



Année Universitaire : 2010-2011



Master Sciences et Techniques : Hydrologie de Surface et Qualité des Eaux

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Pour l'Obtention du Diplôme de Master Sciences et Techniques

Etude du procédé de dessalement de l'eau de mer par Osmose Inverse au sein de la SAMIR Optimisation de la clarifloculation

Présenté par:

Kholté Fatima Zohra

Encadré par:

- **Khalil Fouad**, FST - Fès
- **Madhouni Bouchaib**, SAMIR, Mohammedia

Soutenu Le 27 Juin 2011 devant le jury composé de:

- **Mr. ASSOUIK Jamal** (FST)
- **Mr. LHASSANI Abdelhadi** (FST)
- **Mr. CHTIOUI Hicham** (FST)
- **Mr. KHALIL Fouad** (FST)

Stage effectué à : **SAMIR, Mohammedia**





Mémoire de fin d'études pour l'obtention du Diplôme de Master Sciences et Techniques

Nom et prénom: **Kholté Fatima Zohra**

Année Universitaire : **2010/2011**

Titre: **Etude du procédé de dessalement de l'eau de mer par Osmose inverse au sein de la SAMIR « optimisation de la Clarifloculation »**

Résumé

Le présent document s'inscrit dans le cadre du projet de fin d'étude au sein de la Société Anonyme Marocaine de l'Industrie du Raffinage. L'objectif du projet est l'optimisation de la phase de la clarifloculation au sein de l'unité de dessalement d'eau de mer par osmose inverse afin de réduire le potentiel de colmatage de l'eau vis-à-vis des membranes d'osmose et améliorer la qualité de l'eau destinée à alimenter les trains osmotiques au cours du prétraitement.

La démarche adoptée dans ce travail consiste tout d'abord, en une étude de fonctionnement de l'unité d'osmose inverse qui a pour vocation de produire l'eau d'appoint pour les circuits de refroidissement de la raffinerie. Ceci avec un bonus environnemental qui se caractérise par une réduction de la consommation des ressources traditionnelles (eau de ville). La SAMIR qui a un besoin absolu de maîtriser en continu la qualité de l'eau d'appoint trouve dans l'unité d'osmose inverse la sécurisation de l'alimentation en eau osmosée de ses circuits de refroidissement.

Afin de parvenir à établir le niveau d'efficacité du traitement adopté au sein de l'unité, il nous a été primordial de réaliser un suivi et un contrôle qualité de l'eau de mer au cours du procédé dessalement.

Enfin avec l'aide des Essais JAR TEST, une optimisation du traitement physicochimique au niveau de l'étape de la clarifloculation est effectuée. Ceci en testant l'effet de l'emploi d'un adjuvant de coagulation comme la chaux sur le rendement de la turbidité et la qualité de l'eau traitée et permettant ainsi de résoudre un des problèmes de l'unité d'osmose inverse.

Mots clés: clarifloculation, coagulation, osmose inverse, colmatage, jar test, turbidité



INTRODUCTION

Dans un contexte de très fortes pressions environnementales, énergétiques et sociétales incluant la nécessité de la protection de la ressource en eau et la limitation des émissions de gaz à effet de serre, la gestion de l'eau est devenue un enjeu majeur pour l'industrie pétrolière. Ces préoccupations sont largement prises en compte dans les programmes de gestion intégrée de l'eau qui ont été mis en place, à la fois en production et en raffinage. Ces programmes visent à limiter les rejets et les émissions et à minimiser les apports d'eau.

Bien avant son engagement dans un système de management environnemental, SAMIR a toujours été soucieuse des aspects environnementaux relatifs à ses activités. L'effort dans le domaine environnemental est démontré par ses investissements et les projets réalisés.

Dans le cadre du Projet Upgrade de modernisation et de réhabilitation de la raffinerie et sa mise à niveau pour répondre aux nouvelles recommandations en matière de protection de l'environnement, SAMIR a implanté l'unité de dessalement d'eau de mer par osmose inverse pour l'appoint d'eau du circuit de refroidissement fermé des unités de raffinage.

Cette implantation va permettre une économie de 180 m³/h d'eau potable (ce qui est équivalent à la consommation moyenne d'une ville de 50 000 habitants).

Dans le cadre de mon projet de fin d'étude, on a mené une étude visant d'une part, la description du fonctionnement du procédé de dessalement par osmose inverse ainsi que le suivi de contrôle de qualité de l'eau au cours du traitement. D'autre part, et en vue de résoudre le problème de la flottation de la boue que connaît la station, on a réalisé une optimisation de l'étape de la clarifloculation par l'emploi de la chaux considérée comme un adjuvant de coagulation.

Le présent mémoire est composé de cinq parties :

Le premier chapitre est réservé à la présentation de la Société SAMIR. Le second chapitre est une étude bibliographique qui présente tout d'abord l'état de l'art des procédés de dessalement par osmose inverse ainsi qu'une description des différentes filières de prétraitements.

Dans le troisième chapitre, nous nous intéressons à l'étude du fonctionnement de l'unité de dessalement d'eau de mer par osmose inverse au sein de la SAMIR.

Le quatrième chapitre est consacré au travail expérimental qui consiste en un suivi de la qualité de l'eau de mer au cours du procédé de dessalement dans le but d'établir le niveau d'efficacité du traitement.

Dans le but de résoudre le problème de la flottation de la boue que connaît la station. Le cinquième chapitre, fera l'objet d'une part d'une optimisation du traitement physicochimique au niveau de la section du clarifloculateur. L'efficacité du coagulant et du flocculant sur l'élimination des matières en suspension et des matières organiques présentes dans l'eau sera notamment étudié. D'autre part, une étude de l'influence de la chaux sur la coagulationfloculation sera réalisé afin d'évaluer son effet sur la qualité de l'eau traitée, la décantation des floccs formés et sur leur stabilité.



CHAPITRE I

Présentation de la SAMIR

Dans ce chapitre je vais présenter l'organisme d'accueil, en vue de connaître ses activités, ses différents produits, ses différentes unités, ainsi que ses nouveaux projets.

I-Localisation géographique

La Société Anonyme Marocaine de l'Industrie du Raffinage (SAMIR) s'étend sur une superficie de 200 hectares à la zone ouest de la ville Mohammedia à proximité du port dans l'objectif de faciliter la réception du pétrole brut importé. Elle est reliée par un réseau de pipe-line au port pétrolier (distant de 5km) ainsi qu'au dépôt de stockage des sociétés de distribution et à la centrale ONE (Office Nationale d'électricité).



Figure-1-: Localisation de la SAMIR sur la carte géographique

II-Historique et création

La première raffinerie qui a été construite au Maroc est la société chérifienne de pétrole (SCP) en 1929 à Sidi Kacem. Après l'indépendance, cette dernière n'a pas pu satisfaire les besoins énergétiques de plus en plus importants du pays, il a fallu donc construire une deuxième raffinerie plus proche d'un port. C'est ainsi que fut décidée la création de la SAMIR.

Cette dernière a été créée d'une convention signée en 1959 entre l'Etat Marocain représenté par « le bureau des études et des participations industrielles » et l'office italien des hydrocarbures « centre national des hydrocarbures ». Cette raffinerie nouvellement créée a pris la dénomination de « Société Anonyme Marocaine Italienne de raffinage » qui a changé sa raison sociale après la marocanisation de son capital en 1973 pour devenir la « société Anonyme Marocaine de l'Industrie du Raffinage ».

III-Missions de la SAMIR

🔗 Mission économique

La Samir contribue activement au développement économique du pays. Elle crée des richesses, assure la sécurité d'approvisionnement du Maroc en produits pétroliers.

🔗 Mission sociale

La Samir procure des emplois, dispense des formations, œuvre au bien-être de ses salariés et apporte son soutien à des actions humanitaires, sportives et culturelles.

🔗 Mission environnementale

La protection de l'environnement est une des préoccupations majeures de la Samir. Elle veille à ce que ses procédés et ses produits aient le minimum d'impact négatif sur le milieu naturel, et intègre la dimension environnementale parmi les critères qui guident ses choix en matière d'investissement.

IV-Secteurs d'activité

🔗 Activité



L'activité principale de la SAMIR est le raffinage du pétrole .(Outre cette activité de base, la SAMIR est présente aussi dans les domaines des GPL (Gaz de pétrole Liquéfiés) et dans la logistique d'approvisionnement et de distribution grâce à sa participation dans le capital des sociétés SALAM-GAZ (50%), SOMAS (38%) et TSPP (100%).

🔹 Fournisseurs

Le pétrole brut traité à la SAMIR est en totalité importé. Les principaux fournisseurs sont regroupés dans le tableau ci-dessous :

Pays	Société
Arabie Saoudite	Arabian light
Irak	Kirkuk
Iran	Iranien lighth
Russie	Ural

Tableau -1- : Principaux fournisseurs de la SAMIR

🔹 Produits

La SAMIR élabore 10 produits à partir du pétrole brut dont les capacités de production sont variables et relative à l'importance de produit, on trouve principalement : Propane, Butane, Super Sans Plomb, Jet A1, Gasoil 50 ppm (Septembre 2009), Fioul Oil, Huile de Base, Huile finis, Bitumes, Paraffines.

