. Pompes à haute pression	25
II.3.8.3.3. Pompes d'alimentation du système de récupération d'énergie	26
II.3.8.4. Trains d'osmose inverse	26
II.3.8.5. Système de récupération d'énergie	27
II.3.8.6. Le système CIP (Clean-In-Place)	27
II.3.9. Post-traitement	27
II.3.9.1. Dosage du chlore	27
II.3.9.2. Dosage de dioxyde de carbone et de la chaux	28
II.3.10. Réservoir de stockage d'eau filtrée	30
II.3.11. Station de pompage de l'eau traitée	30
II.3.12. Fosse de neutralisation	30
II.3.13. Exutoire	30
II.4. Conclusion	31

Chapitre III : LE COLMATAGE DES MEMBRANES D'OSMOSE INVERSE

III.1 Introduction	32
III.2 Les type de colmatage	32
III.2.1. Le blocage des pores	33
III.2.2. L'adsorption	33
III.2.3. Le colmatage par dépôt de particules en surface	33
III.3. Les facteur influençant le colmatage	34
III.3.1. Les caractéristiques de la membrane	34
III.3.1.1. L'effet du seuil de coupure	34
III.3.1.2. L'influence de la charge de la membrane sur le colmatage	34
III.3.1.3. Le caractère hydrophile ou hydrophobe du matériau	35
III.3.2. Les caractéristiques de l'eau à traiter	35
III.3.2.1 L'effet de SDI	36
III.3.2.2 L'effet de la température	36
III.3.2.3. L'effet du pH	37
III.3.2.4 L'effet de la force ionique	38
III.3.3. Les conditions opératoires du procédé membranaire	39
III.3.3.1. L'effet de la vitesse tangentielle d'écoulement	39
III.3.3.2. L'effet de la pression transmembranaire	39
III.3.4. Les méthodes de détection du colmatage	40
III.3.5. Les indice de détection du colmatage	42
III.3.5.1. La pression transmembranaire (PTM)	42
III.3.5.2. Le taux de conversion	44
III.3.5.3. Bilan de matière en régime permanent	44

III.3.5.4 Mécanisme diffusionnel	45
III.3.6. Solutions envisagées pour améliorer la résistance au colmatage des membranes	46
III.3.6.1 Développement de membranes à potentiel zéta neutre	46
III.3.6.2. Amélioration des caractéristiques surfaciques des membranes	46
III.3.6.3 Augmentation de la résistance chimique	46
III.3.6.4.la minoration d'usage des produits chimiques dans le nettoyage	47
Conclusion générale	48

INTRODUCTION GENERALE

Avant l'ouverture du canal de Suez, le voyageur en route pour les Indes affrontait une navigation périlleuse autour de l'Afrique. Si, par malheur, une tempête jetait le navire sur certaines côtes désertiques de la Namibie, les rescapés cherchaient désespérément de l'eau douce. Ceux qui ont survécu ont appelé cette rive la côte des squelettes. Ce point de géographie, tout à fait macabre, illustre l'immense inégalité de la répartition de l'eau douce sur les continents, qui, par ailleurs, représente moins de 3 % de la quantité totale (Eaux douces + eaux saumâtres + eaux de mer).

À la surface des océans, l'eau s'évapore sous l'action du soleil, puis se condense et précipite sur des lieux privilégiés : c'est le cycle naturel de l'eau dont la reproduction industrielle dans le but d'obtenir de l'eau potable n'intervient qu'à partir des années 1950. Cinquante ans plus tard, la production mondiale d'eau douce à partir d'eaux saumâtres ou salées dépasse $25 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{j}$. Les principaux pays producteurs sont par ordre d'importance décroissante : l'Arabie Saoudite (25 %), les États-Unis (15 %), les Émirats Arabes Unis (10 %) et le Koweït (5 %).

En admettant une consommation moyenne de 250 L/ (j × habitant), on évalue (de façon très approximative) la population desservie par les unités de dessalement à 100 millions d'habitants. De ce point de vue, l'importance de l'industrie du dessalement reste faible, mais la croissance, de l'ordre de 8 % par an (source Figaro 31/07/02), est soutenue par une demande toujours en hausse et une baisse du prix de revient de l'eau produite à partir d'eau de mer.

Les deux procédés les plus répandus sont la distillation et l'osmose inverse.

Après la description du principe des procédés les plus répandus, notre objectif sera d'exposer les facteurs clés du dimensionnement. Le tableau récapitulatif des avantages et des points critiques facilitera l'orientation du lecteur vers la technique la plus appropriée à son cas. Pour aller plus loin, la consultation d'un ou mieux de plusieurs constructeurs est indispensable. Ils disposent de logiciels, qui, tout en prenant en compte les derniers développements de leurs techniques, produisent des résultats pointus, qui facilitent l'optimisation du choix selon les critères retenus par l'utilisateur.

Comme toute implantation industrielle, l'étude préliminaire d'une unité de dessalement commence par la recherche des données de base :

- caractéristiques de l'eau de mer ;
- besoins en eau douce actuels et futurs ;
- géographie des sites envisagés : accès, localisation des consommateurs, etc.
- énergies disponibles : électrique et/ou thermique, volume versus coût, réglementation applicable. La pertinence du résultat final dépend évidemment de la fiabilité des données recueillies.

Ce manuscrit est constitué de 3 parties principales :

- Le premier chapitre présente des différents procédés utilisés pour le dessalement de l'eau de mer.
- Le deuxième chapitre décrit sommairement le procédé de dessalement de la station TMM de Magtaa. Il s'agit d'un procédé membranaire type osmose inverse.
- Le dernier chapitre traite la problématique de colmatage au sein de l'usine en question.

Chapitre I

Généralités sur les procédés de dessalement de l'eau de mer

Les eaux pouvant être concernées par le dessalement peuvent être les eaux saumâtres et les eaux salées (eaux de mer).

I.1 Eau de mer

Les eaux de mer contiennent des substances dissoutes (sels) dont les ions majeurs sont principalement Na^+ , Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} , SO_4^{2-} , Cl^- , et HCO_3^- . D'autres ions y sont présents à de plus faibles concentrations. Le tableau 1 montre la composition typique d'une eau de mer dont la salinité est de 36 g/L.

En sus, les eaux de mer renferment une large variété de matière en suspension (Sables, Argiles, Microorganismes, Virus, Matière colloïdale) [1]

Tab. 1 : Composition des eaux de mer.

Composition typique d'eau de mer ayant une salinité de 36000 ppp			
Composé	Formule chimique	Pourcentage massique	ppm
Chlore	Cl^-	55.03	19810.8
Sodium	Na^+	30.61	11019.6
Sulfate	SO_4^{2-}	7.68	2764.8
Magnésium	Mg^{2+}	3.69	1328.4
Calcium	Ca^{2+}	1.16	417.6
Potassium	K^+	1.16	417.6
Carbonates	CO_3^{2-}	0.41	147.6
Brome	Br^-	0.19	68.4
Acide borique	H_3BO_3	0.07	25.2
Strontium	Sr^{2+}	0.04	14.4
Total		100	36000

I.2 Eau saumâtre

On appelle eau saumâtre une eau salée non potable de salinité inférieure à celle de l'eau de mer. Les 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 traversant les sols. Leur composition dépend donc de la nature des sols traversés. Les principaux sels dissous sont le $CaCO_3$, le $CaSO_4$, le $MgCO_3$ et le $NaCl$ [2].

I.3 Eau potable

L'eau potable, étymologiquement, est une eau douce qui peut être bue. Mais dans son sens moderne, toute eau douce n'est pas forcément potable. Elle doit être limpide, pure, dépourvue d'odeurs, de substances toxiques, de microbes et virus pathogènes. Des normes fixées par certaines organisations permettent de déterminer si une eau est légalement potable [3].

I.4 Critères de potabilité d'une eau destinée à la consommation

Les normes s'appuient en général sur les travaux établissant les concentrations maximales admissibles (CMA), c'est-à-dire la quantité de telle ou telle substance qu'un individu peut absorber sans danger quotidiennement tout au long de sa vie.

Sur cette base, on calcule la quantité maximale pouvant être apportée par l'eau, en prenant une marge de sécurité confortable. Tout dépassement des normes ne comporte pas nécessairement un risque pour la consommation. Elles ont été fixées avec beaucoup de prudence, de telle sorte qu'un individu de 70 kg peut consommer sans danger 2 L/jour d'eau contaminée à ces teneurs pendant 70 ans. Il n'en demeure pas moins souhaitable de maintenir au plus bas les concentrations de ces produits dans l'eau de boisson [4].

I.5. Définition du dessalement de l'eau de mer

Le dessalement de l'eau (également appelé dessalage ou désalinisation) est un processus qui permet d'obtenir de l'eau douce à partir d'une eau saumâtre ou salée par l'élimination des sels entrant dans sa constitution.

I.6. Etapes du dessalement

Une installation de dessalement peut être schématiquement subdivisée en 4 postes (Fig.1):

- prise d'eau de mer;
- prétraitement ;

- l'installation de dessalement proprement dite;
- post-traitement ;

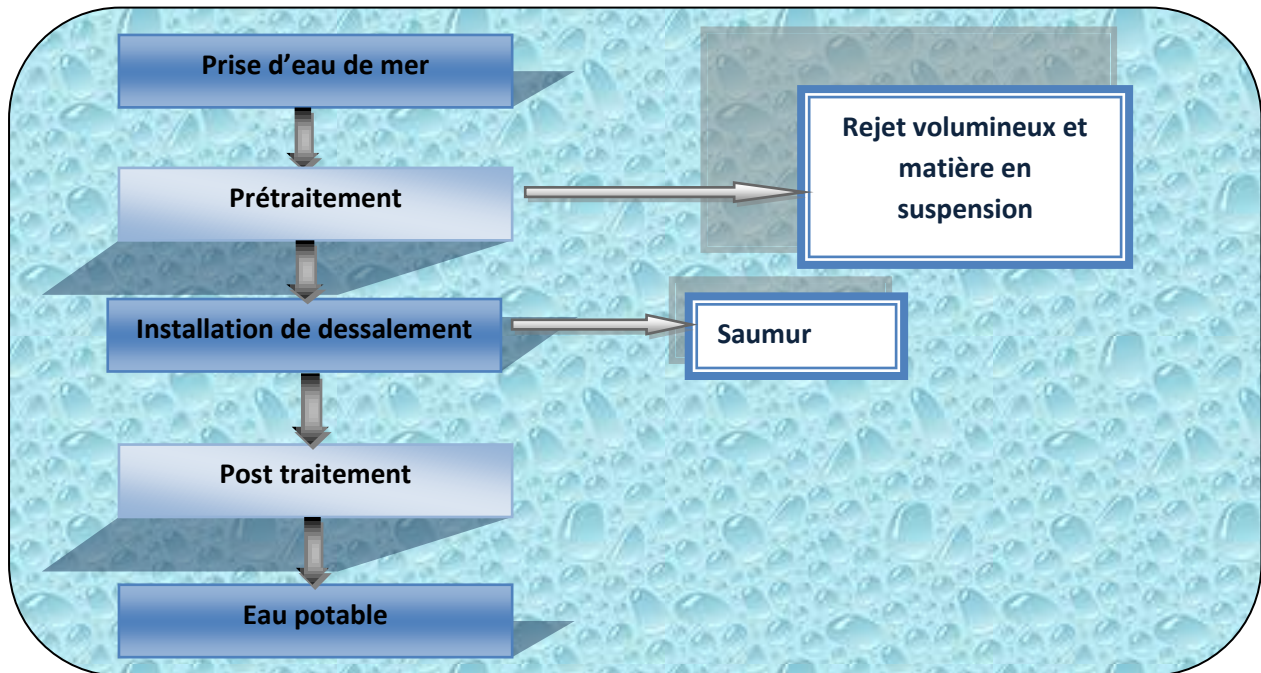


Fig. 1: Schéma représentant les étapes principales de dessalement d'eau de mer.

I.6.1. La prise de l'eau de mer

La prise d'eau de mer doit permettre d'obtenir à l'entrée de l'usine de dessalement une eau de meilleure qualité possible, en particulier du point de vue matière en suspension. Deux technologies peuvent être utilisées:

- **Les forages côtiers:** soit verticaux soit sous forme de galeries horizontales permettent d'obtenir une eau de très bonne qualité et relativement stable.
- **La prise d'eau de surface :** peut être faite en pleine mer. Dans le cas idéal, le captage doit être effectué en zone profonde, éloigné de la côte, protégée des pollutions et des forts courants et ne pas être sous l'infiltration de rejets [4].

I.6.2. Le prétraitement

L'objectif des divers moyens mis en œuvre dans le prétraitement de l'eau de mer est de retenir les particules en suspension. Ceci est réalisable par les procédés de la sédimentation (particules solides) et de la décantation (particules liquides) et/ou par la mise en place d'un système de filtration. Cette dernière s'opère par le passage de l'eau à travers un tamis métallique ou une matière poreuse [5] .