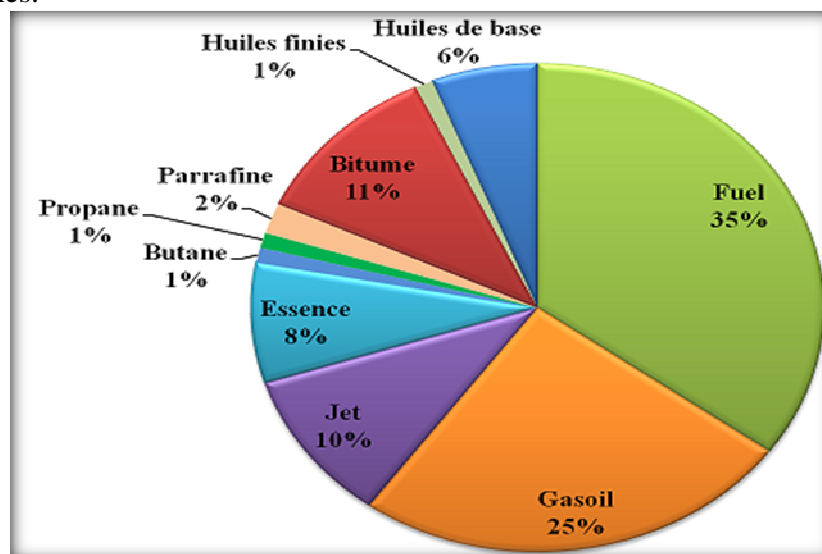


Figure-2-: Répartition de la production de la SAMIR 2008

V-Organigramme de la société

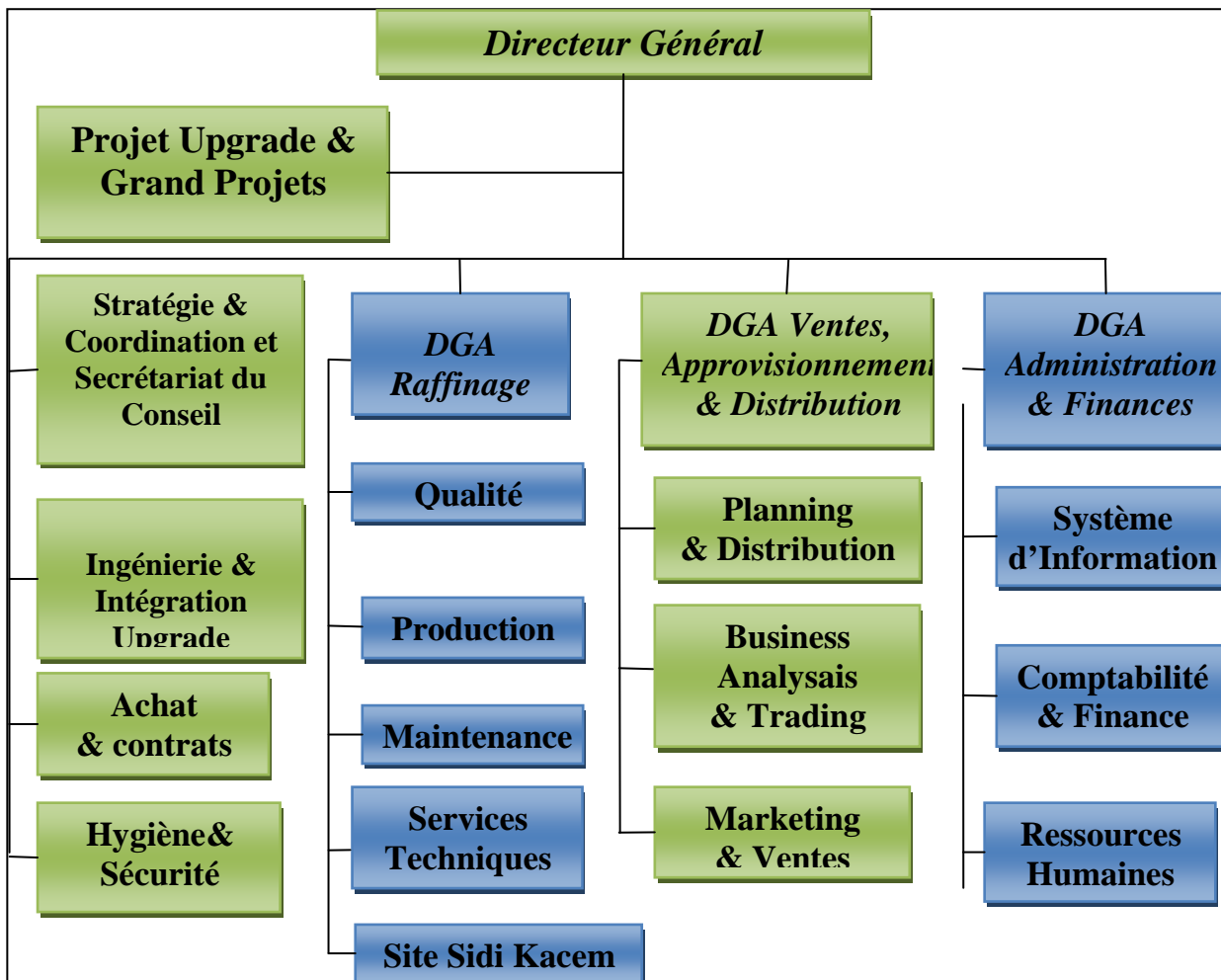


Figure-3-: Organigramme de la SAMIR 2008

VI- Projets en cours de réalisation

🔹 **Projet Upgrade**

Le projet Upgrade, qui a démarré en septembre 2005, fait partie intégrante du programme général de modernisation de la raffinerie de Mohammedia, ayant fait l'objet de la Convention d'Investissement signée le 20 décembre 2004 entre le Gouvernement Marocain et la SAMIR. Le budget global y afférent est estimé à plus de un milliard de Dollars.

🔹 **Topping 4**

La SAMIR et la société Espagnole Tecnicas Reunidas ont signé, mardi 29 juillet 2008, un contrat d'un montant de 17 millions d'Euros (195MDH), portant sur les études d'ingénierie et de conception du projet de remplacement des anciennes unités de distillation (Topping 1 et 2) de la raffinerie de Mohammedia, par une nouvelle unité (Topping 4) d'une capacité annuelle de 4 millions de tonnes. La construction de cette unité a nécessité un budget d'environ 120 millions d'Euro pour être opérationnelle en début 2011.

VII- Description des unités de la SAMIR

Actuellement La raffinerie de Mohammedia contient :

Deux Zones de production

Unités de raffinage zone I qui comprend essentiellement deux colonnes de distillation atmosphérique (Topping I et II).

Unités de raffinage zone II comprend une colonne de distillation atmosphérique (Topping III) .La capacité moyenne globale de la raffinerie actuelle est de 6.500.000 tonnes/an.

Un complexe de fabrication des huiles, bitumes et paraffines.

Installations off sites comprenant :

-Un parc de stockage de pétrole brut, des produits finis et semis fini.

-Deux centrales thermoélectriques pour produire les différentes utilités : vapeur, électricité, eau déminéralisée, air comprimé, etc....

-Unité de dessalement d'eau de mer par osmose inverse pour produire de l'eau destinée à alimenter les circuits de refroidissement.

-Equipements de traitement des eaux résiduaires

La capacité moyenne globale de la raffinerie actuelle est de 6,5 M tonnes/an, Avec le projet de modernisation de la raffinerie, les responsables visent une production annuelle de 8 M tonnes de produits pétroliers.

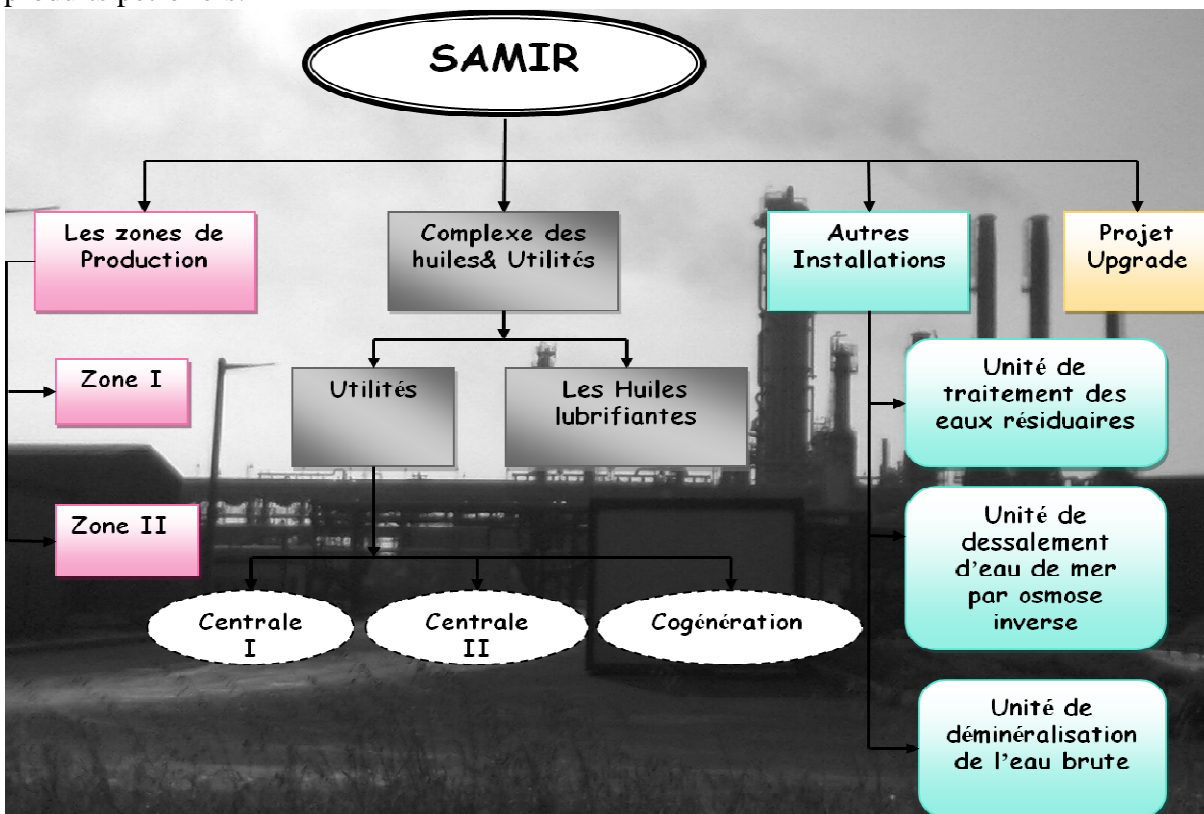


Figure-4: Configuration de la raffinerie SAMIR

Mon travail au sein de la SAMIR est effectué au sein de la station de dessalement d'eau de mer par osmose inverse. Le chapitre III fait l'objet d'une description détaillée de cette dernière.



Chapitre II

Synthèse Bibliographique

L'objectif de ce chapitre est de présenter le procédé de dessalement d'eau de mer, en s'intéressant plus particulièrement au procédé membranaire d'osmose inverse.

Dans un premier temps, la composition de l'eau de mer, mélange complexe d'espèces inorganiques et organiques, est décrite. Puis, le dessalement d'eau de mer par osmose inverse est abordé, en rappelant le principe et les principales limitations de l'osmose inverse.

I-Composition de l'eau de mer

Le terme d'eau de mer regroupe l'eau salée des mers et des océans à la surface de la terre. Elles occupent un volume estimé à 1 340 millions de km³, ce qui représente 97 % de la capacité totale des grands réservoirs d'eau à la surface de la terre. L'existence des sels dans l'eau de mer modifie les caractéristiques de l'eau : par exemple la masse volumique moyenne de l'eau de mer est de $1,03 \times 10^3 \text{ kg.m}^{-3}$. Les paragraphes suivants présentent la composition de l'eau de mer : un ensemble complexe d'espèces inorganiques et organiques.

I-1 Espèces inorganiques

✓ Constituants majeurs

En 1819, Marcet fait analyser des eaux de mer provenant de diverses parties du domaine océanique et remarque que si les spécimens diffèrent les uns des autres par leur teneur globale en sel, ils contiennent tous les mêmes ingrédients, et dans des proportions identiques les uns par rapport aux autres. Des décennies plus tard, Maury (1855) et Dittmar (1884) affirment comme une règle générale que les constituants de l'eau de mer sont aussi constants que ceux de l'atmosphère, hors éléments polluants apportés par l'activité humaine. Cette propriété est évoquée sous l'appellation de « principe de Marcet », tandis qu'en français l'expression « loi de Dittmar » est plus volontiers utilisée. Plus de 92 éléments naturels



ont été analysés et détectés dans l'eau de mer. En pratique, on retient comme constituants principaux ceux qui sont présents en concentration supérieure à 1 mg/kg. Ils sont énumérés dans le tableau 2.

Cations	mg/L	Anions	mg/L
Sodium	11 035	Chlorures	19 841
Magnésium	1330	Sulfates	2769
Calcium	418	Bicarbonates	146
Potassium	397	Bromures	68
Strontium	14	Fluorures	1.4
Salinité totale : 36,047 g/L			

Tableau -2- : Composition standard de l'eau de mer océanique

✓ Éléments traces métalliques

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

Constituant	Concentration ($\times 10^{-3}$ mg.kg $^{-1}$)
Titane Ti	1
Zinc Zn	0.5
Nickel Ni	0.48
Aluminium, Al	0.4
Chrome, Cr	0.3
Cadmium, Cd	0.1
Cuivre, Cu	0.1
Fer, Fe	0.055
Manganèse, Mn	0.03
Plombe, Pb	0.002



Mercure, Hg	0.001
-------------	-------

Tableau-3- : Concentration moyenne des principaux éléments métalliques présents dans une eau de mer (Brown et al 1997)

✓ **Eléments nutritifs**

Le carbone est un élément essentiel à la vie sur terre. Cependant, du fait de la prédominance du dioxyde de carbone parmi les gaz dissous, la disponibilité du carbone dissous n'est généralement pas considérée comme un facteur limite pour l'assimilation biologique, et le carbone n'est donc pas classifié comme un nutriment. Le terme « éléments nutritifs » comprend donc principalement le nitrate (NO_3^-) et l'ammoniac NH_4^+ , le phosphore sous forme phosphate (PO_4^{3-}) et le silicium tel que la silice (SiO_2). Les nutriments sont utilisés par les phytoplanctons, cellules végétales de taille d'un quelques centaine de microns qui dérivent à la surface des océans et photo synthétisent des hydrates de carbone, de l'oxyde de carbone et de l'eau.

Eléments nutritifs	Espèce dissoutes possibles	Concentration (mg. kg^{-1})
Azote	$\text{N}_2, \text{NO}_3^-, \text{NH}_4^+$	11.5
Silicium	Si(OH)_4	2
Phosphore	$\text{HPO}_4^{2-}, \text{PO}_4^{3-}, \text{H}_2\text{PO}_4^-$	0.06

Tableau -4- : Teneurs moyennes en principaux éléments nutritifs dans l'eau de mer.

I-2 Matières organiques

L'océan est le réservoir principal du carbone organique sur terre, qui contient environ 10 g de carbone (Hedges, 1992). Seulement 1% du carbone organique est de la matière organique particulaire. Environ 75 % du carbone organique dissous est de la matière organique dissoute de faible poids moléculaire.

La figure 5 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.

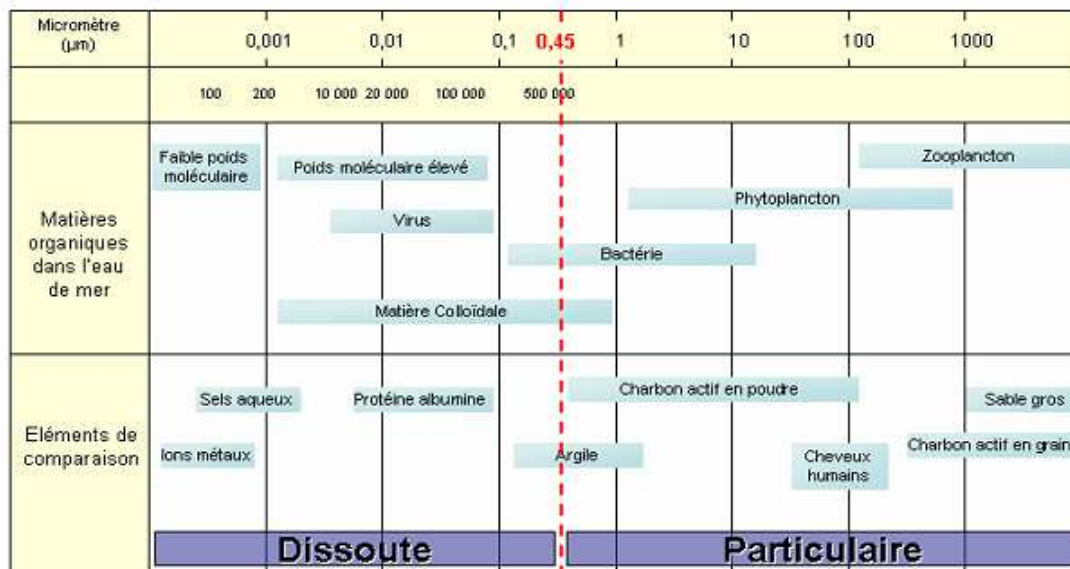


Figure -5- : Schéma de la taille des matières organiques dans l'eau de mer.

✓ **Matières organiques dissoutes**

La matière organique dissoute (MOD) est un mélange complexe de molécules d'origines diverses trouvées dans l'eau de mer. La concentration de chaque molécule est très faible, mais on peut trouver dix milliers de molécules différentes dans l'eau de mer. Grâce au grand volume des océans, ceux-ci sont considérés comme un réservoir majeur des matières organiques non vivantes. Le carbone organique dissous est un facteur important dans le cycle du carbone et la chaîne alimentaire marine. Il influence la pénétration de la lumière, l'échange de gaz à la surface de l'océan, la disponibilité des métaux traces et les nutriments pour les organismes. Le phytoplancton est une source primaire de la MOD.

✓ **Matières organiques particulaires**

Les matières particulaires dans l'eau de mer peuvent être classifiées selon leur taille. Dans l'eau de mer surfacique, la plupart d'entre elles sont d'origine biologique. Les plus petites particules (moins de 1 μm jusqu'à quelques dizaines de μm) se composent de bactéries et de cellules algales, d'autres débris organiques fins, et des particules inorganiques particulièrement des minéraux d'argile et des composés hydratés insolubles tels que $\text{Fe}(\text{OH})_3$. La gamme de taille allant de quelques dizaines à quelques centaines de μm comporte des grands débris et des agglomérats fécaux, produits de l'agrégation biologique.

II-Principales technologies de dessalement d'eau de mer

Les technologies actuelles de dessalement d'eau de mer sont classées en deux catégories, selon le principe appliqué :

- Les procédés thermiques faisant intervenir un changement de phases : la congélation et la distillation.
- Les procédés utilisant des membranes : l'osmose et l'électrodialyse.

Parmi les procédés précités, la distillation et l'osmose inverse sont 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. Les autres techniques n'ont pas connu un essor important dans le domaine à cause de problèmes liés généralement à la consommation d'énergie et à l'importance des investissements qu'ils requièrent.

Quel que soit le procédé de séparation du sel et de l'eau envisagé, toutes les installations de dessalement comportent trois étapes :

- Une prise d'eau de mer avec une pompe et une filtration grossière.
- Un prétraitement avec une filtration plus fine, l'addition de composés biocides et produits antitartre.
- Le procédé de dessalement lui-même.

A l'issue de ces étapes, l'eau de mer est rendue potable ou utilisable industriellement.

II-1 Procédés de distillation

Dans les procédés de distillation, il s'agit de chauffer l'eau de mer pour en vaporiser une partie. La vapeur ainsi produite ne contient pas de sels, il suffit alors de condenser cette vapeur pour obtenir de l'eau douce liquide.

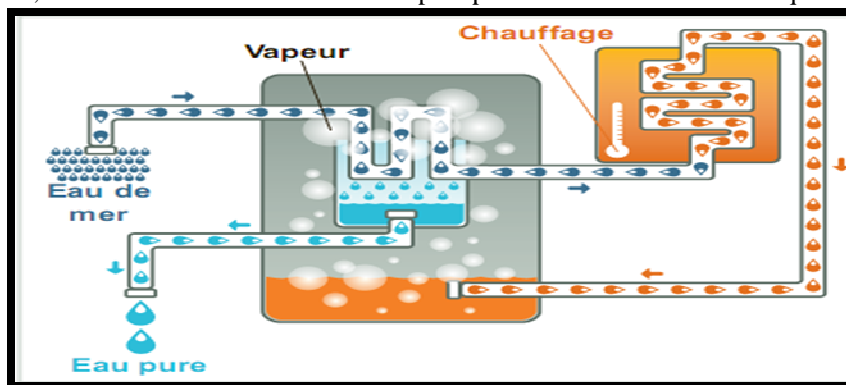


Figure-6- : Le dessalement thermique

Il s'agit en fait d'accélérer le cycle naturel de l'eau. En effet l'eau s'évapore naturellement des océans, la vapeur s'accumule dans les nuages puis l'eau douce retombe sur terre par les précipitations. Ce principe de dessalement très simple a été utilisé dès l'Antiquité pour produire de très faibles quantités d'eau douce sur les bateaux.

L'inconvénient majeur des procédés de distillation est leur consommation énergétique importante liée à la chaleur latente de vaporisation de l'eau. En effet pour transformer un kg d'eau liquide en 1 kg d'eau vapeur à la même

température il faut environ 2250 kilojoules (si le changement d'état se fait à 100°C). Afin de réduire la consommation d'énergie des procédés industriels, des procédés multiples effets qui permettent de réutiliser l'énergie libérée lors de la condensation ont été mis au point.

Deux procédés se partagent le marché du dessalement thermique :

- le procédé de distillation à décharges étagées (Multi-Stage Flash distillation MSF)
- le procédé de distillation à multiples effets (Multi-Effect distillation MED).

II-2 Dessalement d'eau de mer par osmose inverse.

La filtration membranaire est un procédé de séparation des composants d'un fluide. Le rôle de la membrane est d'agir comme une barrière sélective, elle permet de laisser passer certains éléments et d'en retenir d'autres en fonction des propriétés respectives de ces éléments sous l'effet d'une force motrice. Les procédés membranaires barométriques, i.e. à gradient de pression, peuvent être classifiés en fonction de la membrane utilisée et du seuil de coupure en microfiltration (MF), ultrafiltration (UF), nano filtration (NF), et osmose inverse (OI) comme présenté sur la figure.

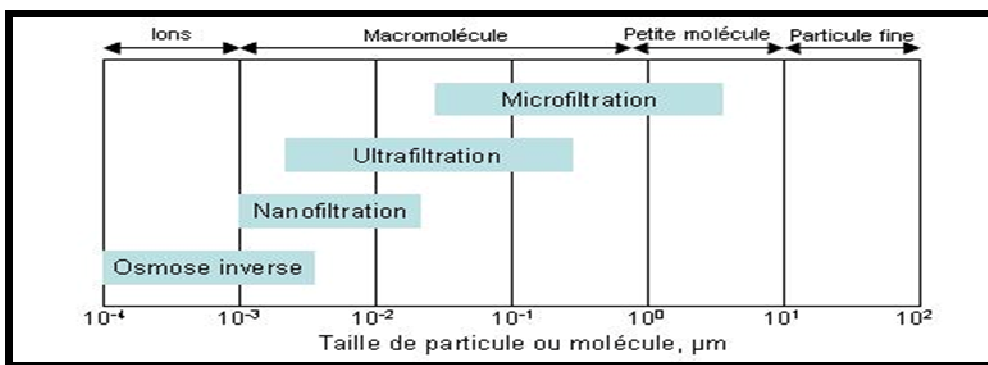


Figure-7- : Classification des procédés barométriques membranaires selon la taille de séparation

Parmi ces procédés, l'osmose inverse est celui adapté à la séparation des ions et donc au dessalement de l'eau.

✓ Principe de l'osmose inverse:

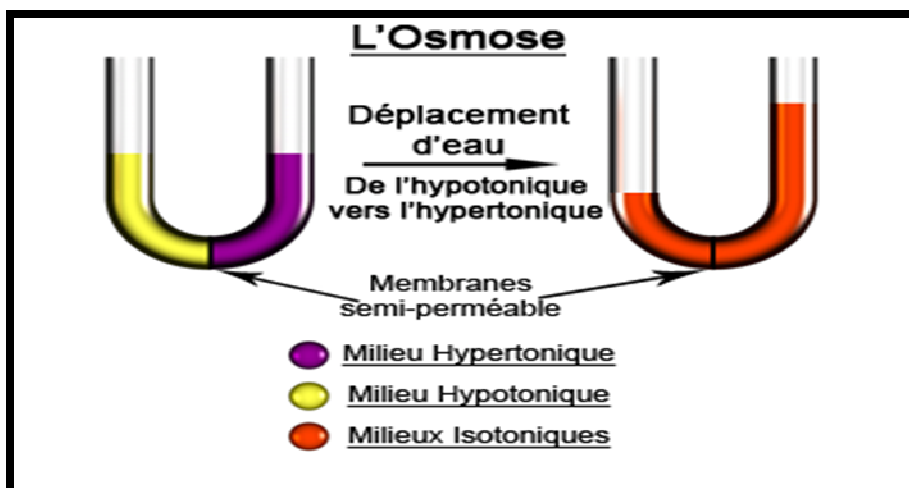


Figure-Principe

8- :

d'osmose.

Phénomène de diffusion à travers une membrane semi-perméable, sous l'action d'un gradient de concentration. Le phénomène d'osmose peut se traduire par un flux d'eau dirigé d'une solution diluée vers une solution concentrée à travers une membrane. En effet considérons deux solutions aqueuses de concentrations différentes et séparées par une membrane perméable. La membrane va laisser passer les molécules d'eau tout en retenant les substances dissoutes, l'eau va diffuser de la solution hypotonique, c'est-à-dire la moins concentrée, vers la solution hypertonique, c'est à dire la plus concentrée.

Le phénomène s'arrête spontanément lorsque la pression de la solution hypotonique atteint sa valeur limite, dite pression osmotique. Le résultat final est une dilution du milieu le plus concentré.

➤ **De l'osmose à l'osmose inverse:**

Pour le phénomène d'osmose. Si on applique progressivement une pression sur le compartiment de la solution la plus concentrée, le flux d'eau qui traverse la membrane va diminuer, puis s'annuler quand la pression appliquée atteindra à ce qui est appelé la pression osmotique. Si on applique une pression supérieure à la pression osmotique, l'eau va traverser la membrane dans le sens inverse du flux osmotique, c'est le phénomène d'osmose inverse.

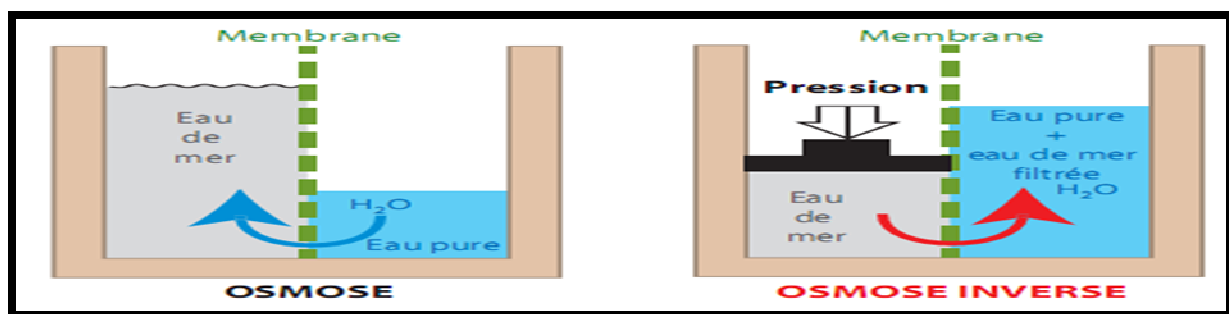


Figure-9- : Principe de l'osmose et de l'osmose inverse

✓ **Pression osmotique**

La pression osmotique peut être calculée par la loi de Van't Hoff qui exprime que la pression osmotique exercée par un soluté est égale à la pression que ce corps aurait exercé dans l'état gazeux parfait dans le même volume (V) et à la même température (T). Si le soluté est dissocié en i ions, la pression osmotique sera i fois supérieure.