On distingue les types de filtration suivants:

- filtration directe par des filtres à sable;
- la filtration directe au moyen des filtres à anthracite;
- la microfiltration avec des filtres à cartouches;
- l'ultrafiltration avec des modules d'UF.

I.6.3. Installations du dessalement

On distingue plusieurs types de procédés (ou installations) de dessalement, répartis principalement en deux groupes : procédés de distillation et procédés membranaires.

I.6.3.1. Procédés de distillation

L'eau de mer chauffée produit de la vapeur d'eau qu'il suffit de condenser pour obtenir de l'eau pure.

I.6.3.1.1. Distillation à simple effet

Son principe est simple (Fig. 2). Il reproduit le cycle naturel de l'eau :

- Dans une enceinte fermée, un serpentin de réchauffage porte à ébullition l'eau de mer;
- La vapeur produite se condense au contact d'un deuxième serpentin alimenté pas de l'eau de mer froide;

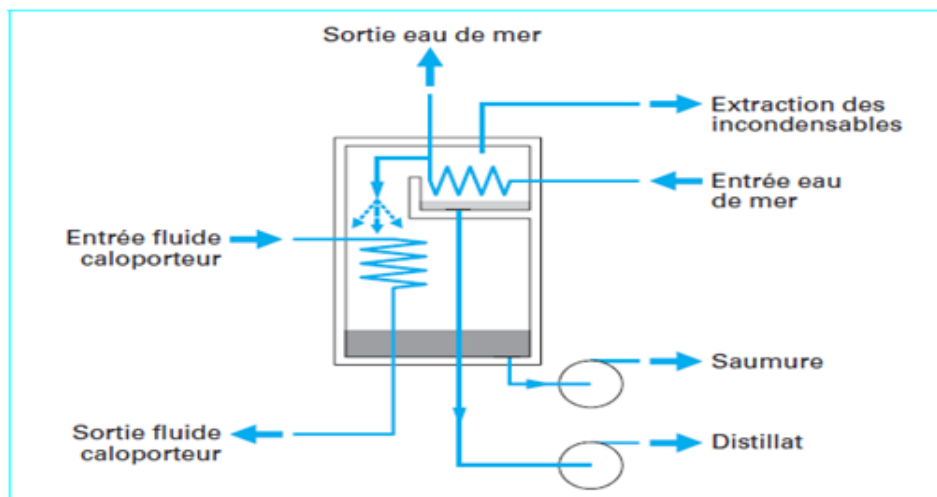


Fig. 2 : Distillation à simple effet

I.6.3.1.2. Distillation à multiples effets

Il est apparu absolument nécessaire d'améliorer la consommation spécifique de l'évaporateur simple effet Fig.3. On sait en effet, que la température d'ébullition de l'eau varie avec la pression. On peut donc utiliser la chaleur de condensation de la vapeur produite dans une première chambre d'évaporation pour faire fonctionner le faisceau de chauffe d'une seconde chambre à pression et température plus faible et ainsi de suite [4].

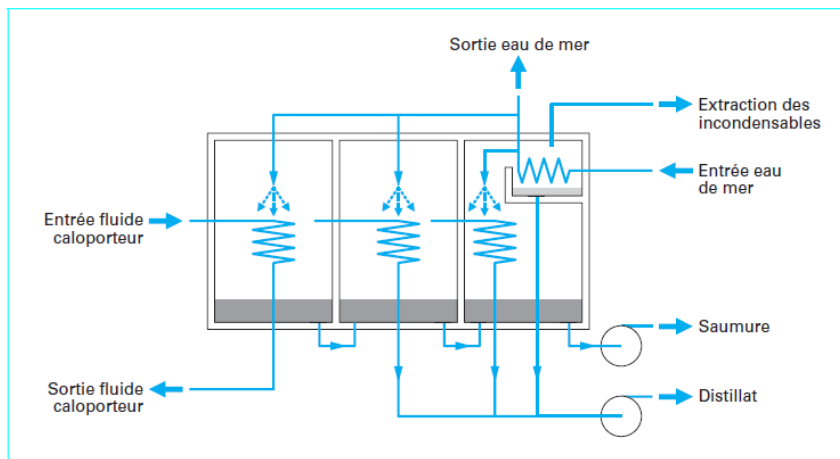


Fig. 3 : Distillation à multiple effet

I.6.3.1.3. Distillation avec compresseur de vapeur

Si l'on ne dispose pas de source de chaleur à basse température, on utilise la recompression de vapeur, en installant un appareil qui aspire la vapeur produite dans le dernier effet d'un évaporateur à effets multiples et qui la recomprime pour alimenter le faisceau de chauffe de l'effet le plus chaud [5].

I.6.3.1.4. Distillation par détentes successives ou procédé Flash

Dans l'évaporation Flash, l'eau chauffée est introduite dans une chambre à l'intérieur de laquelle règne une pression plus faible que la pression de saturation de l'eau admise. Il en résulte une vaporisation immédiate. L'eau se condense sur des tubes parcourus par la circulation d'eau de refroidissement et l'eau douce est recueillie en dessous d'un faisceau tubulaire.

Ces procédés de distillation ne nécessitent pas de prétraitement de l'eau de mer; une filtration classique et une chloration pour éviter la prolifération d'organismes marins sont généralement suffisantes.

I.6.3.2. Procédés membranaires

Au lieu d'extraire par évaporation l'eau douce de l'eau de mer, on peut envisager une séparation de l'eau et des sels dissous au moyen de membranes sélectives. Deux procédés utilisant de telles membranes sont actuellement commercialisés: ce sont l'électrodialyse et l'osmose inverse.

I.6.3.2.1. Électrodialyse

L'électrodialyse (Fig. 4) fonctionne sur le principe du rejet d'ions grâce à leur charge. Les techniques de l'électrodialyse sont : la dialyse et l'électro-désionisation.

On distingue trois types d'électrodialyse:

- l'électrodialyse (ED) dite conventionnelle;
- l'électrodialyse à membranes bipolaires (EDMB);
- l'électrodialyse à membranes (ENI).

Le point commun de ces techniques est la mise en œuvre de membranes échangeuses d'ions permettant de transférer des ions de façon sélective sous l'effet d'un champ électrique.

I.6.3.2.1.1. Électrodialyse conventionnelle

Le terme dialyse désigne la diffusion d'une solution à travers une membrane qui lui est perméable. L'électrodialyse désigne le transfert d'ions à travers une membrane qui leur est perméable sous l'effet d'un champ électrique.

I.6.3.2.1.2. Électrodialyse à membranes bipolaires

Les membranes bipolaires sont constituées d'une face perméable aux anions et d'une face perméable aux cations. Sous l'effet d'un champ électrique, l'eau présente au cœur de la membrane est dissociée en ions H^+ et OH^- générés respectivement par les faces cationiques et anioniques.

I.6.3.2.1.3. Électrolyses à membranes

L'électrolyse à membranes est la technique électro membranaire dans laquelle on couple les effets d'une électrodialyse (migration d'ions au travers d'une membrane semi-perméable) à ceux d'une électrolyse (réaction aux électrodes) [5].

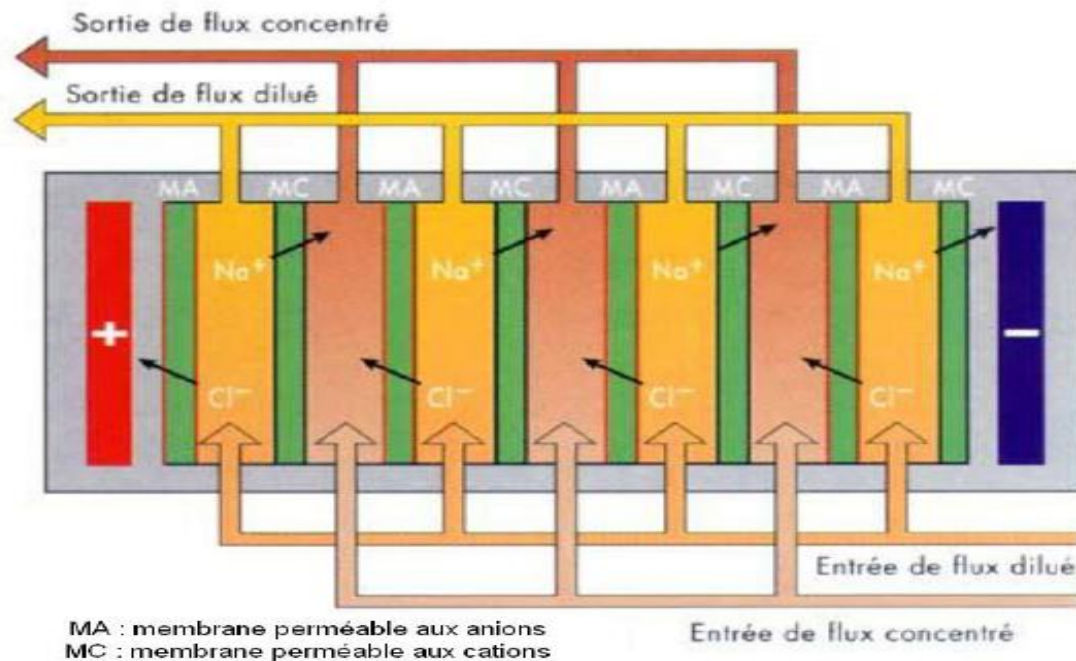


Fig. 4 : Principe général de l'électrodialyse [1]

I.6.3.2.2. Osmose inverse

Le phénomène d'osmose (Fig. 5) est un phénomène qui tend à équilibrer la concentration en soluté de part et d'autre d'une membrane semi-perméable. Le phénomène d'osmose est un phénomène naturel, notamment à travers les membranes cellulaires [5]

Le phénomène d'osmose va se traduire par un flux d'eau dirigé de la solution diluée vers la solution concentrée. Si l'on essaie d'empêcher ce flux d'eau en appliquant une pression sur la solution concentrée, la quantité d'eau transférée par osmose va diminuer. Il arrivera un moment où la pression appliquée sera telle que le flux d'eau 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 (Fig. 6), c'est-à-dire de la solution concentrée vers la solution diluée : c'est le phénomène d'osmose inverse [4].

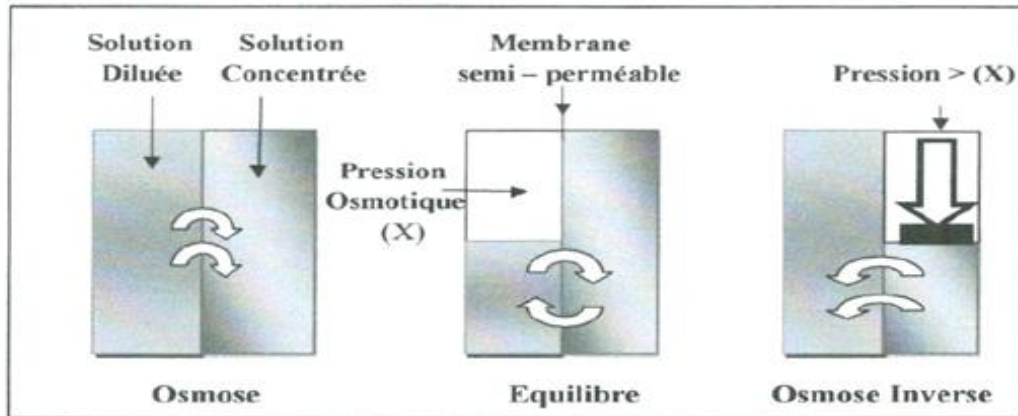


Fig. 5 : Phénomène d'osmose et d'osmose inverse

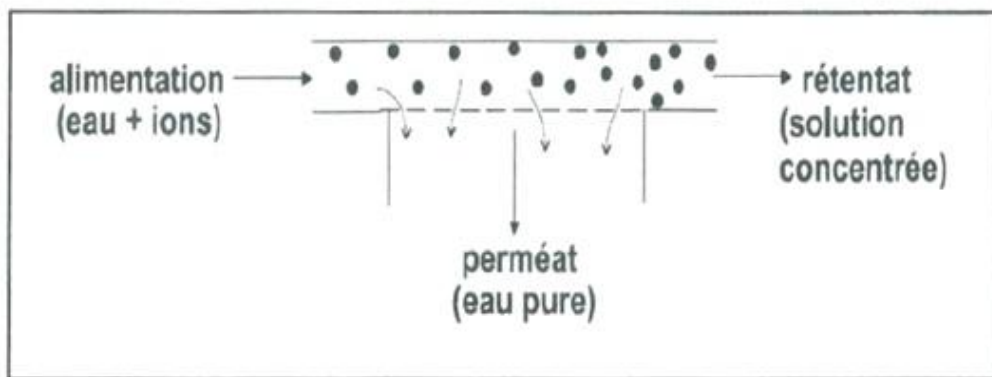


Fig. 6 : Ecoulement du fluide à travers une membrane d'osmose inverse.