La pression osmotique d'une solution est proportionnelle à la concentration en solutés :

$$\Pi = i \cdot C \cdot R \cdot T$$

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)

T : Température absolue (K)

Pour une estimation approximative, la pression osmotique de l'eau de mer à 20°C peut être calculée en supposant que la concentration de NaCl représente la concentration totale des sels présents dans l'eau de mer. La pression osmotique pour une eau de mer de NaCl à 35 g.L-1 ($i = 2$ et $C = 35/58,5$ mol.L-1) est :

$$\Pi = 2 \times (35/58,5) \times 293 \times 0,082 = 28,7\text{bar}$$

✓ **Mécanisme de transfert**



En osmose inverse les transferts de solvant et de soluté se font par solubilisation - diffusion: toutes les espèces moléculaires (soluté et solvant) se dissolvent à travers la membrane et diffusent à l'intérieur de celle-ci comme dans un liquide sous l'action d'un gradient de concentration et de pression. Le transfert ne dépend donc plus de la dimension des particules mais de leur solubilité dans le milieu membranaire. Les séparations sont donc d'origine chimique et sont liées au pouvoir solvant de la membrane.

En absence de colmatage, le flux de solvant à travers la membrane est exprimé par l'équation suivante :

$$J = \frac{\Delta P - \Delta \Pi}{\mu R_m}$$

Avec :

J : Flux d'eau à travers la membrane (L. h-1.m-2)

ΔP : Différence de pression de part et d'autre de la membrane (Pa)

$\Delta \Pi$: Différence de pression osmotique de part et d'autre de la membrane (Pa)

μ : Viscosité dynamique de l'eau (Pa.s)

R_m : Résistance de la membrane (m-1)

➤ Phénomène de polarisation

Les membranes utilisées ayant la propriété d'effectuer des séparations à l'échelle moléculaire ou particulaire, il va y avoir accumulation progressive des espèces (molécules ou particules) arrêtées à la surface de la membrane. C'est le phénomène de polarisation de concentration

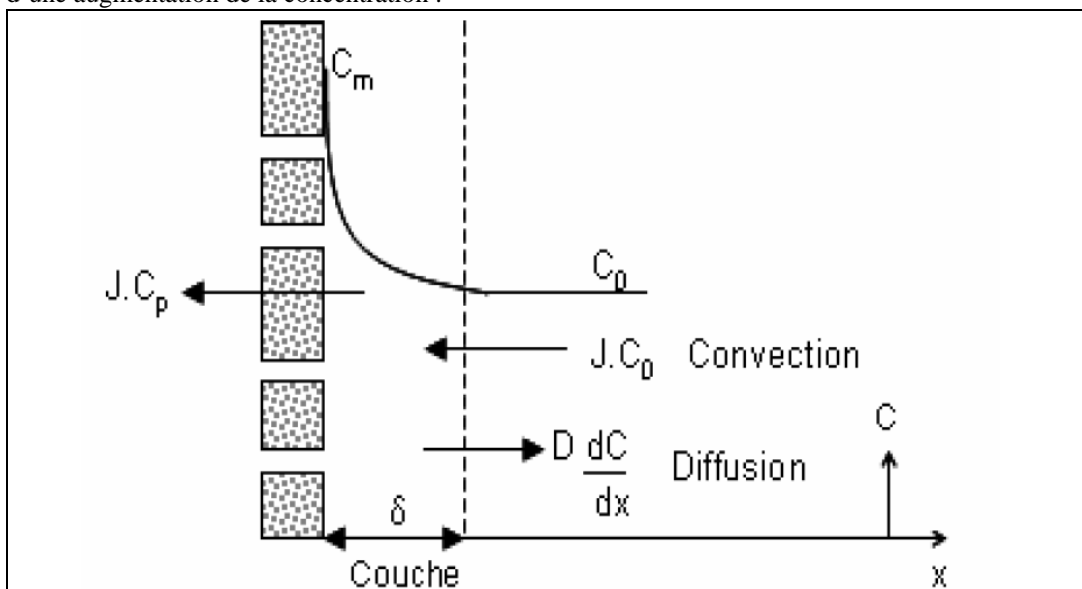
Si l'on appelle C_m la concentration du soluté arrêté de la membrane et C_0 la concentration moyenne du soluté dans la solution, le facteur de polarisation est défini par la relation :

$$\gamma = C_m / C_0$$

Les conséquences du phénomène de polarisation sont :

Diminution du flux de perméat : Une augmentation de la concentration près de la membrane va se traduire par une augmentation de la pression osmotique Π de la solution et une diminution de la pression efficace ($\Delta P - \Delta \Pi$). Le flux de perméat étant directement proportionnel à la pression efficace va donc diminuer. Cet effet est surtout sensible en osmose inverse où les pressions osmotiques jouent un rôle important.

On peut avoir aussi une diminution du flux à cause de la résistance supplémentaire à la filtration provenant des dépôts résultant d'une augmentation de la concentration :



✓ **Membranes d'osmose inverse.**



Les méthodes de séparation membranaire sont un procédé de séparation utilisant comme agent séparant **une membrane** qui est une couche mince de matière. Elle permet l'arrêt ou le passage sélectif de certaines substances dissoutes ou non dans un mélange, entre les deux milieux qu'elle sépare. La partie du mélange retenue par la membrane est appelée concentrât alors que celle qui traverse cette dernière est appelée perméat. La séparation se fait sous l'action d'une force motrice de transfert selon un mécanisme de séparation défini. Les caractéristiques des membranes sont déterminées par deux paramètres : la perméabilité et la sélectivité, selon différents paramètres on peut distinguer différents types de membranes :

■ Selon leur composition, les membranes peuvent être :

-Inorganiques (céramique, verre ou métal), organiques (polymère) ou mixtes (inorganiques et organiques).

-Homogènes (un seul matériau) ou hétérogènes (composites). Les membranes composites sont généralement composées de deux matériaux, le premier garantissant la résistance mécanique de la membrane et le second assurant la perméabilité de cette dernière.

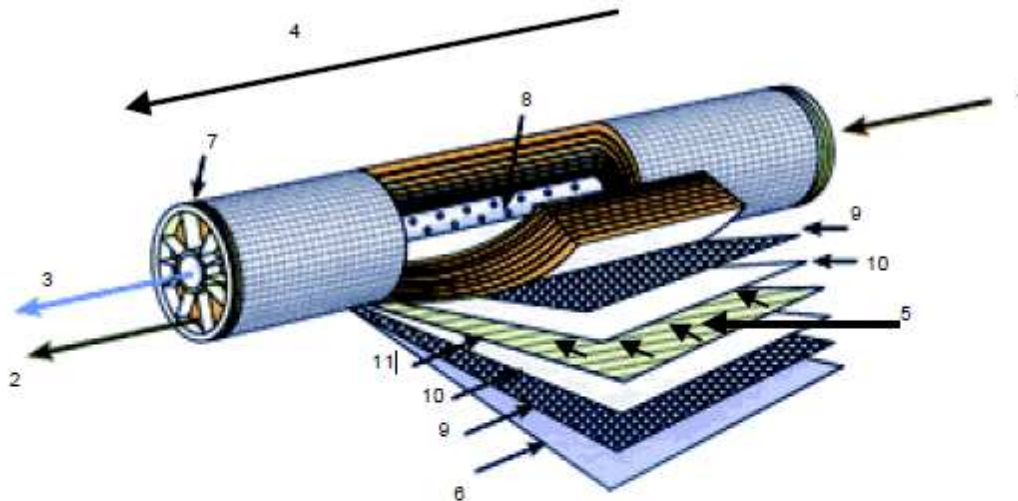
-Neutres ou ionophores : Les membranes ionophores comportent des charges électriques et sont capables d'échanger des ions de signe opposé à leurs charges fixes. On distingue les membranes perméables aux anions, aux cations ou aux deux (membranes amphotères).

■ Selon leur géométrie, les membranes peuvent être planes, tubulaires, spiralées ou en fibres creuses.

■ Selon leur morphologie, les membranes peuvent être :

- Symétriques (isotropes) ou asymétriques (anisotropes).
- Amorphes ou semi-cristallines.
- Denses, poreuses ou granulaires

Les membranes d'osmose inverse les plus fréquemment utilisées en dessalement consistent en des feuilles plates scellées telles des enveloppes et bobinées en spirales.



- 1 Entrée d'eau
- 2 Sortie de concentrat
- 3 Sortie de perméat
- 4 Sens d'écoulement de l'eau brute
- 5 Sens d'écoulement du perméat
- 6 Matériau de protection
- 7 Joint d'étanchéité entre module et enveloppe
- 8 Perforations collectant le perméat
- 9 Espaceur
- 10 Membrane
- 11 Collecteur de perméat

Figure-10-: Structure interne d'une membrane à spirale

✓ Limitations de l'osmose inverse

Nous définissons sous le terme de colmatage l'ensemble des mécanismes qui limitent le flux à travers une membrane. Dans le cas de l'osmose inverse, le phénomène de colmatage peut être classifié en quatre catégories suivantes :

- La précipitation des composés inorganiques sur la membrane (l'entartrage).
- La formation du dépôt par les particules ou des matières organiques sur la membrane.
- La formation du bio film et l'excrétion in situ d'exopolymères sur la membrane (le bio-colmatage).
- L'adsorption dans la membrane.

a. 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 L'augmentation rapide de la vitesse de déposition.

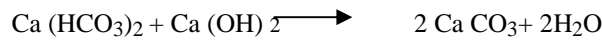
Des sels sursaturés vont précipiter sur la surface de la membrane et construire une couche fine qui bloque le transfert de matière à travers la membrane. L'entartrage a toujours lieu à la surface de la membrane car la concentration des sels est augmentée près de la membrane par la polarisation de concentration.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

L'entartrage peut être éliminé par différents traitements chimiques:

- **Précipitation à la chaux** : ce procédé est employé lorsque la dureté carbonatée est due essentiellement



aux ions Ca^{2+} . En revanche, l'addition de chaux entraîne la précipitation du CaCO_3 avant la membrane suite à la modification du pH.



Cette technique présente des inconvénients inhérents à l'emploi de la chaux et à la quantité de boues produite, mais celles-ci sont facilement déshydratées. Ce procédé permet également de traiter de manière efficace les problèmes de turbidité.

Décarbonatation à l'acide : l'addition d'un acide fort, H_2SO_4 ou HCl , déplace les carbonates sous forme de gaz carbonique.



-Germination ou ensemencement : ce système consiste à provoquer les dépôts sur des germes cristallins que l'on a introduits dans la solution à raison de 10 à 20 g.L^{-1} . Ces germes peuvent être du carbonate de calcium, du sulfate de calcium ou du sulfate de baryum. Les risques de « prise en masse » au cours des arrêts existent et peuvent expliquer le faible développement de ce procédé.

Adoucissement sur résines de l'eau de mer : l'adoucissement de l'eau de mer consiste à remplacer les ions calcium par des ions sodium. Le procédé consiste à faire circuler l'eau de mer sur des résines cationiques acides fort saturées en ion sodium, où se produit un échange ionique.

Inhibiteurs d'entartrage : c'est ce procédé qui est le plus souvent utilisé. Les produits chimiques nommés « tartriques » sont injectés à très faible dose (quelques ppm) dans l'eau d'alimentation. Ils ont la propriété d'éviter ou de minimiser les dépôts qui se font sur la membrane. Les trois principales familles de produits antitartre utilisées dans le dessalement de l'eau de mer sont les poly phosphates, les organophosphonates et les polymères carboxyliques.

b. Colmatage par dépôt

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

Le colmatage particulaire ou colloïdal : des colloïdes peuvent être agglomérés et adhérer à la membrane. Les colloïdes les plus courants sont des argiles de silicate d'aluminium (0,3-1 μm) et des colloïdes de fer. Les microorganismes déposés font aussi partie de ce colmatage.

Le colmatage par la matière organique : la dégradation de la matière organique produit une matrice de macromolécules appelée acide humique. Les matières organiques dans les eaux salées sont principalement des substances humiques à des concentrations entre 0,5 à 20 mg.L^{-1} pour l'eau saumâtre et jusqu'à 100 mg.L^{-1} de COT pour l'eau de mer en surface.

Le bio-colmatage

Toutes les eaux de mer contiennent des microorganismes tels que des bactéries, des algues, des virus, etc. Ces microorganismes excrètent des substances polymériques extracellulaires qui adhèrent à la surface de la membrane et provoquent la formation d'un biofilm. La première étape de la formation du biofilm est probablement l'adsorption des molécules organiques sur la surface de la membrane. Cette couche organique conditionne la surface de la membrane et améliore l'adhésion des microorganismes. L'étape suivante est donc l'adhésion des microorganismes sur la surface de la membrane conditionnée ; cette étape est suivie par l'adhésion microbienne, la croissance des cellules adhérentes et par la suite la production de polymère extracellulaire. Nous avons vu qu'une eau de mer contient tous les éléments nécessaires pour le développement de micro-organismes. En osmose inverse, le colmatage par biofilm est un phénomène majeur.

Resistance due au colmatage

Le colmatage dans ses différentes formes ajoute une résistance au transfert de matière à celle de la membrane et la performance globale diminue significativement.

$$J = \frac{\Delta P - \Delta \Pi}{\mu (R_m + R_c)}$$

Avec :

J : Flux d'eau à travers la membrane ($L \cdot h^{-1} \cdot m^{-2}$).