I.6.3.2.2.1. Installation d'osmose inverse

Les principaux constituants d'une installation d'osmose inverse sont les suivants:

- membrane proprement dite;
- module;
- pompe haute pression HP;
- éventuellement un système de récupération d'énergie.

I.6.3.2.2.1.1. Membranes d'osmose inverse

Une membrane est une interface physique de faible épaisseur, qui contrôle le transfert d'espèces chimiques 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 dimension finie ou contenant des couches superposées [2].

I.6.3.2.2.1.1. Classification des membranes

Il existe une grande diversité de membranes. Elles sont classées par famille, selon leur nature chimique, leur structure et leur forme physique.

I.6.3.2.2.1.2. Modules d'osmose inverse

Pour être mises en œuvre les membranes doivent être montées dans des supports appelés modules. Une enceinte résistant à la pression est toujours nécessaire.

Il existe quatre types de modules:

- Modules plans (Fig.7).

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 [8].

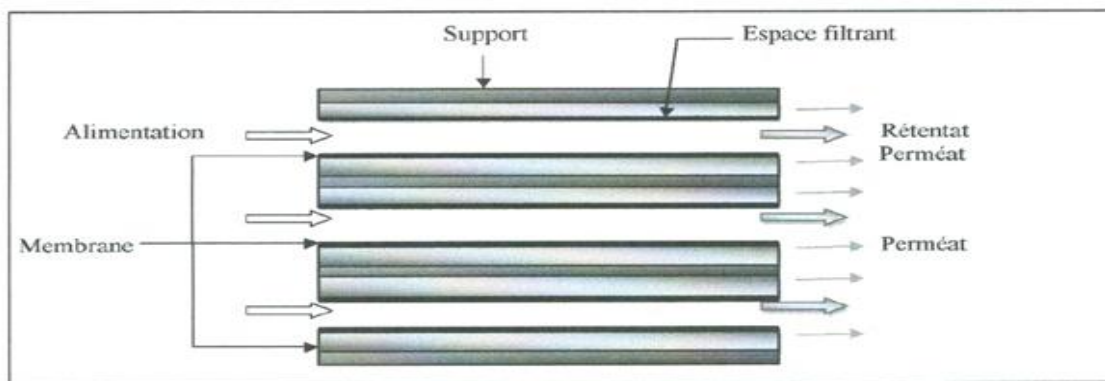


Fig. 7 : Schéma d'un module plan [4].

- **Modules tubulaires**

Ils sont constitués d'un tube poreux sur lequel la membrane est fixée (Fig. 8). 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 s'écoule à la surface extérieure de la membrane est récolté dans un tube extérieur concentrique [3].

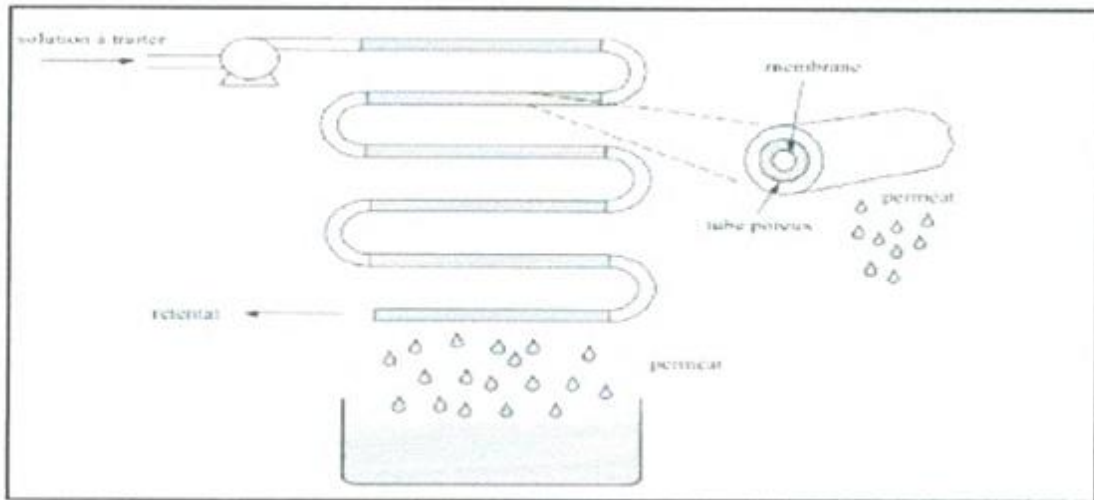


Fig. 8 : Schéma d'un module tubulaire [4].

- **Modules spiralés**

Au sein des modules spiralés (Fig. 9), une membrane plane est enroulée sur elle-même autour d'un tube poreux qui recueille le filtrat. On obtient ainsi un cylindre multicouche où le perméat s'écoule selon un chemin spiralé vers le tube poreux tandis que l'alimentation circule axialement dans les canaux [5].

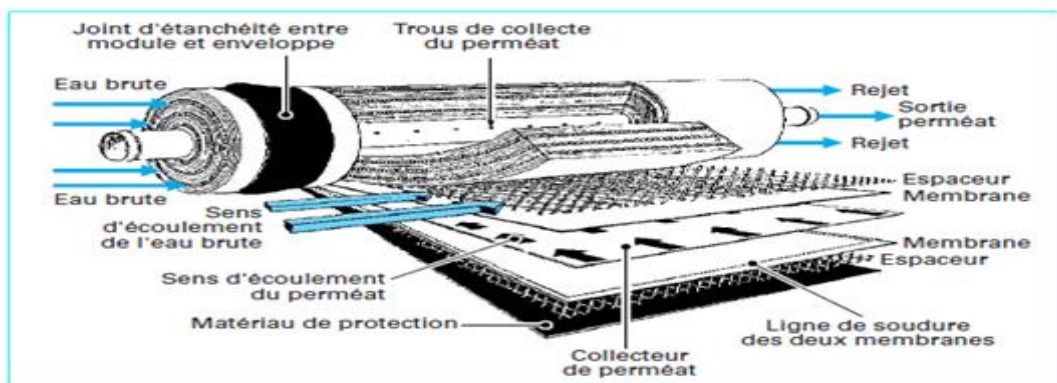


Fig. 9 : Schéma d'un module spiralé [5].

- **Modules à fibres creuses :**

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.

L'eau à traiter est introduite à une extrémité de la cartouche et répartie dans les fibres creuses à l'aide d'un distributeur. Le rétentat est collecté à l'autre extrémité et le perméat est recueilli dans la cartouche [5].

I.6.3.2.2.1.3. Colmatage de membranes et leur nettoyage

Le colmatage des membranes a pour conséquence de réduire le flux d'écoulement ou d'augmenter la pression d'opération. La détermination de la nature et de la structure des éléments qui colmatent la membrane est nécessaire pour établir le choix des agents de nettoyage et des conditions d'opération les plus efficaces.

Il est possible de classer les éléments colmatant en deux groupes :

-Les résidus solubles dans l'eau, qui peuvent être éliminés par une étape de rinçage.

-Les résidus non solubles dans l'eau, qui forment une couche poreuse et résistante, composée principalement de protéines et des sels, ainsi que de microorganismes, colloïdes, polysaccharides insolubilisés, etc.

Le nettoyage des membranes a pour but de limiter le colmatage irréversible de perméabilité, et par le fait même, à prolonger la durée de vie des membranes. Les différentes techniques de nettoyage sont:

-Le nettoyage mécanique, un nettoyage partiel, mais rapide. Son principe consiste à décoller et retirer la matière accumulée sur la membrane par des forces mécaniques.

-Le nettoyage chimique, qui implique un arrêt de production périodique, génère des coûts en solutions de lavages et en traitement des effluents.

Il se compose d'une séquence de lavages acide et basique, ainsi que de phases de rinçage.

-Le nettoyage enzymatique, qui constitue une alternative aux traitements chimiques. Il peut être appliqué dans les cas de membranes sensibles aux réactifs chimiques, au pH ou à la température élevée, ainsi que dans les cas de colmatage avancé [3].

I.6.3.2.2.1.4. Pompe haute-pression HP et Système de récupération d'énergie

Les pompes haute-pression d'alimentation des modules d'osmose inverse destinés au dessalement de l'eau de mer, ainsi que les dispositifs de récupération de l'énergie

hydraulique du concentrât qui y sont associés, représentent des postes très importants dans la conception des usines de dessalement, tant du point de vue de l'investissement, que de celui de l'énergie électrique nécessaire à leur fonctionnement.

Les pompes haute-pression des membranes d'osmose inverse doivent permettre d'assurer un débit d'eau à une pression donnée, tout en absorbant le minimum d'énergie.

I.6.3.3. Autres procédés de dessalement

I.6.3.3.1. Echange ionique

L'échange d'ions est un phénomène d'interface qui se produit entre les solutions plus ou moins ionisés et la surface des échangeurs.

Les échangeurs d'ions sont des substances granulaires insolubles ou des liquides immersibles comportant dans leur structure moléculaire des radeaux anioniques ou cationiques susceptibles de permuter, sans modification apparente de leur aspect physique et sans altération ou solubilisation.

Des ions positifs ou négatifs fixés sur les radicaux contre des ions de même signe se trouvent en solution dans le liquide à leur contact. Cette permutation appelée «échangeur d'ions» permet de modifier la composition des liquides (eaux de mer).

I.6.3.3.2. Dessalement par congélation

Le dessalement par congélation dérive du principe que la glace après congélation d'une solution aqueuse contenant des particules solides permet d'obtenir une phase solide de l'eau pure excluant les éléments étrangers de la structure cristalline.

L'eau de mer refroidie à environ 2°C donne des cristaux de glace d'eau douce. Plus la température de refroidissement augmente, plus la production de glace augmente. Par conséquent, à une température de -9°C l'eau pure est obtenue.

I.6.3.3.3. Distillation solaire

La distillation solaire (Fig. 10) est un procédé simple et pouvant être appliqué de façon rustique mais elle ne convient évidemment qu'aux régions où l'ensoleillement est suffisant.

Ce procédé de dessalement solaire est basé sur le principe du dessalement «Serre», soit une serre fermée et exposée au soleil à l'intérieur de laquelle se trouve une eau de mer, eau saumâtre de quelques centimètres d'épaisseur. L'air à l'intérieur de la serre est surchauffé et saturé de vapeur d'eau douce qui conduit au contact de la paroi relativement fine de verre, et les gouttes d'eau douce peuvent être recueillies dans une gouttière [3].

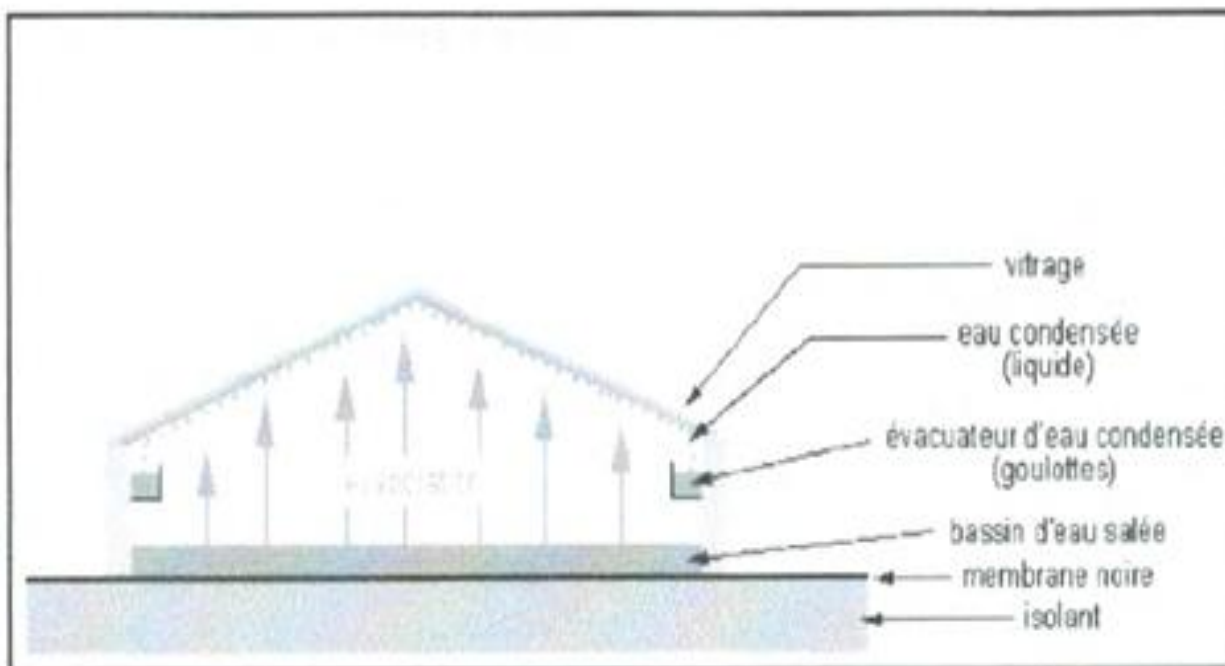


Fig. 10 : Schéma représentant le procédé de distillation solaire [3].

I.6.4. Le post-traitement

En général, l'étape de post-traitement comporte deux phases principales; l'ajustement du pH et la chloration.

I.6.4.1. L'ajustement du pH

L'eau produite par un des procédés de dessalement est agressive, son *pH* est inférieur au *pH* de saturation. Subséquemment, la correction de pH se fait à l'aide d'une solution alcaline, automatiquement en fonction du *pH NaOH*. Cette neutralisation a pour but d'éviter les problèmes liés au CO_2 dissous dans l'eau pour obtenir une eau ni agressive, ni incrustante, car elle présente de multiples inconvénients.

I.6.4.2. La chloration

Il est nécessaire d'assurer une étape de désinfection pour éviter toute contamination et développement biologique. Dans ce contexte, il existe de nombreuses méthodes de désinfection de l'eau, mais la plus utilisée est la chloration par l'utilisation d'une solution d'hypochlorite de sodium (eau de javel).

La chloration permet de détruire les organismes pathogènes présents dans l'eau et protéger l'eau contre de nouvelles contaminations ultérieures au cours de son transport ou de son stockage [4].

I.7.Conclusion

Le dessalement est un enjeu particulièrement important pour l'avenir des régions arides. C'est une méthode d'avenir pour pallier aux problèmes d'eau douce. Dans certains cas il devient impératif à cause de la diminution des ressources souterraines.

Les techniques ne cessent de se développer de part leur performance et leur rentabilité ce qui va permettre une baisse des coûts de production et peut être permettront à certains pays pauvres, en grande pénurie d'eau, de s'équiper à leur tour afin de pouvoir sécuriser leur alimentation.

Deuxième Chapitre :

Description de la station de dessalement d'eau de mer de Magtaa

Oran

II.1. Introduction

L'eau est une richesse qu'aucun être vivant ne pourrait s'en passer, 80% de la terre est représentée par de l'eau.

Cette dernière est utilisée dans plusieurs cas, les plantes ont besoin d'eau lors de la photosynthèse, l'animal, déshydratations de son organisme... enfin il y a l'Homme ; lui qui l'utilise dans de différents domaines, dans les établissements, dans les maisons, dans l'alimentation et dans plein e stock est en déficit, c'est pour cela l'homme a exploité des zones riches en eau non potable en pensant à récupérer l'eau de mer et l'a dessalée puis le rendre potable.

II.2. Situation géographique

L'Algérie a connu la première station de dessalement à Alger, puis d'autres ce sont installés un peu partout, plus précisément à l'ouest de l'Algérie, une d'entre elle est la station de Tahlyat Myah Magtaa(TMM) qui se situe à l'ouest d'Algérie dans la commune de Marsa El Hedjed, Daira de Bathioua, wilaya d'Oran.

Cette usine qui s'étend sur une superficie de 17,40 ha a été construite, en 2009, et a été l'une des plus grandes stations de dessalement au monde, et maintenant c'est devenu la plus grande station de dessalement en Afrique et grâce à son rendement de 500000 m³au cube/jour qui alimente les régions suivant : Oran, mascara, Mostaganem et Relizane.

C'est une station Algérie-singapourien, il y a Hyflux étant partenaire étrangère qui est actionnaire de 47 % AEC (Algerian Energy company) étant partenaire Algérien actionnaire de 43 % et l'ADE (Algérienne des eaux) de 10 %. Chacune de ses associations Hyflux et TMM ont leur propre personnel dans la gestion de cette immense unité. Hyflux participe dans la construction et la maintenance, et tout ce qui est technique c'est TMM qui est en charge.



Fig. 11 : La station de dessalement de Magtaa.

II.3. Description du procédé de la station

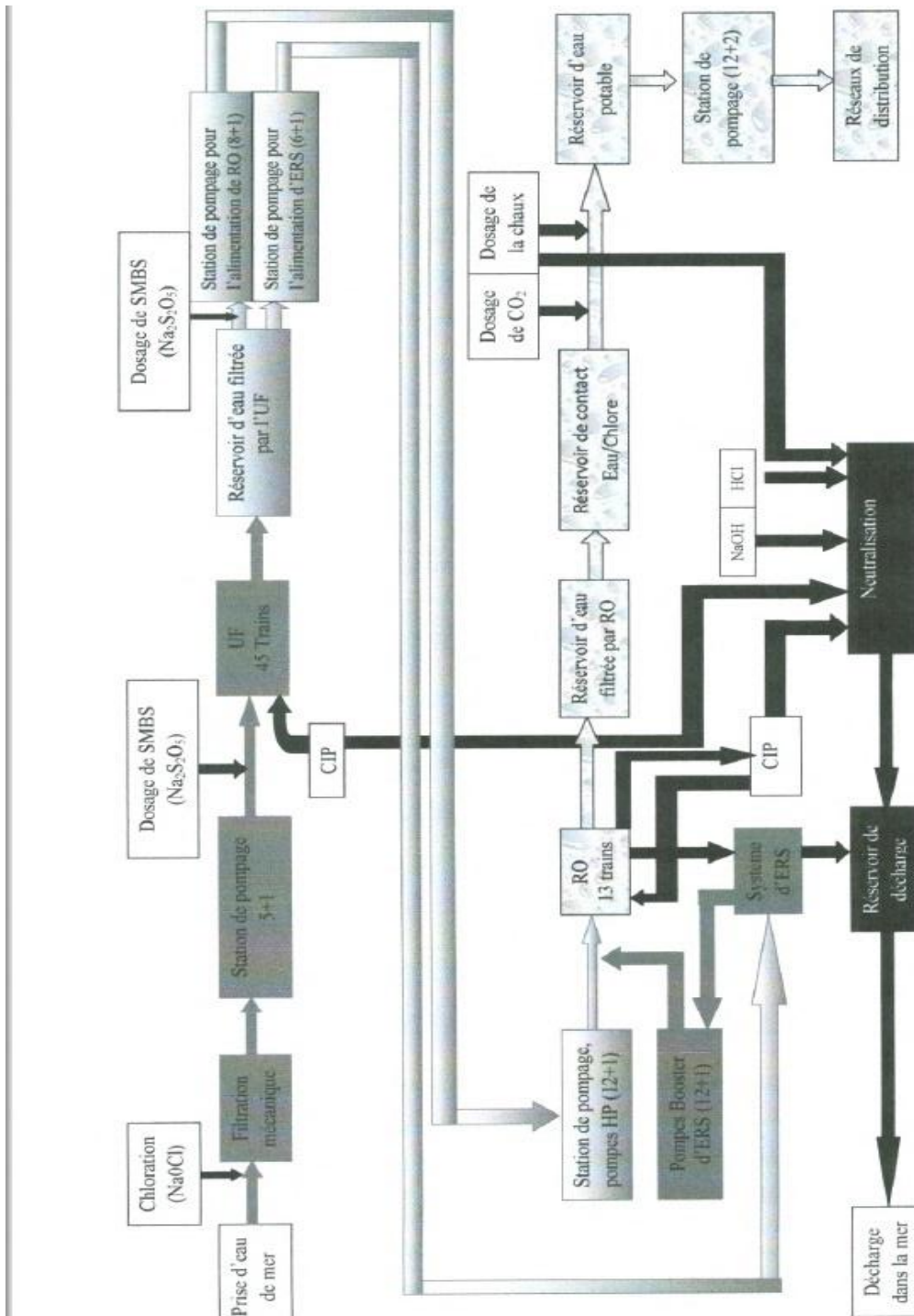


Fig. 12 : Schéma résumant les étapes de fonctionnement suivies au niveau de la station.

II.3.1. Prise d'eau de mer

L'alimentation de la station en eau de mer est réalisée par le biais d'une prise d'eau située à une profondeur de 11 mètres (Fig. 13). Cette eau est refoulée vers la station par effet gravitaire au moyen d'une canalisation de 860 mètres de longueur. Ce type de prise permet d'assurer une entrée d'eau avec un minimum de débris et avec des caractéristiques plus ou moins uniformes.

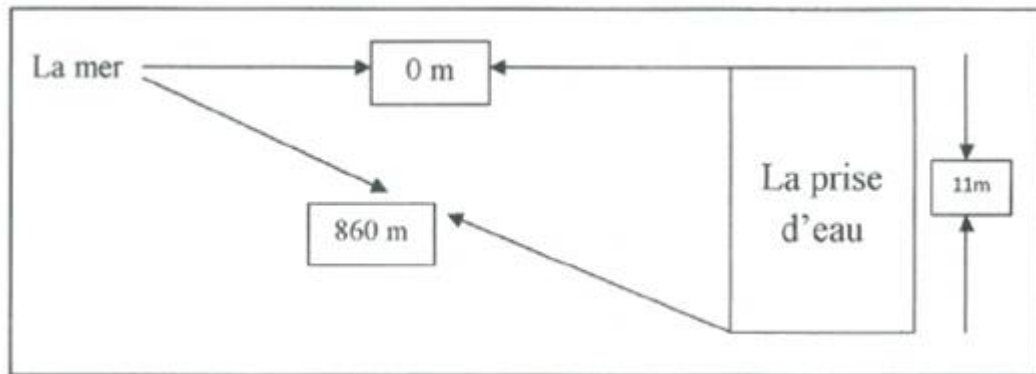


Fig. 13 : Schéma représentant la prise d'eau

II.3.2. La filtration mécanique

La première phase du traitement consiste à faire passer l'eau de mer à travers deux filtres de différents diamètres :

- Dé grilleurs comportant des mailles de 20 mm de diamètre, permet l'élimination des grands organismes contenus dans l'eau de mer tels que les poissons;
- Tamiseurs dont les mailles sont plus fines que celles du précédent (200µm), permet le retrait des petits organismes.

L'ensemble de filtres bénéficie d'un système de nettoyage automatique permettant d'enlever les débris accumulés sur les deux écrans.

Cette étape de filtration mécanique assure la protection de la station de pompage d'eau de mer et le système d'ultrafiltration.

II.3.3. La chloration

Un dosage périodique d'hypochlorite de sodium $NaOCl$ à 10 mg/L/h, est réalisé dans la prise d'eau pour assurer sa désinfection ainsi que celles des filtres permettant ainsi la réduction de la croissance biologique dans l'eau.

II.3.4.Station de pompage d'eau de mer

Six pompes centrifuges (5 en service et 1 en mode veille) d'un débit de $5300 \text{ m}^3/\text{h}$ et une pression de 3,5 bars, assurent le transport de l'eau de mer à partir des filtres jusqu'aux trains d'ultrafiltration.

II.3.5.Premier dosage de SMBS

Le méta bisulfite de sodium (SMBS) de formule $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ est utilisé dans le but d'éliminer le chlore contenu dans l'eau de mer avant son arrivée aux membranes d'ultrafiltration; ceci permet d'éviter l'oxydation de ces dernières.

Le système de dosage se compose de deux réservoirs de stockage de **SMBS** avec mélangeurs et de deux séries de pompes doseuses (un réservoir assure le dosage avant le système d'ultrafiltration, l'autre sera utilisé pour le dosage avant le système d'osmose inverse).

L'ensemble des pompes du premier dosage (1 en service et 1 en mode veille) injecte la solution de méta bisulfite de sodium dans la conduite d'alimentation en eau juste avant les trains d'ultrafiltration. L'injection est périodique et est réalisée à des intervalles de temps réguliers. Après la chloration, le système de dosage débute l'injection de la solution qui entre en réaction avec l'eau de mer et permet l'élimination du Cl_2 .

II.3.6. Le système d'ultrafiltration (UF)

II.3.6.1.Description du système

L'ultrafiltration est considérée comme l'étape la plus essentielle du prétraitement.

Le système d'ultrafiltration se compose de cinq (5) compartiments comportant chacun neuf (9) trains dont huit (8) seront mis en service et le neuvième jouera le rôle d'un système de contre-courant (backwash), ou il prendra la position d'un nettoyeur sur place (CIP) ou encore il sera en maintenance.

Des modules, de type Hyflux's KristalTM UF, avec un flux de 50 à 70 m^2/h et une superficie de 70 m^2/module , seront utilisés par le procédé de filtration. Chaque train (Fig. 14) est fourni d'un espace pouvant englober 162 modules. Toutefois, seulement 144 modules seront en service. Cette installation permettra, dans le futur, une augmentation de la capacité de l'usine en cas de nécessité.



Fig. 14 : Présentation d'un train d'ultrafiltration.

II.3.6.2. Membranes d'ultrafiltration

Les membranes de type Hyflux Kristal™ UF ont les caractéristiques suivantes:

- le diamètre de la membrane est de 8 pouces;
- la longueur est égale à 80 pouces;
- les dimensions des pores de la membrane sont de 0,015 μm et 0,020 μm .

Les membranes fonctionnent de façon que l'eau d'alimentation arrivée à la membrane s'écoule au large de la face extérieure de cette dernière et le filtrat se concentre à l'intérieur (Fig. 15).