ΔP : différence de pression de part et d'autre de la membrane (Pa).

$\Delta \Pi$: différence de pression osmotique de part et d'autre de la membrane (Pa).

μ : viscosité dynamique de l'eau (Pa.s).

R_m : résistance due à la membrane (m-1).

R_c : résistance due au colmatage (m-1).

Pour récupérer les performances de la membrane, elle doit être périodiquement nettoyée. Le type de produit de nettoyage dépend largement du type de membrane et de la nature du colmatage.

Le colmatage biologique et organique ne peut pas être facilement éliminé car les microorganismes sont protégés des désinfectants par une couche de gel. Il est donc nécessaire pour une bonne performance de l'OI d'éviter l'apparition du colmatage par un prétraitement efficace.

II-3 Eléments constitutifs d'une unité d'osmose inverse

Les éléments constitutifs d'une unité d'osmose inverse sont schématisés sur la figure-11-.

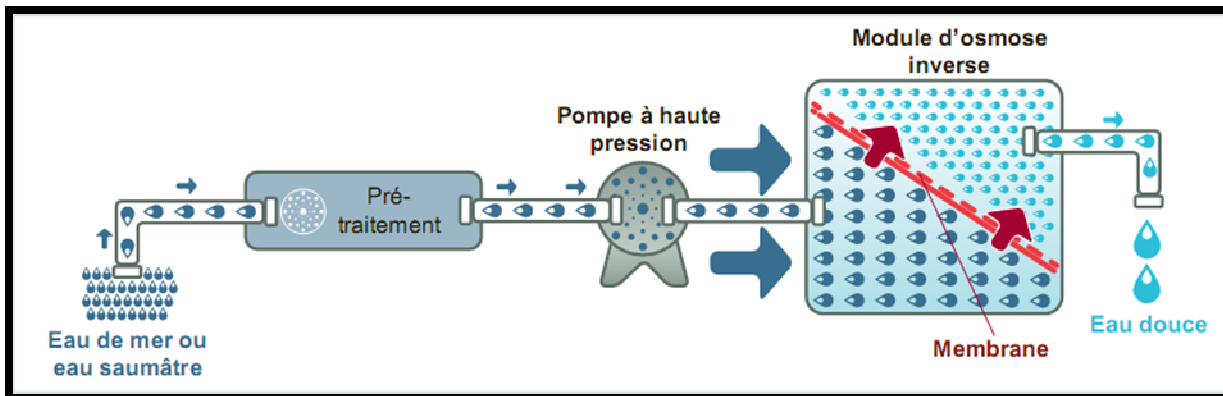


Figure-11- : Composants d'une unité d'osmose inverse

II-4 Prétraitement de l'eau de mer

Le dessalement par osmose inverse nécessite d'abord un prétraitement très poussé de l'eau de mer pour éviter le dépôt de matières en suspension sur les membranes qui conduirait très rapidement à une diminution des débits produits. Parmi les techniques et processus auxquels il fait appel on trouve :

• Traitement Mécanique : dessablage, dégrillage, tamisage

Ils sont appliqués lorsqu'il s'agit d'une simple séparation mécanique solide-liquide, sans introduction de réactifs : les grilles et les tamis arrêtent mécaniquement les corps flottants grossiers d'une dimension supérieure à celle des mailles ou à l'espacement des barreaux. Ils doivent être régulièrement nettoyés.

• Traitement Physico-chimique : coagulation/floculation/décantation.

Avant d'appliquer tout autre traitement y compris les traitements par les procédés membranaires, il faut rendre l'eau apte à recevoir efficacement ces traitements. Cela suppose, en particulier, une eau débarrassée de ses impuretés macroscopiques ou microscopiques : c'est le domaine de la *clarification*, elle se subdivise en trois étapes :

Coagulation

Dans l'eau brute, les colloïdes sont généralement chargés négativement et se repoussent mutuellement. La coagulation consiste à ajouter à l'eau un électrolyte permettant de neutraliser les charges négatives qui sont à l'origine du maintien en suspension stable. On utilise généralement des sels d'un métal trivalent, Fe^{3+} ou Al^{3+} les plus courants sont :

- les sulfates d'aluminium et de fer III : $Al_2(SO_4)_3$ et $Fe_2(SO_4)_3$
- les chlorures d'aluminium et de fer III : $AlCl_3$ et $FeCl_3$
- les mélanges de sulfates et de chaux : $M_2(SO_4)_3 + Ca(OH)_2$
- les produits mixtes Al^{3+}/Fe^{3+}

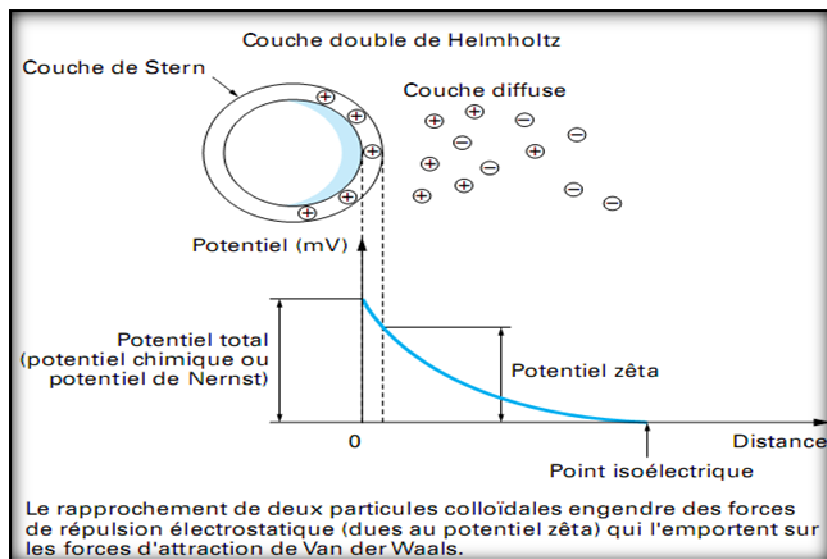


Figure-12-:Évolution du potentiel électro négatif en fonction de l'éloignement de la particule dans le cas de l'eau brute

Les charges positives de l'ion métallique neutralisant les charges négatives du colloïde, les particules peuvent alors se rassembler sous l'effet des forces attractives de Van der Waals et il se produit une précipitation simultanée et conjointe, sous forme d'un gel d'hydroxyde de fer ou d'aluminium, qui adsorbe le colloïde naturel coagulé.

La coagulation est optimale pour une introduction de charges électriques positives correspondant à l'annulation du potentiel zêta, potentiel que l'on mesure en observant la vitesse de déplacement des particules colloïdales sous l'action d'un champ électrique dans un appareil d'électrophorèse dit zétamètre.

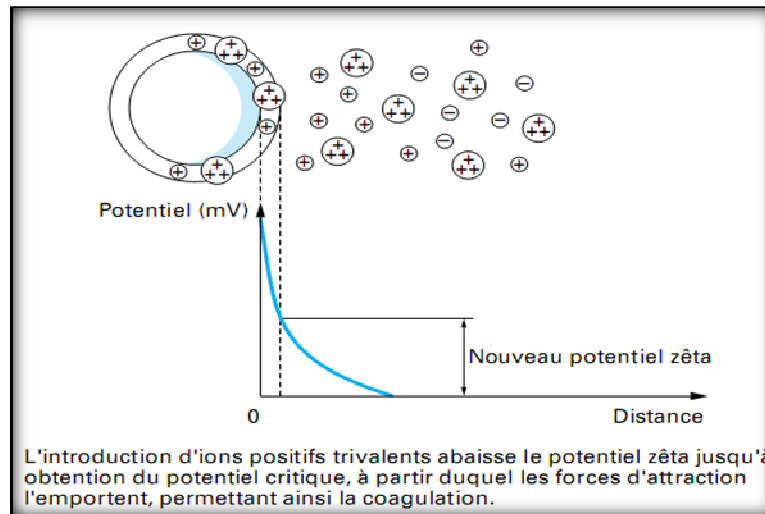


Figure-13-: Eau brute additionnée de coagulant

Floculation

La floculation est l'agglomération de ces particules " déchargées " en microflocs, puis en flocons volumineux et décantables, le floc. La vitesse d'agitation agit sur la probabilité de rencontre des particules. Mais, il n'est pas possible de l'augmenter exagérément.

En effet, si elle est trop élevée, les flocons formés subissent un cisaillement mécanique entraînant leur destruction et ils se reforment rarement eux-mêmes. La floculation est donc favorisée par une vitesse d'agitation assez faible qui amène doucement les flocons à se réunir.

Le floc qui se forme par l'agglomération de plusieurs colloïdes peut ne pas être suffisamment large pour décanter ou pour se déshydrater à la vitesse souhaitée. L'utilisation d'un floculant est alors nécessaire. Il rassemble toutes les particules de floc dans un filet, construisant un pont d'une surface à l'autre et liant chaque particule pour former de vastes agglomérats.

Décantation

Une fois le floc formé, il faut réaliser la séparation solide-liquide qui permettra d'obtenir l'eau clarifiée d'un côté et les boues (particules colloïdales initiales + floc) de l'autre. On utilise en général l'action de la pesanteur sur les particules en suspension et l'on recueille ensuite l'eau claire à la partie supérieure de l'appareil, alors qu'on soutire les boues sédimentées dans la partie inférieure : c'est la décantation.

Types de décantation

Décantation diffuse : c'est la décantation lorsque la concentration en matières est faible, le floc formé est dispersé et chaque flocon décante comme s'il était seul.

Décantation en piston ou « à contact de boues » : Lorsque la concentration en matières est plus élevée, l'abondance du floc crée une décantation d'ensemble, caractérisée par une interface nettement marquée entre la masse boueuse et le liquide surnageant, principalement utilisée dans les décanteurs « à lit de boues » ou « à recirculation de boues », dans lesquels l'eau brute, additionnée de ses réactifs, est mise en contact avec les boues préexistantes. Dans ces décanteurs, l'augmentation de la concentration est utilisée pour améliorer la floculation elle-même.

Décantation lamellaire : réalisée en introduisant des surfaces inclinées dans l'espace de décantation, améliore considérablement les conditions de la décantation, qu'elle soit statique ou accélérée.



La flottation est également un procédé de séparation solide-liquide ou liquide-liquide qui s'applique à des particules dont la masse volumique est inférieure à celle du liquide qui les contient on trouve :

Flottation naturelle : la différence de masse volumique est naturellement suffisante pour la séparation (voir la section sur le déshuilage).

Flottation assistée : elle consiste en une insufflation de bulles d'air au sein de la masse liquide pour améliorer la séparation des particules naturellement flottables.

Flottation provoquée : dans ce cas la masse volumique de la particule est, au départ, supérieure à celle du liquide. Elle est artificiellement réduite grâce à des bulles de gaz (l'air en général). En effet certaines particules solides ou liquides peuvent s'unir à des bulles pour former des attelages " particule-bulle " moins dense que le liquide.

✿ Traitement Physique : Filtration.

Dans la recherche d'une clarification, la filtration est le processus de finition par excellence. Que l'eau soit coagulée, décantée ou « flottée », il faut toujours la filtrer pour que l'élimination des matières insolubles soit aussi complète que possible c'est-à-dire pour que la turbidité soit ramenée au voisinage de zéro.

La filtration est réalisée sur matériaux classiques (sable) ou adsorbants (charbons actifs en grains), ou sur membranes.

La filtration la plus répandue est la **filtration sur lit de sable**, d'autant plus efficace que les grains de sable sont plus fins et la vitesse de l'eau faible. Pour éviter que les couches composées de grains fins se mélangent à celles des grains plus gros, on utilise des filtres bicouche, formés de matériaux de densité différente : une couche d'anthracite au dessus d'une couche de sable fin. La filtration sur lit de sable est efficace, simple et peu coûteuse. C'est pourquoi elle s'est imposée, en raison des énormes volumes d'eau à filtrer.

La filtration sur membranes (microfiltration, ultrafiltration, nano filtration) est de plus en plus utilisée, elle se fonde sur l'utilisation de mince surface percée de pores réguliers de très petites dimensions (les particules de taille de l'ordre de quelques dizaines de μm). Ces membranes peuvent être d'origines organiques ou minérales.



Dans ce chapitre on procède d'une part à la description du procédé de dessalement d'eau de mer par osmose inverse et d'autre part à la description des différentes phases de traitement

Chapitre III

Déscription de l'unité de dessalement de l'eau de mer par osmose inverse

avant que l'eau de mer arrive aux modules d'osmose inverse.

I- Procédé de dessalement d'eau de mer par osmose inverse au sein de la SAMIR.