II.3.6.3. Le système « Backwash » (Lavage à contre-courant)

Lors de filtration, la matière solide s'accumule à l'intérieur de la membrane provoquant ainsi une résistance à l'écoulement d'eau. Afin d'améliorer l'efficacité du fonctionnement de la membrane, il sera nécessaire d'effectuer une opération de Backwash (Fig. 15).

Ce lavage à contre-courant est effectué périodiquement, généralement toutes les 30 à 45 minutes, et est contrôlé de façon qu'un seul train par compartiment puisse jouer le rôle de Backwash, durant cette période déterminée, avant de passer à l'autre.

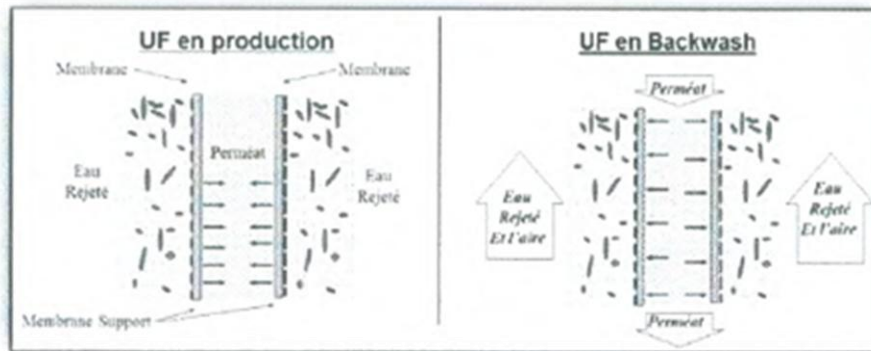


Fig. 15 : Schéma expliquant le fonctionnement de la membrane de l'UF en production et en Backwash.

II.3.6.4. Le système CIP (Cleaning-In-Place)

Si le lavage à contre-courant supprime la plupart des solides accumulés, il faudra effectuer périodiquement, sur place et sans démonter les modules, un nettoyage plus efficace à l'intérieur des membranes d'UF. Cela peut se faire de deux façons:

-La première consiste en un nettoyage de maintenance fréquent (A frequent Maintenance Cleaning: MC), avec de l'acide chlorhydrique HCl à pH entre 2 et 3 et un mélange d'hydroxyde de sodium ($NaOH$) et d'hypochlorite de sodium ($NaOCl$) à pH 11.

Il s'agit d'un contact de la membrane avec le produit chimique pendant 5 à 10 minutes. Cette courte durée permettra d'assurer une réduction maximale du temps d'arrêt du système.

Après quelques semaines (3 à 4), la pression membranaire peut être non contrôlée par un lavage à contre-courant ou même par un MC. A ce moment, un nettoyage de récupération fréquent (A frequent Recovery Cleaning: RC), en utilisant l'acide phosphorique H_3PO_4 et nitrique HNO_3 , sera nécessaire.

Le RC exige une interruption de fonctionnement avec un temps plus important par rapport au MC mais avec un nettoyage plus profond des membranes.

A la fin des opérations de nettoyage, le train peut être remis en service ou mis en veille et les solutions chimiques utilisées seront dirigées vers le réservoir de neutralisation avant d'être évacuer dans la mer.

II.3.6.5. Réservoir d'eau filtrée et station de pompage

L'eau filtrée par le système d'UF est destinée vers un réservoir construit en béton et doublé d'un revêtement d'époxy. Ce réservoir est la source d'alimentation en eau pour le système d'osmose inverse (RO) ainsi que pour le lavage des membranes d'UF.

Six (6) pompes alimentant le système de lavage à contre-courant (Backwash), neuf (9) pompes d'alimentation de RO et 7 autres pour le système de récupération d'énergie (ERS), sont logées toutes dans une même station de pompage.

II.3.7. Deuxième dosage de SMBS

Après le dosage de SMBS, avant l'entrée au système d'ultrafiltration, un deuxième dosage du produit est nécessaire à ce stade du traitement. Ce dosage, ayant pour but l'élimination du chlore, a lieu dans la ligne "d'eau réservoir d'eau filtrée - trains du système d'osmose inverse".

La solution de bisulfite de sodium est employée en raison de sa nature réductrice forte. En théorie, une quantité de 1,34 mg de méta bisulfite de sodium permet d'éliminer 1,0 mg de chlore libre.

II.3.8. La technique d'osmose inverse (RO)

II.3.8.1. Description de la technique

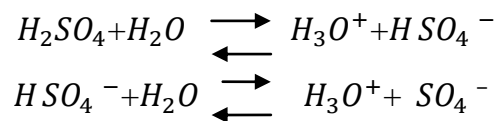
Au niveau de la station, le dessalement de l'eau de mer s'effectue par la technique membranaire d'osmose inverse RO (Reverse Osmosis). La section de cette technique à l'usine comprend les équipements suivants:

- Système de dosage anticalcaire;
- Station de pompage de RO;
- Trains de RO;
- Système de récupération d'énergie;
- Système CIP (Clean In Place).

II.3.8.2. Système de dosage anticalcaire

A l'intérieur des membranes d'osmose inverse, il y a possibilité de précipitations et de concentration de carbonates de calcium lors du passage de l'eau. Pour minimiser le risque d'entartrage, un anticalcaire d'acide sulfurique (H_2SO_4) est utilisé afin de régler le pH entre 7,8 et 8,2.

Le système de dosage anticalcaire se compose d'un réservoir de stockage et deux (2) pompes. Il fonctionne de façon que lorsque le train de RO rentre en service, la pompe démarre et commence à injecter la solution d'acide sulfurique.



II.3.8.3. Station de pompage de RO

II.3.8.3.1. Pompes d'alimentation de RO

Neuf (9) pompes centrifuges horizontales, ayant chacune une capacité de 1060 m³/h et une pression allant de 4 aux 18 bars, assurent l'alimentation des trains d'osmose inverse, dont huit sont en service et une en mode de veille,

II.3.8.3.2. Pompes à haute pression

Chaque train d'osmose inverse est équipé d'une pompe à haute pression (Fig. 16). Dans l'ensemble, treize (13) pompes HP sont installées. Elles sont de type centrifuge à plusieurs étages, fabriquées en acier inoxydable et ont une capacité de 710 m³/h et une pression de 50 bars.



Fig. 16 : Pompe à haute pression.

II.3.8.3. Pompes d'alimentation du système de récupération d'énergie

Ce système comporte sept (7) pompes (6 en service et 1 en mode veille), de type centrifuge horizontal, avec une capacité de 1720 M³ /h et une pression de 5 bars.

II.3.8.4. Trains d'osmose inverse

Treize (13) unités de trains de RO, sont installées où douze (12) sont en opération et le treizième constitue un train de secours. Chacun des douze trains permet de fournir un volume maximal de 20000 m³ avec une température variant entre 18 et 27°C et une TDS de 37500 mg/L.

Chaque train (Fig. 17) est équipé d'une pompe HP et d'un système de récupération d'énergie isobare.

Le train unique se compose de 192 tubes, déposés en parallèle. Chacun de ces tubes contient 7 cartouches de membranes servant à éliminer 99,8% des sels dissous.

De la totalité des eaux alimentant les trains, seules 45% seront converties en eau potable et subiront un post-traitement tandis que le reste (eau de mer concentrée à teneur élevée en solides dissous totaux) sera rejeté dans la mer.



Fig. 17 : Train d'osmose inverse

II.3.8.5. Système de récupération d'énergie

Le système de récupération d'énergie ERS (Energy Recovery System) est basé sur les échangeurs isobares. Il est utilisé afin de récupérer au préalable l'énergie du rejet de RO qui est dirigé vers la décharge.

Le système ERS transfère directement l'énergie de flux à haute pression avec celle du flux à basse pression. Le débit d'eau filtrée qui traverse le système ERS est contrôlé par une pompe de surpression à vitesse variable (Booster).

II.3.8.6. Le système CIP (Cleaning-In-Place)

Le système CIP permet de nettoyer les membranes de RO lorsque cela est nécessaire, en raison du calcul de l'indice d'encrassement des membranes. En fonction du pH, le CIP peut être réalisé de deux façons:

- Prétraitement : On utilise $Na_5P_3O_{10}$ pour la protection de la membrane contre le colmatage par $CaSO_4$ (inhibiteur de formation $CaSO_4$).
- Le pH est faible (entre 2 et 3) pendant nettoyage avec l'acide citrique;
- Le pH est élevé (entre 11 et 11,5) pendant nettoyage avec la soude.
- Il y a rinçage à l'eau osmosée entre les deux nettoyages acide basiques.

II.3.9. Post-traitement

L'eau obtenue par l'osmose inverse, doit passer par le stade de post-traitement afin de la reminéraliser pour satisfaire aux exigences de la potabilité de l'eau.

Le perméat est « agressif » en raison de la valeur négative de LSI (indice de saturation de Langelier) qui doit être augmenté dans le but de le mettre aux normes de potabilité ainsi que pour protéger le réservoir de stockage et les réseaux de distribution.

Les étapes de post traitement sont basées essentiellement sur les dosages :

- du chlore;
- du dioxyde de carbone;
- de la chaux.

II.3.9.1. Dosage du chlore

L'utilisation du chlore a pour but de désinfecter l'eau par injection d'hypochlorite de sodium $NaOCl$, sous forme liquide à une concentration de 12%, dans le réservoir du perméat.

Son contact avec l'eau, pour une durée de 30 minutes, lui permettra de réagir avec la matière organique et assurera ainsi une bonne désinfection.

La teneur en chlore libre se stabilise entre 0,5 et 1 ppm et un analyseur installé à la sortie du réservoir permettra de surveiller la chloration.

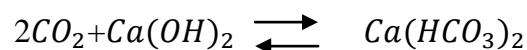


Fig. 18: Réservoir de contact eau/chlore.

II.3.9.2. Dosage de dioxyde de carbone et de la chaux

La reminéralisation de l'eau chlorée se fait en deux étapes; la première est concernée par un dosage de dioxyde de carbone CO_2 et la seconde par un dosage de la chaux $Ca(OH)_2$ (hydroxyde de calcium). Ces deux dosages permettent d'augmenter le pH et le LSI (indice le Langelier) à la gamme désirée donnant une eau «non agressive » pour la distribution et la consommation humaine.

Le dioxyde de carbone et la chaux réagissent ensemble selon la réaction suivante:



Dans la pratique, le CO_2 sera injecté à un débit de dosage fixe prédéterminé de 50mg/1 et le dosage de chaux sera commandé par le pH de l'eau de façon qu'il se stabilise entre 7,8 et 8,2.

Au site de dosage de CO_2 (Fig. 19), deux (2) réservoirs de stockage de dioxyde de carbone renferment du CO_2 liquide qui sera dirigé par la suite vers une des deux (2) unités

de vaporisation atmosphérique (1 en service et 1 en mode veille) pour avoir le gaz du CO_2 ; c'est ce gaz qui sera injecté dans l'eau.



Fig. 19 : Site de préparation du CO_2

Le système de dosage de la chaux (Fig. 20) se compose de plusieurs équipements permettant le stockage de la chaux en poudre, la préparation de la solution de chaux saturée et son injection dans l'eau.

La chaux en poudre est stockée dans deux (2) silos construits en acier et équipés d'un système de contrôle de la qualité de la poudre. Cette dernière est rajoutée dans un réservoir de dilution où elle se mélange avec une partie de l'eau rejetée par le système d'osmose inverse.

La chaux en poudre est stockée dans deux (2) silos construits en acier et équipés d'un système de contrôle de la qualité de la poudre. Cette dernière est rajoutée dans un réservoir de dilution où elle se mélange avec une partie de l'eau rejetée par le système d'osmose inverse.

Fig. 20: Site de préparation de la chaux.



II.3.10. Réservoir de stockage d'eau filtrée

Après la désinfection et la reminéralisation, l'eau sera stockée dans un réservoir d'eau traitée d'une capacité de 25000 m³. Ce réservoir est divisé en deux compartiments, s'il y a lieu, le stockage se fait dans un seul compartiment tandis que le deuxième sera en maintenance ou en nettoyage.

II.3.11. Station de pompage de l'eau traitée

Un total de quatorze (14) pompes à haute pression de 30 bars (12 en service et 2 en mode veille), permet le pompage de l'eau traitée à partir du réservoir de stockage vers les réseaux de distribution installés à la limite sud de l'usine.

II.3. 12. Fosse de neutralisation

Sous écoulement gravitaire, les déchets du système CIP concernant l'UF et la RO ainsi que toutes les eaux utilisées dans les opérations chimiques, s'accumulent dans une fosse située à la limite nord-ouest de la station, où ils vont être neutralisés.

Cette opération se fait de la façon suivante:

- à pH faible, la neutralisation est effectuée avec de l'hydroxyde de sodium (*NaOH*)
- à pH élevé, elle sera faite par l'ajout de l'acide chlorhydrique (HCl).

La neutralisation assure aux rejets des valeurs de *pH* comprises entre 6 et 9, avant qu'ils ne soient acheminés vers l'exutoire. Cette démarche permettra la protection des eaux de mer (site final de la décharge) des produits toxiques et donc de l'écosystème marin.

II.3.13. Exutoire

La saumure retirée par les membranes d'osmose inverse, l'eau de lavage à contre-courant ainsi que toutes les solutions neutralisées au niveau de la fosse seront déversées par gravité dans un réservoir de décharge avant de rejoindre la mer.

Les points de décharge dans la mer seront placés tels que les rejets à haute salinité ne seront pas recyclés dans la prise d'eau qui est prolongée à presque 900 m dans la mer.

II.4. Conclusion

Les étapes de dessalement des eaux de mer à la station de Magtaa sont:

- le prétraitement réalisé en premier lieu et basé sur une filtration mécanique afin de retirer toutes les particules volumineuses contenues dans l'eau de mer;
- l'étape d'ultrafiltration permettant de retirer la matière en suspension;
- l'osmose inverse, la phase la plus essentielle dans le procédé, installée dans le but d'enlever les éléments constituant la salinité de l'eau filtrée;
- le post-traitement qui par l'ajout de produits chimiques appropriés permettra la reminéralisation des eaux afin d'assurer leur potabilité selon les normes exigées dans le contrat d'achat signé entre l'usine et l'Algérienne Des Eaux

Troisième chapitre :
COLMATAGE DES MEMBRANES D'OSMOSE INVERSE
- CAS de TMM DE MAGTAA

III.1 Introduction

Dans le passé, le facteur limitant le développement de la technologie membranaire était le coût des membranes. Cependant, depuis quelques années, les coûts ont été réduits grâce aux progrès effectués dans le domaine de la fabrication des membranes. Des progrès ont permis également d'augmenter la durée de vie des membranes, de diminuer les coûts de remplacement de ces dernières, de réduire la consommation énergétique par rapport au flux de perméat obtenu. De nos jours, le principal facteur limitant l'application à long terme des stations de dessalement est devenu le colmatage des membranes. C'est un phénomène complexe. Il peut être décrit comme étant une diminution continue du flux de perméat (à pression constante) ou une augmentation de la pression transmembranaire, causée par l'accumulation ou l'adhésion et/ou l'adsorption de particules solubles ou colloïdales (organiques, inorganiques et cellules microbiennes) ou en suspension à la surface de la membrane et sur les pores de la membrane. Il est possible de quantifier le colmatage en fonction de sa réversibilité : le colmatage réversible (de nature physique) et le colmatage irréversible (de nature plutôt chimique). Plusieurs facteurs peuvent contribuer au colmatage des membranes et la nature de ce colmatage varie d'un auteur à l'autre, alors qu'il est plutôt le reflet des conditions opératoires et de la configuration membranaire utilisée.

III.2 Les type de colmatage

En effet, en fractionnant le colmatage suivant trois échelles d'observation

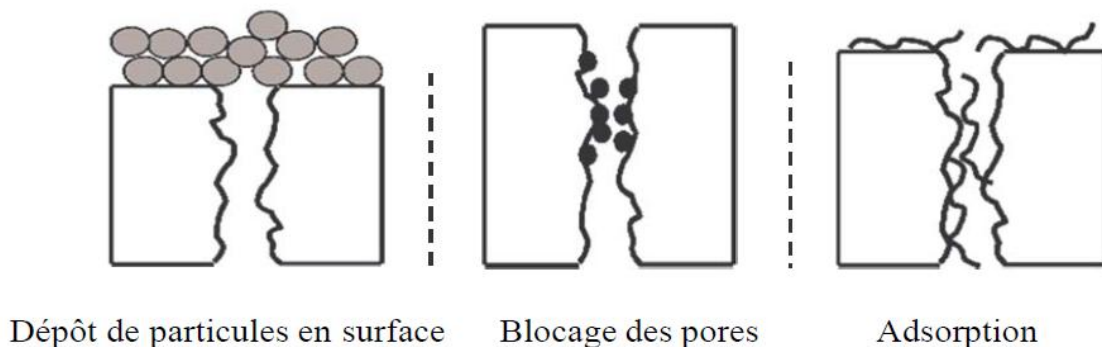


Fig. 21 : Différentes formes de colmatage

III.2.1. 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. L'importance de ce phénomène dépend de la forme et de la taille relative des pores et des particules ainsi que des conditions hydrodynamiques.

III.2.2. L'adsorption

C'est un phénomène à long terme qui implique généralement les macromolécules (comme les protéines) présentes dans le fluide à traiter et ayant une affinité physico chimique pour le matériau membranaire. Elles s'adsorbent alors à la surface de la membrane ou dans ses pores. Les conséquences de ce phénomène sont une réduction du nombre ou de la taille des pores efficaces (augmentation de la résistance hydraulique) et une modification de la charge de surface de la membrane.

III.2.3. Le colmatage par dépôt de particules en surface

Contrairement aux solutés, les matières en suspension dans l'eau (particules, bactéries, protozoaires, virus) peuvent être, selon leur taille, caractérisées par un pouvoir diffusif faible voire nul. Il en résulte que l'accumulation de matière, sous l'effet convectif de la perméation, n'est pas compensée par un flux diffusif de retour. Lorsque les forces de convection deviennent supérieures aux forces de répulsion, une déstabilisation des particules se produit et le colmatage apparaît. Il y a donc une transition de phase entre une phase dispersée et une phase condensée.

Ainsi, les particules ayant une taille supérieure à celle des pores de la membrane forment à la surface de celle-ci un dépôt communément appelé gâteau de filtration. Ce dernier constitue une couche poreuse et agit comme une épaisseur supplémentaire de membrane s'opposant ainsi au transfert de matière. La résistance hydraulique du dépôt, R_d , est proportionnelle à la masse particulaire déposée par unité de surface membranaire, m_d , par l'intermédiaire de la résistance spécifique du dépôt, α :

$$R_d = m_d \cdot \alpha \quad (\text{III.1})$$

La résistance spécifique est une propriété intrinsèque du dépôt qui dépend de sa structure.

III.3. Les 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.

III.3.1. Les 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.

Caractéristiques des membranes de la station de dessalement de Magtaa sont :

- | | |
|------------------------------------|----------------------------|
| • Configuration | Spiralée |
| • Matériel | Polyamide (Aromatique) |
| • Matériel du tube | Fibre de verre et époxy |
| • Dimensions | D=20 cm, longueur=101.6 cm |
| • Pression maximale | 82.73 bar |
| • pH d'opération | 2 – 11 |
| • Température maximale d'opération | 45°C |
| • Débit nominal | 27,7 m ³ /jour |
| • Réjection de sel | 99,6 % |
| • Variation de débit admissible | ± 8 % |

III.3.1.1. L'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.

III.3.1.2. L'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.

III.3.1.3. Le 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.

III.3.2. Les 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.

La figure N°22 représente les caractéristiques de l'eau à l'entrée d'osmose inverse après subir une ultrafiltration, sachant que le type du prétraitement à un très grand influence sur la performance de la station car plus le prétraitement est efficace et plus en diminue le phénomène de colmatage des membranes et par conséquent on réduit la fréquence du nettoyage et cela on prévient le vieillissement des membranes d'osmose inverse et on prolonge leur durée de vie.

Paramètre	L'unité	Eau traité	Les normes algériennes
Température	°C	15.7	25
pH		8.24	8.5
Conductivité	µs/cm	713	800
Turbidité	NTU	0.71	1
Ca ²⁺	mg/l CaCO ₃	54	200
TH	mg/l CaCO ₃	106	100
Cl ⁻	mg/l	210	200
TAC	mg/l CaCO ₃	60.40	60
TDS	mg/l	551	1000

Tab. 2: Les paramètres physico-chimiques de la station de Magtaa.

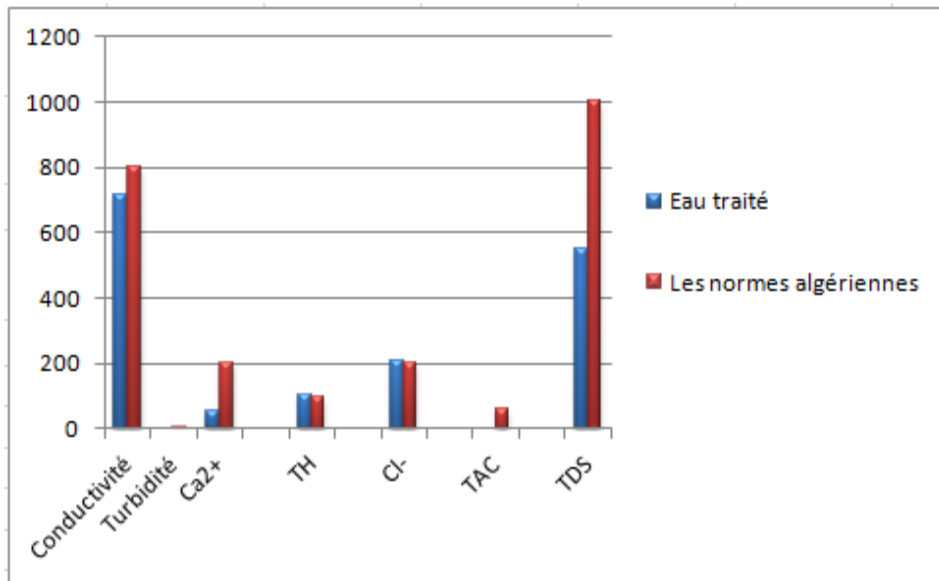


Fig. 22 : Les caractéristiques physico-chimiques de l'eau traitée de la station de Magtaa.

III.3.2.1 L'effet de SDI (Silt Density Index)

Le pouvoir colmatant des particules en suspension d'une eau s'exprime en relation suivante : $SDI = [(1 - T_0/T_t) * 100]/t$.

Le test de SDI consiste à filtrer l'eau sur un filtre de 0.45 μm et à mesurer la baisse de vitesse de perméation associée au colmatage. Les fabricants de modules recommandent de ne pas dépasser un $SDI > 5$. Toutefois, pour l'OI, l'utilisation d'un prétraitement adéquat fait en sorte que les colloïdes et les molécules organiques dissoutes sont beaucoup plus influents sur le colmatage des membranes que les particules.

A priori, la tendance d'une eau à colmater une membrane d'OI sera d'autant plus forte que l'eau contient une concentration élevée en matières organique naturelle (MON). En particulier, une eau contenant les MON plus hydrophobes qu'hydrophiles devrait colmater beaucoup plus une telle membrane.

III.3.2.2 L'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.

Dans la station de dessalement de Magtaa la température varie de 12°C à 28°C et avec sa variation (fig. N°23) elle peut influencer sur les autres paramètres. En plus de la viscosité, elle agit sur la densité, la solubilité des gaz dans l'eau, 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 ce qui affecte énormément le colmatage des membranes, notamment en été où la température atteint 28°C, dépassant ainsi les normes.

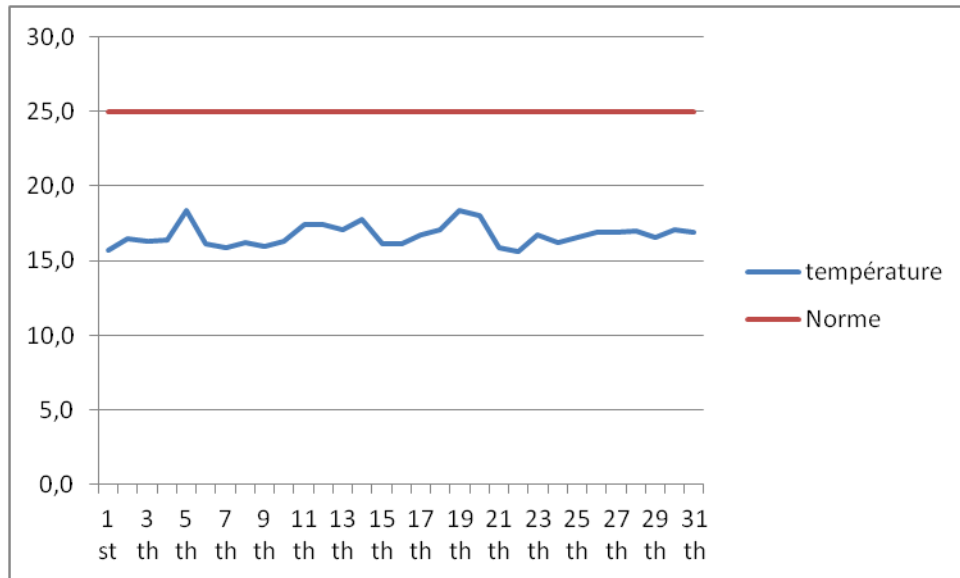


Fig.23: L'évaluation de la température d'eau (mois de mars) de la station de Magtaa.

III.3.2.3.L'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. C'est pour cette raison que les auteurs émettent l'hypothèse que ce colmatage serait dû a priori 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.

Dans la station de Magtaa la variation du pH est très faible (Fig.24), elle est de l'ordre de 0,2 entre un pH de 8,11 et 8,24 ce qui indique que ce paramètre est presque stable et par la suite il n'a pas vraiment un influence sur le phénomène du colmatage dans la station.