L'unité d'osmose inverse a été implantée par le groupe TERMOKIMIK CORPORATION dans la raffinerie pour procurer de l'eau d'appoint répondant aux caractéristiques des eaux de refroidissement des unités d'Upgrade, de ce fait L'eau procurée par l'unité de dessalement est à usage industriel.

Doté d'une capacité nominale de 400 m³/h l'unité d'osmose inverse est destinée à produire un débit de 150 m³/h d'eau traitée. Les procédés de production conduisent à des rejets liquides, qui vont être rejeté ensuite par des canalisations à la mer.

Les caractéristiques de l'eau mer à l'entrée l'unité de dessalement figurent dans le tableau suivant :



Tableau-

Analyse	Teneur
Calcium (Ca^{++})	530 mg/l
Magnesium (Mg^{++})	1320 mg/l
Sodium (Na^+)	11000 mg/l
Potassium (K^+)	350 mg/l
Chlorure (Cl^-)	19860 mg/l
Sulphate (SO_4^{--})	2890 mg/l
Bicarbonate (HCO_3^-)	140 mg/l en CaCO_3
Silice (SiO_2)	5.6 mg/l
Fer (Fe)	0.12 mg/l
Oxygène dissous (O_2)	7 mg/l
Total des sels dissous (TDS)	36 150 mg/l
Conductivité à 25°C	55700 $\mu\text{S}/\text{cm}$
MES	103 mg/l
Turbidité	3 NTU
COT	1 mg/l
Huile & graisse	0.35 mg/l
pH	8.2
Température (Min / Norm / Max)	15/20/25 C°

5-:

caractéristiques de l'eau de mer à l'entrée de l'unité d'osmose inverse



La figure suivante est un schéma explicatif des principales étapes du dessalement au sein de la SAMIR.

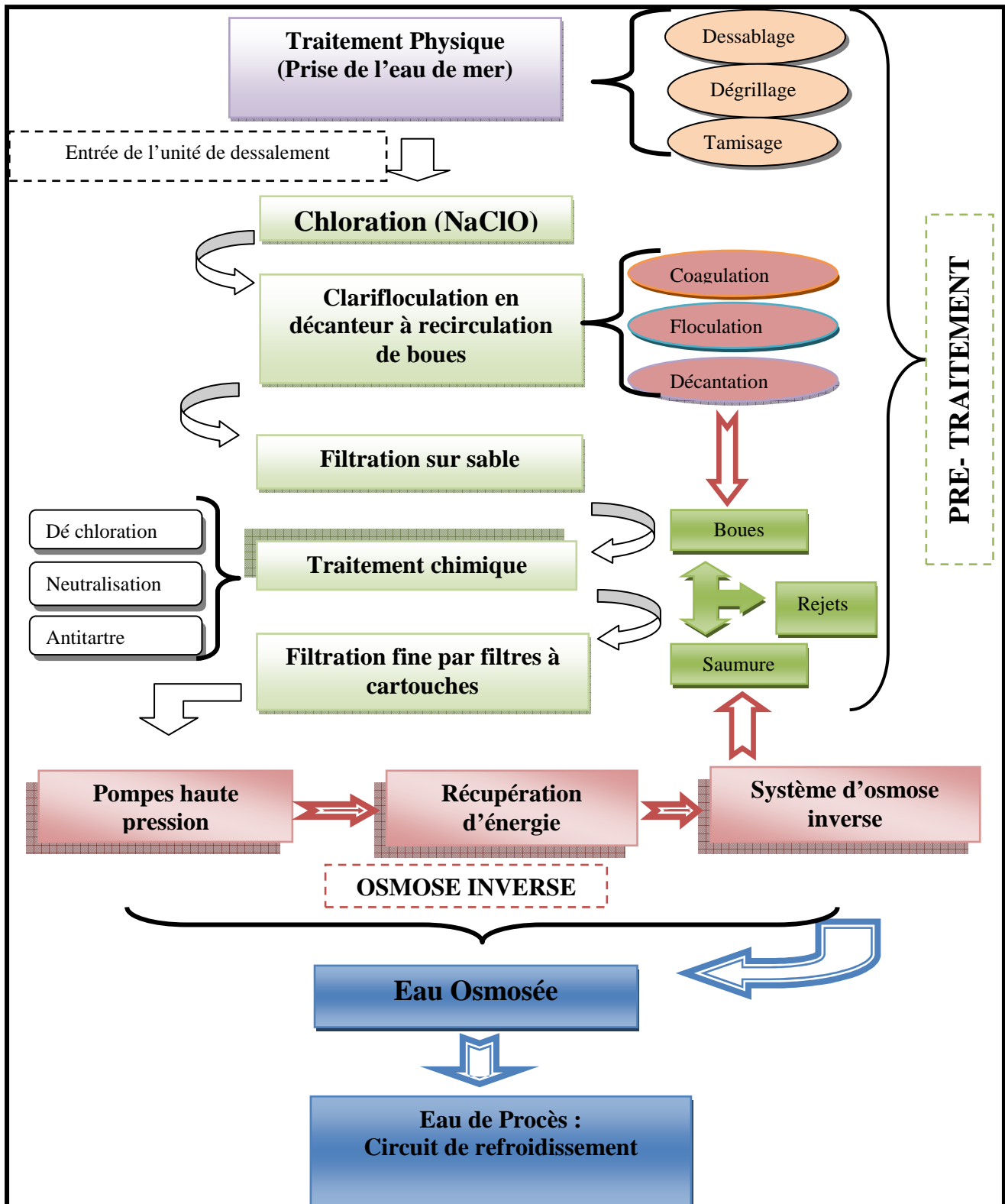


Figure-14- : schéma explicatif du procédé de dessalement d'eau de mer par osmose inverse au sein de la SAMIR

I-1 Prise de l'eau de mer

Cette étape a pour but d'obtenir à l'entrée de l'unité de dessalement une eau de la meilleure qualité possible en particulier du point de vue matières en suspension. L'eau de mer subit alors un traitement préliminaire ou traitement physique.

Il s'agit d'une simple séparation mécanique solide liquide, sans introduction de réactifs. Le traitement concerne les flottants ou les particules entraînées par le courant susceptible de décanter spontanément et rapidement. Leur présence perturbera la clarification ou risquera de provoquer des dommages.

Dans un premier temps, la prise d'eau faite en pleine mer est effectuée en zone profonde. En effet, cette zone est protégée des pollutions et des forts courants et n'est sûrement pas influencée par les rejets. Un casse vague permet de casser la vitesse des vagues qui arrivent.



Figure 15 : Casse vague

✓ Dessablage

Le deuxième passage l'eau de mer se fait dans deux bassins de tranquillisation. Ils ont pour rôle de faire encore baisser la vitesse de l'eau d'une part. D'autre part, effectuer l'opération de dessablage avec deux racleurs.



Figure 16 : Bassin de tranquillisation

Une post désinfection énergétique est faite chaque deux jour par un biocide. Ceci pour éviter le développement ultérieur à partir des formes de reproduction ou de résistance (spores, kystes, etc.) du plancton que contient l'eau de mer et qui ont traversé la précédente étape.

✓ Dégrillage

Le dégrillage consiste à faire passer l'eau de mer au travers d'une grille dont les barreaux, plus ou moins espacés, retiennent les éléments les plus grossiers.

Le but de l'opération de dégrillage est d'éviter :

-Le colmatage des pompes de relevage et l'accumulation de déchets non biodégradables (plastiques, poisson, papiers, objets divers...) sur les ouvrages.

-Le colmatage des canalisations de transfert.

Les déchets solides retenus sont ensuite pressés, essorés et stockés dans une benne.

Figure17 :
Dégrilleur



✓ Tamissage

Le tamisage fin mécaniquement étrangers de

supérieure à 1mm pouvant perturber le fonctionnement des installations. Quatre filtres rotatifs séparent l'eau des grains de sable existant. Après passage dans les tamis, l'eau de mer est évacuée vers l'unité d'osmose inverse.

consiste à retenir tous les petits corps dimension

I-2 Prétraitement de l'eau brut

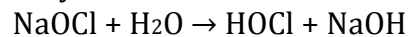
Le prétraitement à une importance prédominante tant en ce qui concerne les qualités physicochimiques organiques et microbiologiques de l'eau dessalée qu'en ce qui concerne la longévité des membranes d'osmose inverse. Dès son arrivée à l'entrée de la station de dessalement, l'eau de mer subit différents étapes de prétraitement.

I-2.1 Chloration

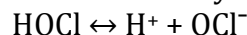
L'eau de mer contient divers micro-organismes, bactéries, protozoaires qui pourraient contribuer à la formation de bio film sur la surface de la membrane. La chloration est donc nécessaire pour désinfecter l'eau de mer et éviter la croissance biologique qui Cause le bio colmatage de la membrane.

Au sein de la station, le chlore est ajouté sous la forme d'hypochlorite de sodium (NaClO) à 12-13% par poids à une concentration de 3 ppm. L'injection se fait à l'entrée de la section du clarifloculateur.

L'hypochlorite de sodium est hydrolysé sous la forme d'acide hypochloreux (HOCl).



Dans l'eau, l'acide hypochloreux se dissocie en ions hydrogène (H⁺) et hypochlorite (OCl⁻).



La somme de, NaOCl, HOCl et OCl⁻constituera le chlore résiduel libre Cl₂ qui sera présent dans l'eau de mer à la sortie du clarifloculateur.

I-2.2 Clarifloculation

A pour but de faire sédimenter les solides très fins ou colloïdaux de l'eau de mer. La clarifloculation regroupe trois processus élémentaires. Une coagulation suivie d'une

floculation puis une décantation. Ces trois opérations s'effectuent ensemble dans la même section appelée : le Clariflocualteur.

Cette technologie est basée sur le principe de décantation associé à un traitement chimique qui est celui de la coagulation-floculation.

Figure 18 :
Clariflocualteur



Principe de fonctionnement du CLARIFLOCULATEUR de la station.

Précédé d'une étape de coagulation floculation, le clariflocualteur est caractérisé par un décanteur lamellaire à recirculation de boues dont le rôle est de permettre une amélioration de la capture des MES, une meilleure floculation et un lestage du floc.

Au sein de la station, le procédé de la clarifloculation fonctionne en trois étapes:

Coagulation

Exécutée en ajoutant à l'eau de mer le sel métallique qui est le chlorure ferrique **FeCl₃** à 40% par poids à une concentration de 15 ppm. L'hydrolyse de cet agent coagulant dans l'eau, libère des ions métalliques multivalents qui agissent dans deux sens :

Leur charge positive (Fe³⁺) neutralise la charge de la surface négative des colloïdes, et par conséquent leur tendance de la répulsion.

Réagissent avec l'eau alcaline pour former des hydroxydes de fer Fe(OH)₃ légèrement solubles qui précipitent.

Le résultat final est la formation d'une grande quantité de micro-flocs.

Floculation

Cette réaction est réalisée en deux temps :

Dans un premier lieu par l'apport du floculant qui est le POLYELECTROLYTE. Ce dernier est un polymère synthétique anionique injecté à une concentration de 2 ppm. En raison de son très haut poids moléculaire et sa charge ionique, il permet de rassembler les particules déstabilisées. L'injection du floculant est associé à un brassage rapide.

La deuxième étape est la maturation du floc associé à un brassage plus lent. Le résultat est la formation des flocs, qui ont tendance à entrer en collision entre eux et avec les colloïdes du résidu. On aura ainsi une agglomération des flocs qui vont être déposés au fond du clariflocualteur.

De ce fait on note la présence de deux zones plus ou moins distinctes dans le clariflocualteur.

Une zone de réaction : équipée à sa partie supérieure d'une turbine qui fait circuler l'eau vers la zone de décantation, les boues qui se déposent dans cette dernière reviennent par

circulation induite dans la chambre de mélange. L'enrichissement en boue qui en résulte permet une floculation rapide et la formation d'un précipité dense.

Une zone de décantation : équipée cette fois-ci d'un dispositif de raclage de boues, ce racleur permet un épaissement des boues en excès qui sont suffisamment concentrée pour être envoyées directement vers la filière de déshydratation de la raffinerie.

Décantation

Elle se fait Par sédimentation des floccs au sein du décanteur lamellaire, l'eau clarifiée est récupérée par des goulottes de récupérations des eaux décantées et envoyée vers le bassin d'eau de mer clarifiée.