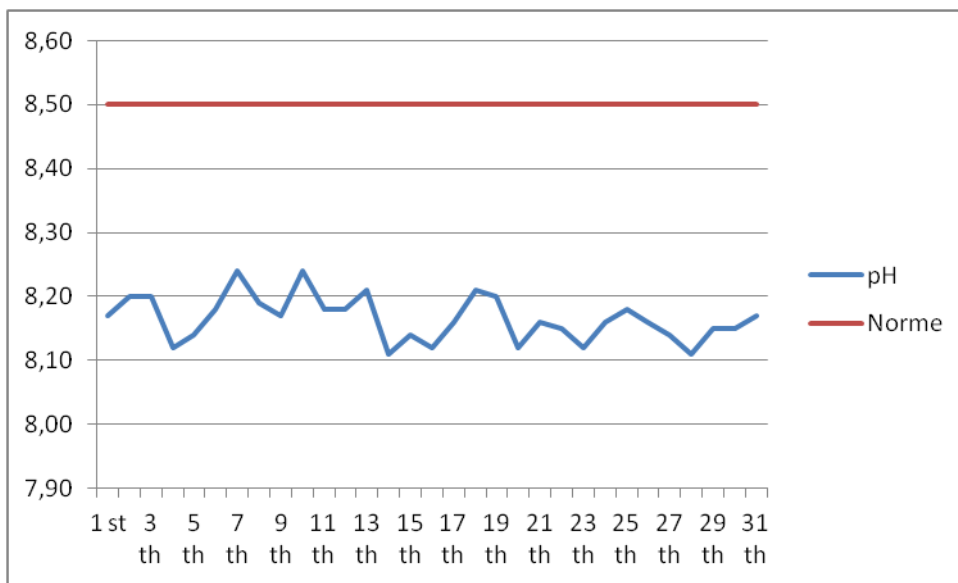


Fig.24: L'évolution du pH d'eau filtrée de la station de Magtaa

III.3.2.4 L'effet de la force ionique

Elle joue aussi un rôle fondamental car plus la force ionique de l'eau est élevée, plus la perte de flux de perméation est élevée. Cela s'explique par le fait que la résistance hydraulique du colmatage augmente avec son épaisseur et sa compacité.

A force ionique élevée, la charge électrique de la membrane et celle des macromolécules humiques est réduite d'une manière significative, ce qui réduit la répulsion électrostatique entre ces macromolécules. Par conséquent, le dépôt des matières organiques naturelles sur la surface est facilité et la couche colmatant devient plus épaisse.

De plus, avec l'augmentation de la force ionique, la répulsion électrostatique entre

les chaînes organiques diminue, et les molécules d'acide humiques tendent à avoir une structure plus compacte, ce qui donne une couche colmatant plus compacte et donc une plus grande résistance à l'écoulement. Par ailleurs, la densité ou compacité du dépôt augmente avec l'accroissement de la force ionique.

III.3.3. Les conditions opératoires du procédé membranaire

Enfin, la cinétique de colmatage d'une membrane, et l'évolution de la résistance additionnelle R_A 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.

III.3.3.1. L'effet de la vitesse tangentielle d'écoulement

De façon générale, plus la vitesse de circulation est élevée, plus le colmatage est limité car des vitesses élevées tendent à détacher de la surface les matières déposées mais si la vitesse est très élevée on risque d'endommager la membrane d'osmose inverse.

III.3.2. L'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. Pour atteindre un débit de 500000 m³/j dans le cas de la station de Magtaa 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 dans la Fig.25.

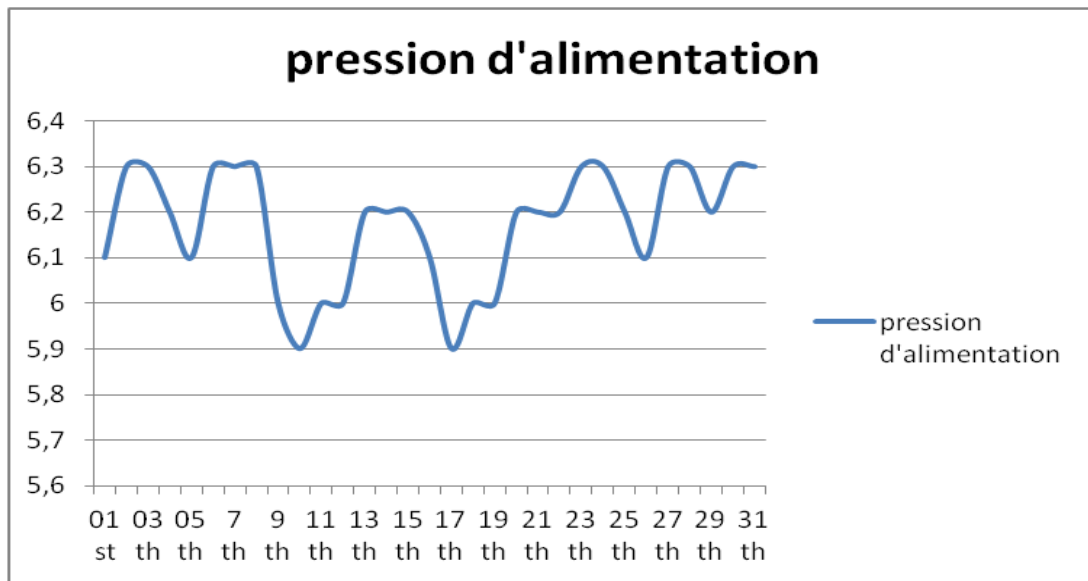


Fig.25: L'évolution de la pression d'alimentation d'Osmose Inverse.

III.3.4. Les méthodes de détection du colmatage

Plusieurs techniques ont été utilisées par les chercheurs pour caractériser la composition du « dépôt » sur des membranes colmatées. Parmi ces diverses techniques, la plus utilisée est la spectroscopie aux rayons X (méthodes directes) et La notion de méthodes indirectes de caractérisation repose sur l'utilisation préalable de protocole permettant d'isoler le matériel colmatant de la membrane étudiée. Certains chercheurs ont choisi d'analyser les substances contenues dans les eaux de rétrolavage et dans les solutions de lavage (solutions alcalines ou acides, etc.). On notera également que l'efficacité des protocoles de nettoyage utilisés peut contribuer de façon indirecte à l'identification du matériel colmatant en apportant des informations relatives à leurs propriétés physico-chimiques.

Dans le tableau suivant quelque problème qui indique l'existence d'un colmatage dans les station de dessalement d'eau de mer par osmose inverse par l'analyse du salinité, le débit et les pertes de charge du perméat.

Salinité du perméat	Débit de perméat	Perte de charge	Cause possible
Augmentation rapide	Baisse rapide	Augmentation rapide	Précipitation d'oxydes métalliques
Forte augmentation	Baisse progressive	Augmentation progressive	Entartage minéral
Légère augmentation	Baisse progressive	Augmentation progressive	Précipitation colloïdale
Normale ou augmentation	Baisse	Normale ou augmentation	Silice polymérisée
Baisse	Forte baisse	Forte augmentation	Précipitation biologique
Augmentation	Augmentation	Augmentation	Endommagement au chlore
Augmentation	Augmentation	Normale ou baisse	Endommagement abrasif
Augmentation	Normale ou Augmentation	Normale ou baisse	Fuites O-ring aux interconnexions ou adaptateurs
Augmentation	Normale ou Augmentation	Normale ou baisse	Fuite de glue à cause de la rétro-pression appliquée au perméat

Tab.3 : Analyse des problèmes possibles d'un système d'OI.

III.3.5. Les indices de détection du colmatage

III.3.5.1. La pression transmembranaire (PTM)

La PTM 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 Magtaa nous avons pris une série de la production associée à une pression qui varie entre ($3.09 < PTM < 3.66$ bar).

On a pris un exemple d'un seul train qui produit $20000 \text{ m}^3/j$

Jours	Pression d'entrée (bar)	Delta P (bar)	Production (m^3/j)	Delta production (m^3/j)
1	59.70	3.33	19128	872
2	59.84	3.38	19296	704
3	59.75	3.44	19176	824
4	59.69	3.47	19176	824
5	59.65	3.51	19176	824
6	59.62	3.28	19512	488
7	59.63	3.21	19488	512
8	59.63	3.19	19488	512
9	59.03	3.15	19176	824
10	59.10	3.23	19152	848
11	59.25	3.29	19296	704
12	59.48	3.39	19176	824
13	59.63	3.49	19080	920
14	59.69	3.61	19008	992
15	59.70	3.66	19200	800
16	59.62	3.64	19298	702
17	59.53	3.42	19309	691
18	59.45	3.09	19632	368
19	59.39	3.10	19632	368
20	59.31	3.14	19680	320
21	59.50	3.15	19680	320

22	59.65	3.23	19488	512
23	59.63	3.23	19536	464
24	59.71	3.28	19584	416
25	59.51	3.26	19656	344
26	59.44	3.22	19698	302
27	59.33	3.20	19704	296
28	59.28	3.18	19728	272
29	59.38	3.11	19848	152
30	59.43	3.25	19752	248

Tab.4 : l'évolution de la chute de production a pression constante.

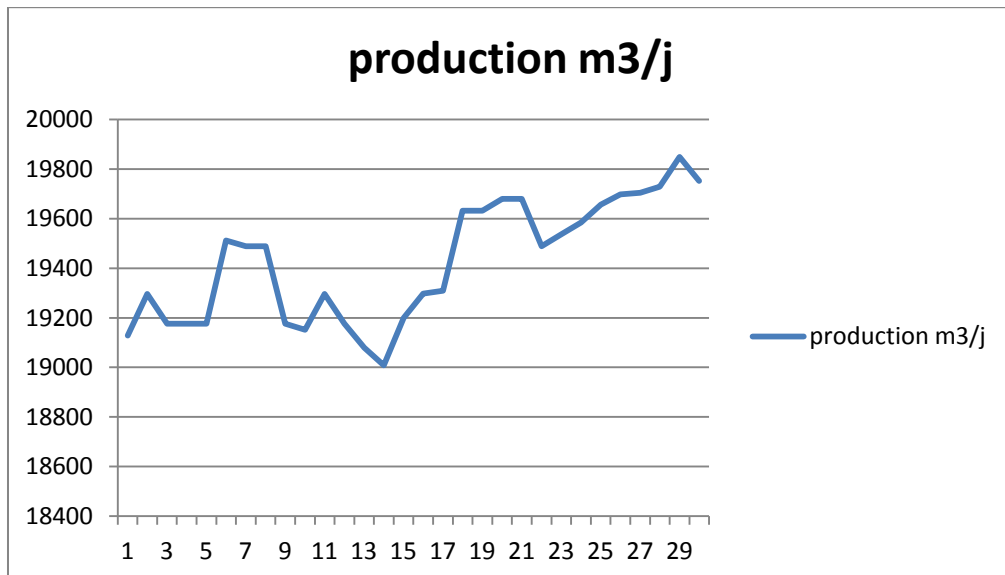


Fig.26 : Evolution de la production a une pression constante.

On remarque que la production est variable a une pression presque constante (pression d'entrée entre $59.0 < P_{\text{entrée}} < 59.9$ bar) sachant qu'on a trié la série de tel façon que seul les valeurs associées à des conditions de fonctionnement normales sont prises (c'est-à-dire que lors qu'on avait par exemple un arrêt d'une étape ou une partie d'étape, la production va diminuer donc on a éliminé les valeurs d'une tel journée pour que la série soit représentative). La variation de la production donne une idée sur la chute de production due au colmatage des membranes dans la station de Magtaa.

III.3.5.2 Le taux de conversion

Le taux de conversion est la fraction de liquide qui traverse la membrane.

Dans la Fig. 27 on remarque que le taux de conversion est variable avec le temps car les caractéristiques des membranes sont aussi variable du au phénomène de colmatage, le taux de conversion aux 15ème jours connait une chute qu'on peut l'expliquer par l'augmentation de la couche colmatant sur les membranes d'osmose inverse.