Figure 19 : Goulottes de récupération des eaux clarifiées

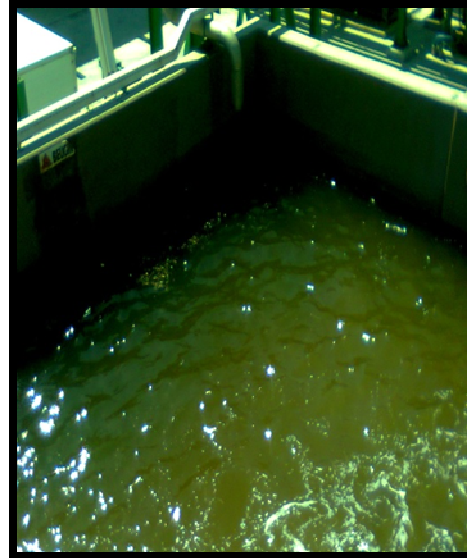


Figure 20 : Bassin d'eau clarifiée

La filtration est la barrière ultime et obligatoire de la filière de traitement des eaux dans la majeure partie des cas. Elle a pour but d'obtenir une clarification poussée de l'eau par l'élimination des dernières particules en suspension et des coliformes qui n'ont pas pu être retenues par le décanteur. Le choix de la granulométrie du milieu filtrant (hauteur de la couche et la vitesse de filtration) joue un rôle fondamental dans l'efficacité de ce procédé.

Deux actions fondamentales sont effectuées successivement en filtration :

- Produire une eau propre en retenant les impuretés.
- Laver les filtres en chassant les impuretés sans perdre ou détériorer le milieu filtrant.

La filtration est donc une opération cyclique alternant des phases de production et des phases de lavage.

Le système de filtration adopté au sein de la station d'étude s'effectue grâce à un montage en parallèle en une ligne de quatre filtres à base de matériaux inertes. Ce sont L'antracite, le sable blanc et le sable rouge. Les quatre filtres partagent le débit d'alimentation (c-t-d 100 m³/h pour chaque filtre) et possèdent une vitesse de filtration de 8 à 10.6 m/h.

Les fonds supports des couches granuleuses sont constitués de plaques à bosselures dont les têtes crépinés sont logés dans la couche du sable rouge afin de récupérer l'eau clarifiée à la sortie de chaque filtre.

Les filtres entrent en mode de lavage selon les conditions suivantes:

- Différence de pression : lorsque la différence de pression arrive à une valeur de 1 Bar, le filtre entre automatiquement en séquence de lavage.
- Fin de cycle : lorsque le volume de l'eau traitée a travers le filtre atteint $V=2400\text{m}^3$ automatiquement le filtre entre en séquence de lavage.



Figure 21 : Filtres à sables

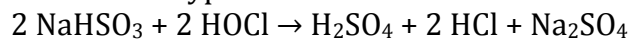
I-2.4 Traitement chimique

Après filtration à sable, et juste à l'entrée des filtres à cartouches trois injections chimiques sont appliquées sur l'eau de mer clarifiée. Ces injections qui ont chacune un rôle spécifique font partie du prétraitement chimique.

Déchloration

La réduction du chlore résiduel libre se fait par addition de bisulfite de sodium NaHSO_3 à 32,5 % par poids, qui agit comme un désactivant pour le chlore afin de ne pas endommager les membranes d'osmose inverse. En même temps, il acidifie légèrement l'eau d'apport.

Le bisulfite de sodium réduit l'acide hypochloreux :



Un analyseur électrochimique a été mis sur site pour la mesure en continu du potentiel redox reflétant la teneur en chlore.

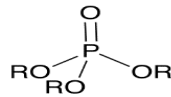
Neutralisation

Le pH de l'eau brute est ajustée à 6 par une vaccination à l'acide sulfurique H_2SO_4 à 98 % par poids afin d'éviter la formation de dépôts de carbonate de calcium qui peuvent endommager les membranes.

Dosage anti incrustant

Cet équipement est nécessaire pour éviter la précipitation de sels incrustants à savoir le calcium, le magnésium, le strontium et le baryum, qui produisent une rapide obstruction des membranes et par conséquent une diminution du débit d'eau.

Pour ce fait On utilise l'anti scalant à une concentration de 5ppm composé à base des composés organophosphoriques, en particulier des acides carboxyliques organophosphoriques (R-COOH) et des phosphates, qui ont comme formule brute :



Sa présence retarde la réaction entre le Mg (magnésium) et le Calcium (Ca). En effet, il peut jouer le rôle d'un inhibiteur de corrosion. C'est un biocide, qui fait un film le long des surfaces métalliques, ce qui empêche la formation de la structure cristalline des tartres.

I-2.5 Filtres à cartouches

La section inclut trois filtres fonctionnant en parallèle. Le débit d'alimentation ($400 \text{ m}^3/\text{h}$) est donc mis en commun entre eux de telle manière que chaque filtre cartouche traite un tiers ($133 \text{ m}^3/\text{h}$) de tout le débit qui arrive.

Les solides en suspension les plus fins qui ont échappé à la filtration à sable tendent à pénétrer dans la couche en polypropylène qui constitue la cartouche filtrante utilisée à la station et sont capturées à l'intérieure de cette dernière.

Chaque filtre à cartouche se compose d'un récipient sous pression équipé de 68 cartouches, celles-ci sont logées dans un corps cylindrique et montées sur une plaque de compression.

Un émetteur de différence de pression dont la valeur évalue et contrôle le degré d'encrassement des cartouches, est placé au niveau de la section. Il permet ainsi de surveiller leur épuisement progressif causé par l'accumulation des matières en suspension sur les couches du polypropylène.

Quand la différence de pression augmente pour atteindre un seuil de 1 bar, cela indique qu'il est nécessaire de procéder au changement des cartouches. L'eau de mer clarifiée produite par les filtres à cartouches est employée ensuite pour alimenter les chaînes d'osmose inverse.

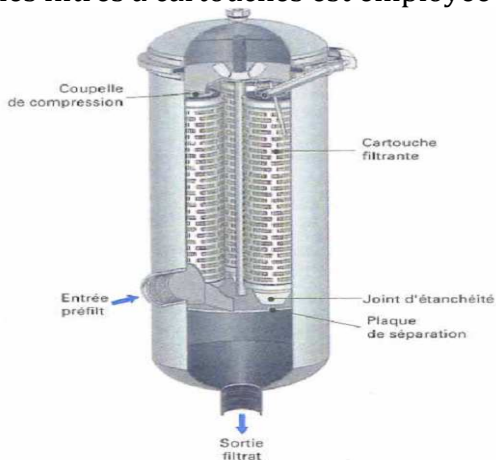


Figure 22 : Schéma d'un filtre à cartouche



Figure 23 : Filtres à cartouches de la station

L'eau prétraitee arrive au systeme d'osmose inverse dans le but de réduire sa saumure. L'unité de dessalement de la SAMIR comporte deux étages d'osmose inverse, chaque étage comprend 3 trains A/B/C, D/E/F. Le premier étage renferme 72 tubes de pression, le second 24 tubes, le tube de pression abrite 7 modules spiralés en polyamides. Le perméat du premier étage alimente le deuxième étage, quand au concentrât (la saumure) il est rejeté vers la mer sans aucune répercussion sur l'environnement.

I-3.1 Premier étage d'osmose inverse



Le premier étage d'osmose inverse comporte trois trains A/B/C fonctionnant en parallèle, traitant l'eau clarifiée et filtrée. Le tableau suivant présente les performances du premier étage d'osmose inverse.

Trains installés/ trains de fonctionnement	3/2
Configuration des trains	Un seul passage
Nombre de tubes de pression par train	24
Nombre de membrane par tube de pression	7
Nombre de membranes par train	168
Nombre total des membranes installées	504
Débit d'alimentation m ³ /h	208
Débit de perméat m ³ /h	83.3
Débit de concentrât m ³ /h	125

Chaque train d'osmose inverse est alimenté par un système de pompage de haute pression qui reçoit l'eau filtrée. Ce dernier est équipé d'un retour de concentrât.

L'énergie hydraulique du concentrât est utilisée comme index de surpression. C'est-à-dire comme une pression de reprise pour un turbo chargeur qui représente le système de récupération de l'énergie utilisé dans la station. Le rôle du turbo chargeur étant d'augmenter la pression à l'entrée des chaînes d'osmose inverse du deuxième étage.

Les modules d'osmose inverse utilisés sont les membranes DOW FILMTEC spiralés conçues pour permettre au système d'osmose inverse d'offrir le plus bas coût de fonctionnement. Ceci en optimisant la consommation d'énergie, la productivité du système ainsi que le flux d'exploitation.

Le tableau-7- regroupe les caractéristiques des membranes ainsi que leurs conditions d'exploitation exigées :

Type	Polyamide thin film composite
surface active (m ²)	37
Diamètre (inch)	7.9
Longueur (inch)	40
Pression maximum de fonctionnement (kg/cm ²)	84
Température maximum de fonctionnement °C	45
Débit maximum du perméat m ³ /d	34
Minimum rejet des sels %	99.55

Maximum SDI de flux d'alimentation	5
Ph admissible	2-11
Concentration en chlore mg Cl ₂ /l	<0.1
Perte de charge par tube kg/cm ²	1

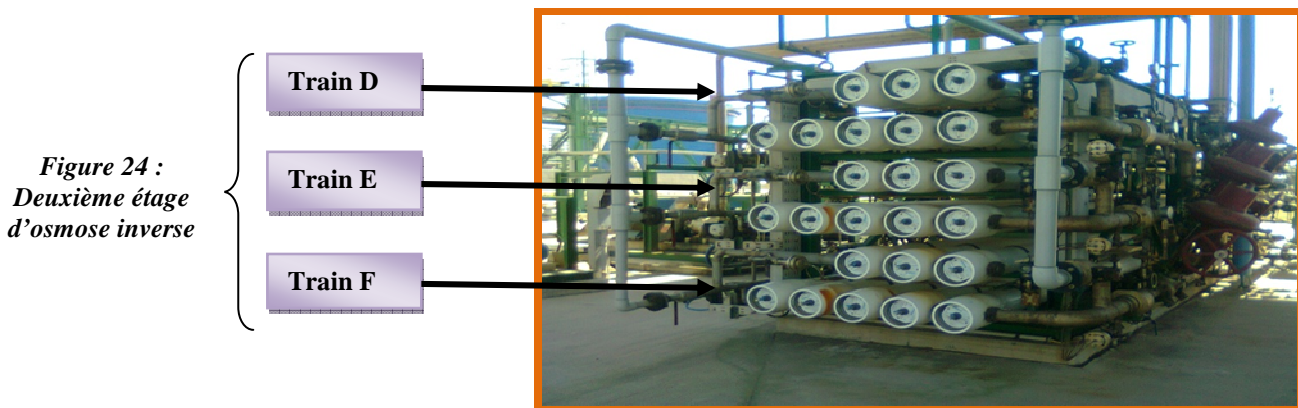
Après passage par les membranes, un analyseur de conductivité est mis en place pour avoir un contrôle continu du perméat du premier étage produit donc:

- Si la conductivité <750μS/cm : L'eau produite par le premier étage d'osmose inverse (perméat) est envoyée à un réservoir appelé bac intermédiaire.
- Si la conductivité >750μS/cm : l'analyse de la conductivité n'est pas conforme. Cette eau est donc directement recyclée vers le bassin d'eau clarifiée.

Le perméat du premier étage collectée dans le bac intermédiaire et ayant une conductivité inférieure à 750μS/cm est ensuite véhiculée pour alimenter le deuxième étage d'osmose inverse.

I-3.2 Deuxième étage d'osmose inverse

Le deuxième étage d'osmose inverse contient aussi trois trains fonctionnant en parallèle D/E/F. Chaque train est alimenté par une pompe Haute pression à partir du bac de stockage intermédiaire.



Les tableaux ci-dessous résument les performances du deuxième étage d'osmose inverse ainsi que les caractéristiques de ses membranes.

Trains installés/ trains de fonctionnement	3/2	
Configuration des trains	Double passage	
	Premier passage	Deuxième passage
Nombre de tubes de pression par train	5	3
Nombre de membranes par tube de pression	7	7
Nombre de membranes par train	35	21
Nombre total des membranes installées	168	



Débit d'alimentation (par train)	m ³ /h	83
Débit de perméat (par train)	m ³ /h	75
Débit de concentrât (par train)	m ³ /h	8.3

Tableau-9- : Caractéristiques des membranes d'osmose inverse du deuxième étage

Type	Polyamide thin film composite
surface active (m ²)	41
Diamètre (inch)	7.9
Longueur (inch)	40
Pression maximum de fonctionnement (kg/cm ²)	42
Température maximum de fonctionnement °C	45
Débit maximum du perméat m ³ /d	48
Minimum rejet des sels %	99.00
Maximum SDI de flux d'alimentation	5
PH admissible	2-11
Concentration en chlore mg Cl ₂ /l	<0.1
Perte de charge par tube kg/cm ²	1

Au niveau de cet étage aussi, le contrôle continu de la conductivité sur site est réalisé à l'aide des analyseurs de conductivité qui sont mis en place à la sortie de chaque train d'osmose inverse. On note:

- Si la conductivité du perméat est >25µS/cm, le perméat produit est recyclé vers le bac de stockage intermédiaire.
- Si la conductivité du perméat est <25µS/cm, une vanne s'ouvre afin d'envoyer le perméat produit vers le bac de stockage de l'eau osmosée.