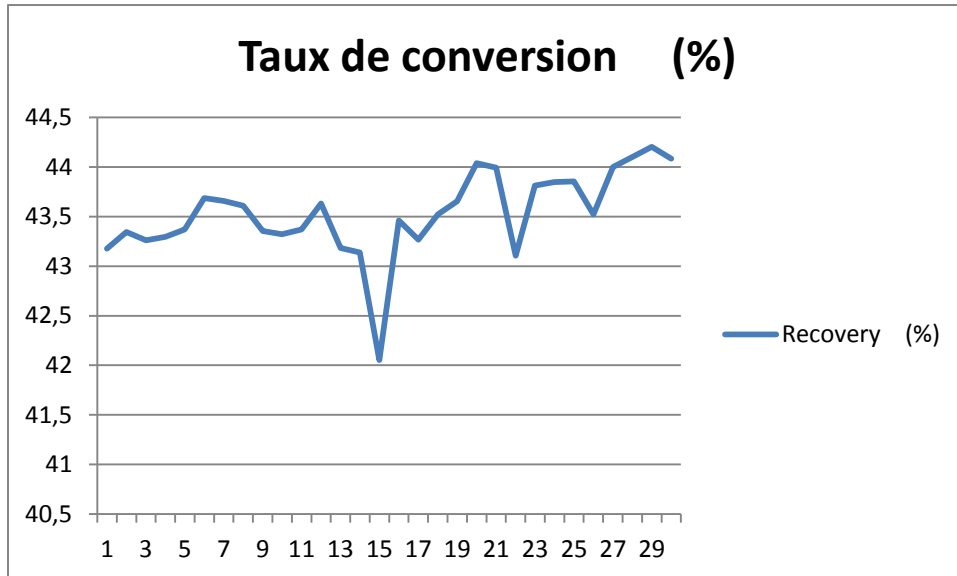
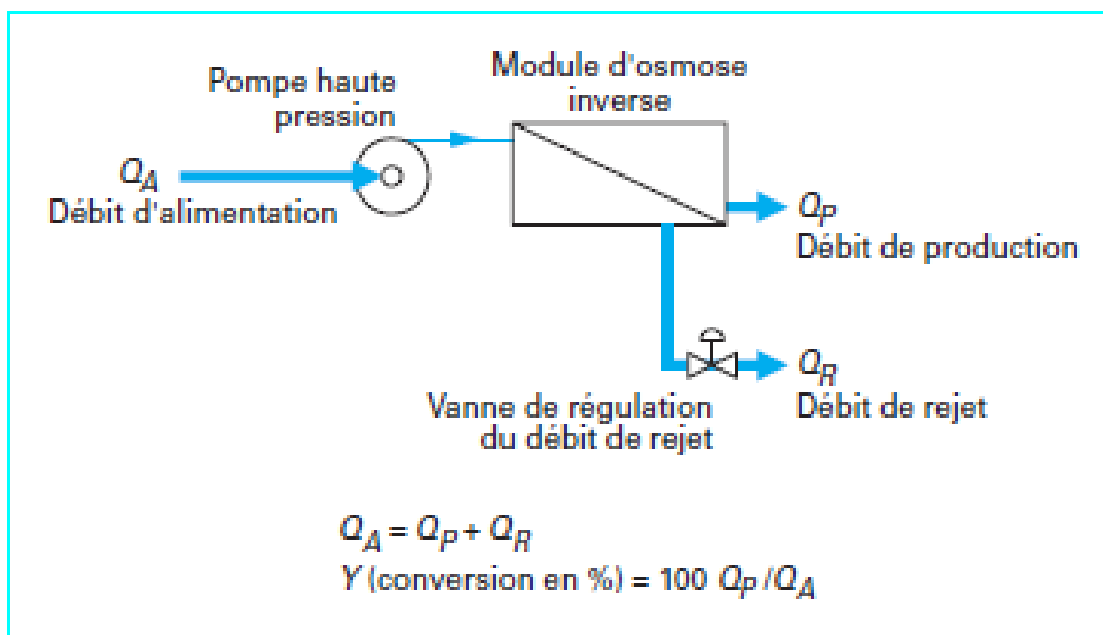


Fig.27: L'évolution du taux de conversion (mois d'avril 2019).

III.3.5.3 Bilan de matière en régime permanent



Le bilan de matière en régime permanent sur le module d'OI donnerait une équivalence entre le flux t'entrée et la somme des flux de production et rejet.

Date	02/04/2019	03/04/2019	04/04/2019	05/04/2019	06/04/2019	07/04/2019	08/04/2019	09/04/2019	10/04/2019
Débit de RO feed (m3/h) (Q0)	1846	1855	1847	1849	1859	1861	1860	1862	1843
salinité de l'eau de mer g/l (S0)	37,66	37,24	37,387	37,331	38,66	36,33	37,35	36,12	36,26
Q0S0	69520,36	69080,2	69053,789	69025,019	71868,94	67610,13	69471	67255,44	66827,18
débit de permia (m3/h) Qp	797	804	799	799	799	813	812	812	799
salinité de permia g/l Sp	0,4285	0,427	0,44	0,45	0,46	0,467	0,4345	0,429	0,4295
Qp*Sp	341,5145	343,308	351,56	359,55	367,54	379,671	352,814	348,348	343,1705
débit de la saumure (m3/h) (Qr)	1049	1051	1048	1045	1047	1048	1048	1050	1044
salinité de la saumure Sr	58,2	58,3	58,6	57,5	57,8	59,1	57,6	58,9	57,2
Qs*Ss	61051,8	61273,3	61412,8	60087,5	60516,6	61936,8	60364,8	61845	59716,8
Qp*Sp + Qs*Ss	61393,3145	61616,608	61764,36	60447,05	60884,14	62316,471	60717,614	62193,348	60059,9705
Accumulation	8127,0455	7463,592	7289,429	8577,969	10984,8	5293,659	8753,386	5062,092	6767,2095

L'application de cette loi de conservation sur différentes périodes du traitement permet de constater le colmatage du module utilisé. En effet, des taux d'accumulation compris entre 5 et 10 kg/m^3 sont constatés en une semaine.

III.3.5.4 Mécanisme diffusionnel

En osmose inverse les transferts de solvant et de soluté se font par solubilisation - diffusion

$J_{solvant}$: Flux massique/solvant

$$J_{solvant} = A. (\Delta P - \Delta \pi)$$

A: Perméabilité

S : surface

ΔP : Différence de pression

$\Delta \pi$: Différence de pression osmotique

$J_{\text{soluté}}$: Flux massique/soluté

$$J_{\text{soluté}} = B \cdot (C_0 - C_p)$$

C_0 = concentration en soluté de l'alimentation.

C_p : Concentration du perméat.

B : perméabilité moyenne de la membrane.

Aucun des 2 modèles, solubilisation-diffusion, n'est validé par les données recueillies auprès de TMM.

III.3.6. Solutions envisagées pour améliorer la résistance au colmatage des membranes

Plusieurs solutions sont envisagées :

III.3.6.1 Développement de membranes à potentiel zéta neutre

Le but est de développer des 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.

III.3.6.2. Amélioration des caractéristiques surfaciques des membranes

Contrairement aux membranes en acétate de cellulose, les membranes en polyamide ont une surface assez rugueuse, facilitant l'accrochage et le dépôt de matières colmatantes, diminuant les forces de cisaillement du flux tangentiel et l'efficacité des lavages.

III.3.6.3 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.

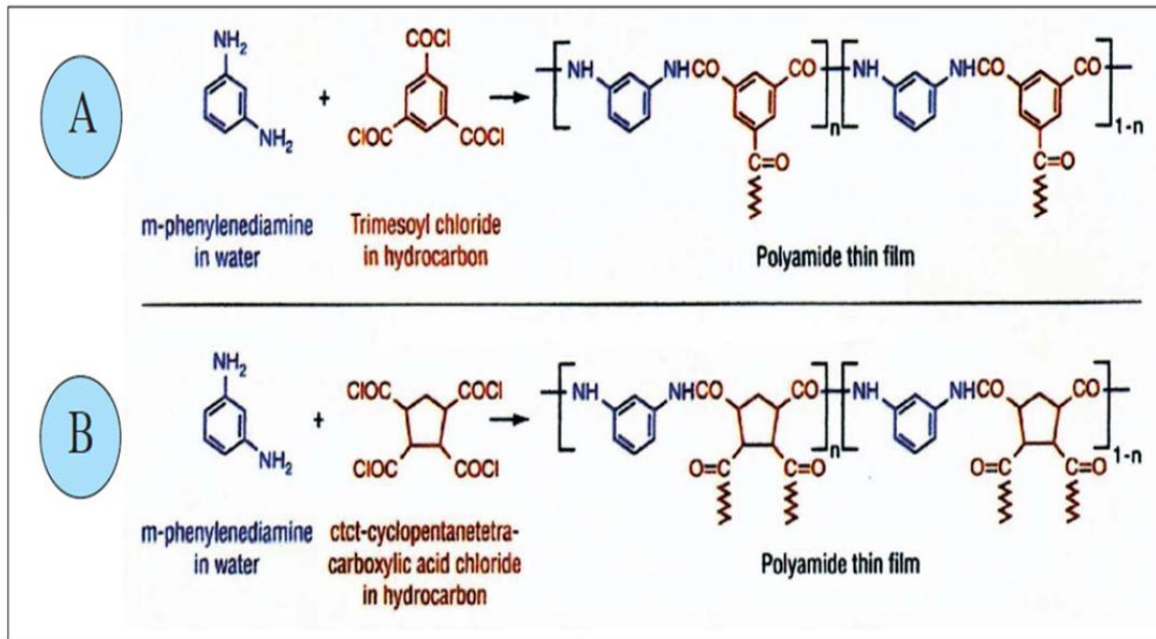


Fig.28: Schéma d'un groupement chimique de membranes ne résistant pas au chlore (A) et de membranes résistant au chlore (B).

III.3.6.4. la 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 semipermeable, 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 générale

Le colmatage des membranes d'osmose inverse est un problème inévitable dans les stations de dessalement et pour rendre aux membranes leurs caractéristique initiales, ils doivent fréquemment subir des procédures de nettoyage afin d'éliminer le colmatage qui découle de la filtration membranaire. Ces nettoyages sont responsables d'une accélération du vieillissement des matériaux qui ont un impact direct sur les performances techniques et économiques des procédés membranaires.

La pérennité de ces derniers passe par l'identification des principaux facteurs responsables du vieillissement et par conséquent du colmatage qui est responsable de ce vieillissement et par la compréhension des mécanismes qui le régissent.

Donc il est très important de bien connaître les facteurs influençant le colmatage afin de développer des stratégies visant à minimiser ce phénomène et ainsi réduire les coûts d'exploitation et d'augmenter la durée de vie des membranes et par la suite des stations de dessalement.

Références Bibliographiques

[1] : **El-Dessouky et Ettouney**, Fundamentals of Salt Water Desalination, Elsevier Science, 1^{ère} édition, 20/03/2002.

[2] : **Farid Tata-Ducru**, Dessalement de l'eau de mer : bilan des dernières avancées technologiques ; bilan économique ; analyse critique en fonction des contextes, Montpellier ; ENGREF ; Limoges ; Office international de l'eau, 2009.

[3] : **David Albouy**, Environment and Energy Economics MARC, RIS, BibTeX Décembre 2011.

[4] : **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, 2^{ème} édition, 2006.

[5] : **Jean-Marc BERLAND, Catherine JUERY** Les procédés membranaires pour le traitement de l'eau, cercle français de l'eau 2^{ème} édition, 2003.

Liste des figures

	Page
Fig. 1: Schéma représentant les étapes principales de dessalement d'eau de mer	5
Fig. 2 : Distillation à simple effet	6
Fig. 3 : Distillation à multiple effet	7
Fig. 4 : Principe général de l'électrodialyse	9
Fig. 5 : Phénomène d'osmose et d'osmose inverse	10
Fig. 6 : Ecoulement du fluide à travers une membrane d'osmose inverse.	10
Fig. 7 : Schéma d'un module plan	11
Fig. 8 : Schéma d'un module tubulaire	12
Fig. 9 : Schéma d'un module spiralé	12
Fig. 10 : Schéma représentant le procédé de distillation solaire	15
Fig. 11 : La station de dessalement d'Magtaa	18
Fig. 12 : Schéma résumant les étapes de fonctionnement suivies au niveau de la station...	19
Fig. 13 : Schéma représentant la prise d'eau.	20
Fig. 14 : Présentation d'un train d'ultrafiltration	22
Fig. 15 : Schéma expliquant le fonctionnement de la membrane de l'UF en	23
Fig. 16 : Pompe à haute pression	25
Fig. 17 : Train d'osmose inverse	26
Fig. 18: Réservoir de contact eau/chlore	28
Fig. 19 : Site de préparation du CO_2	29
Fig. 20: Site de préparation de la chaux.....	29
Fig. 21 : Différentes formes de colmatage	32
Fig. 22 : Les caractéristiques physico-chimiques de l'eau traitée de la station de Magtaa..	36
Fig.23: L'évaluation de la température d'eau (mois de mars) de la station de Magtaa	37
Fig.24: L'évolution du pH d'eau filtrée de la station de Magtaa	38
Fig.25: L'évolution de la pression d'alimentation d'Osmose Inverse	40
Fig.26 : Evolution de la production a une pression constante.	43
Fig.27: L'évolution du taux de conversion (mois d'avril 2019).	44
Fig.28: Schéma d'un groupement chimique de membranes ne résistant pas au chlore (A) et de membranes résistant au chlore (B).	45

Liste des tableaux

Tab. 1 : Composition des eaux de mer	3
Tab. 2: Les paramètres physico-chimiques de la station de Magtaa	35
Tab.3 : Analyse des problèmes possibles d'un système d'OI.	41
Tab.4 : l'évolution de la chute de production a pression constante	43