Signalons que la vanne de décharge de concentrât qui résulte de cette étape s'ouvre vers le bassin d'eau de lavage des filtres multi média.

Finalement, les caractéristiques de l'eau osmosée produite sont présentées dans le tableau suivant:

Tableau-10- : Caractéristiques de l'eau osmosée



Calcium (Ca^{++})	< 5 mg/l en CaCO_3
Magnesium (Mg^{++})	< 5 mg/l en CaCO_3
Sodium (Na^+)	< 50 mg/l
Potassium (K^+)	< 10 mg/l
Chlorure (Cl^-)	< 50 mg/l en CaCO_3
Sulphate (SO_4^{--})	< 10 mg/l
Bicarbonate (HCO_3^-)	< 2 mg/l en CaCO_3
Silice (SiO_2)	< 0,05 mg/l
Fer (Fe)	< 0,1 mg/l
Turbidity	< 0.1NTU
pH	6,0 +- 1
Total des sels dissous (TDS)	3,2 6,3 12,5 mg/l
Temperature	15 20 25 °C

Chapitre IV

Suivi et contrôle de la qualité des eaux au cours du procédé de dessalement par osmose inverse



I. Introduction

Dans le présent chapitre, je vais essayer de donner une idée générale sur les différents paramètres contrôlés au cours du procédé de dessalement d'eau de mer depuis l'entrée du clarifloculateur jusqu'à la sortie de l'eau des membranes d'osmose inverse.

Ensuite, et dans le but d'établir le niveau d'efficacité du traitement adopté au sein de l'unité d'osmose inverse, nous allons étudier l'évolution des différents paramètres d'une phase à l'autre.

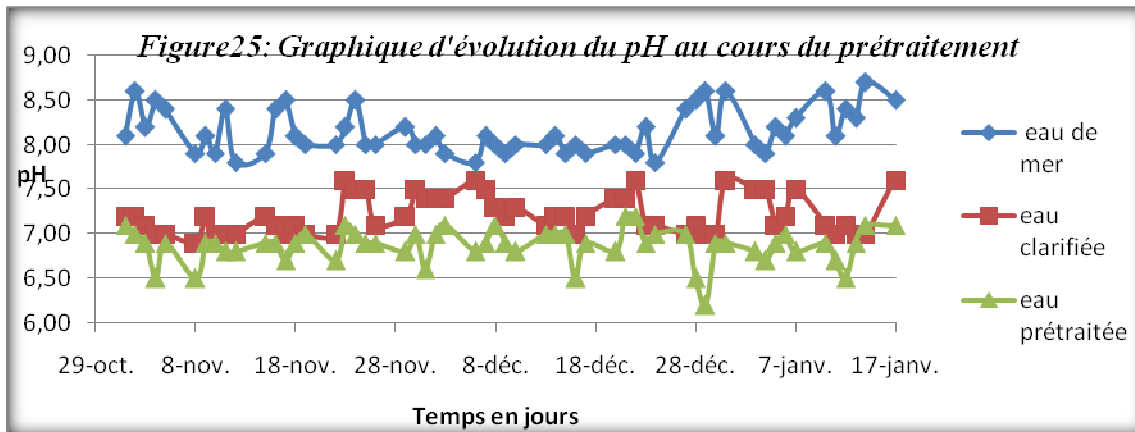
II. Suivi et contrôle de la qualité de l'eau traitée au cours du dessalement par osmose inverse.

Pendant le traitement de l'eau de mer par osmose inverse, et à travers les différentes phases, le contrôle des paramètres physiques et chimiques de l'eau est crucial. En effet, il contribue à donner une idée générale sur la qualité des eaux pendant chaque étape de traitement.

II-1. Variation du pH au cours des différentes filières de traitement.

La qualité d'une eau et son pH sont souvent mentionnés dans une même phrase. Le pH donne une indication de l'acidité d'une substance. Il est déterminé à partir de la quantité d'ions d'hydrogène libre (H^+) et d'ions OH^- contenus dans la substance. Le pH est un facteur important dans le traitement de l'eau car certains procédés nécessitent d'être réalisés avec un pH spécifique pour être efficace.

Le graphique ci-dessous montre l'évolution du pH au cours de différentes sections du traitement conventionnel en fonction du temps. Débutant par le pH de l'eau de mer à l'entrée du clarifloculateur jusqu'à son arrivée aux membranes d'osmose inverse.



La figure 25 montre que le pH de l'eau de mer qui alimente la station de dessalement est alcalin sa valeur est presque constante elle varie entre 7.5 et 9.0.

En comparant le pH de l'eau de mer avec le pH de l'eau clarifiée, on remarque une diminution du pH qui est dû probablement au caractère acide engendré par le chlorure ferrique injecté dans l'étape de la coagulation au niveau du clarifloculateur.

Cette diminution atteint le pH neutre à la sortie des filtres à cartouches où a leur niveau (entrée) s'effectue l'injection de l'acide sulfurique. Le rôle de ce dernier est de modérer le coefficient du pH à 6 à l'entrée des membranes d'osmose inverse. Cette modération est réalisée en neutralisant l'excès du chlore libre issu de l'injection de l'hypochlorite de sodium faite au début du traitement de clarification.

Après passage de l'eau prétraité dans les trains d'osmose inverse un pH acide des eaux osmosées qui varie entre $5 < \text{pH} < 7$ est constaté.

II-2 Evolution de la turbidité et de la matière en suspension.

La turbidité permet de mesurer l'opacification d'un liquide. Cette dernière est due à la présence de matières solides en suspension. Ce sont les matières fines minérales ou organiques insoluble visible à l'œil nu. De ce fait la teneur en MES sera proportionnelle à la valeur de la turbidité.

Dans notre station d'étude, la chaîne de prétraitement est adaptée aux caractéristiques de l'eau de mer afin de réduire de façon significative La turbidité et la quantité de matières en suspension (MES). En effet la turbidité doit être inférieure à 0,1 à l'arrivée des membranes d'osmose inverse afin de limiter la vitesse d'encrassement et le colmatage de celles-ci.

Les figures 26 et 27 illustrent successivement la variation de la turbidité et de des MES au cours de chaque phase de prétraitement en fonction du temps.

Figure 26: Diagramme de variation de la Turbidité durant les phases de prétraitement

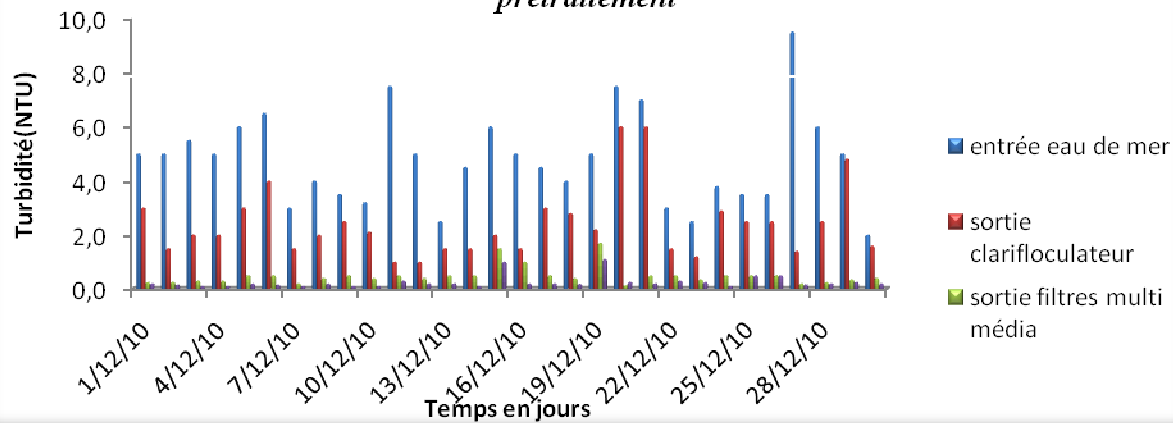
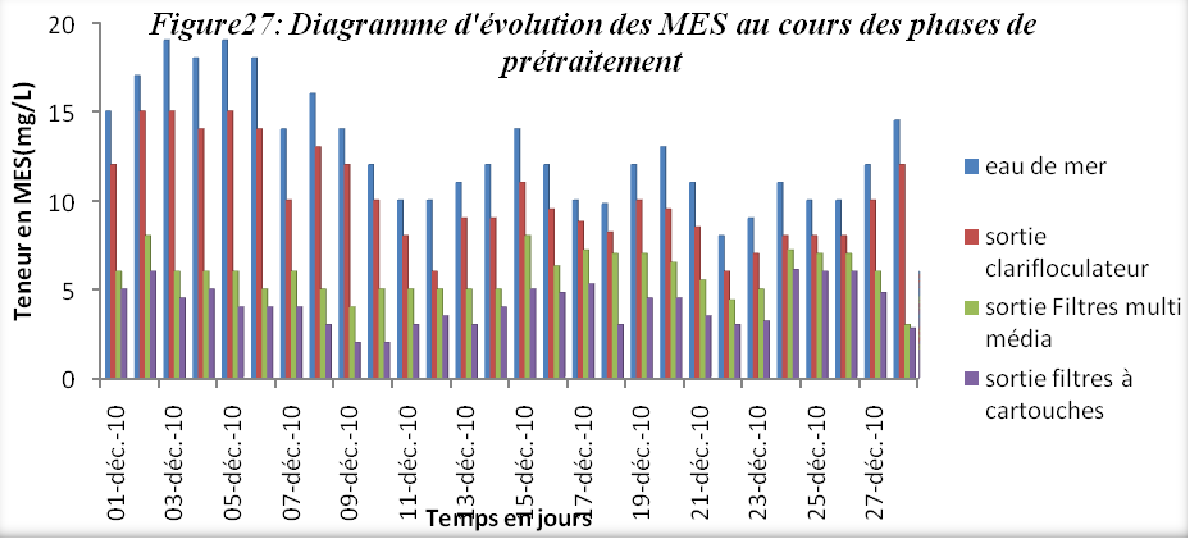


Figure 27: Diagramme d'évolution des MES au cours des phases de prétraitement

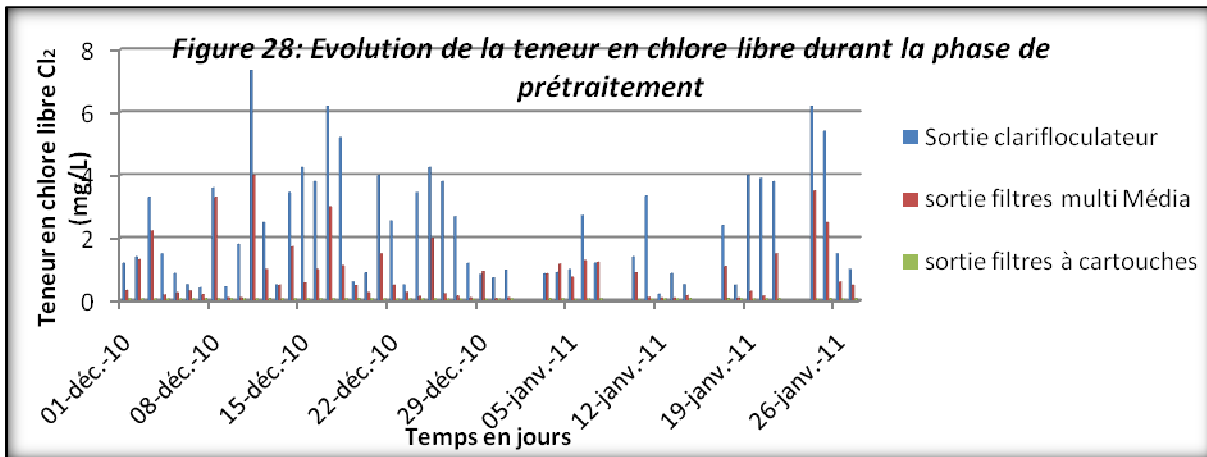


D'après les deux diagrammes on constate que les deux paramètres (turbidité et MES) varient en parallèle. En effet on constate que la concentration des MES de l'eau de mer connaît une diminution importante au cours des différentes phases du prétraitement.

De même on note que la turbidité de l'eau de mer change au cours du temps et atteint des valeurs proches de 0 lors de l'arrivée aux membranes d'osmose inverse.

II-3 Evolution de la teneur en chlore libre Cl₂ au cours du prétraitement

Le diagramme suivant illustre la variation de la teneur en chlore libre Cl₂ durant les différentes filières de prétraitement.



L'allure générale du diagramme indique une augmentation de la teneur en chlore résiduel libre après l'ajout d'hypochlorite de sodium et dès son entrée à la section du clarifloculateur.

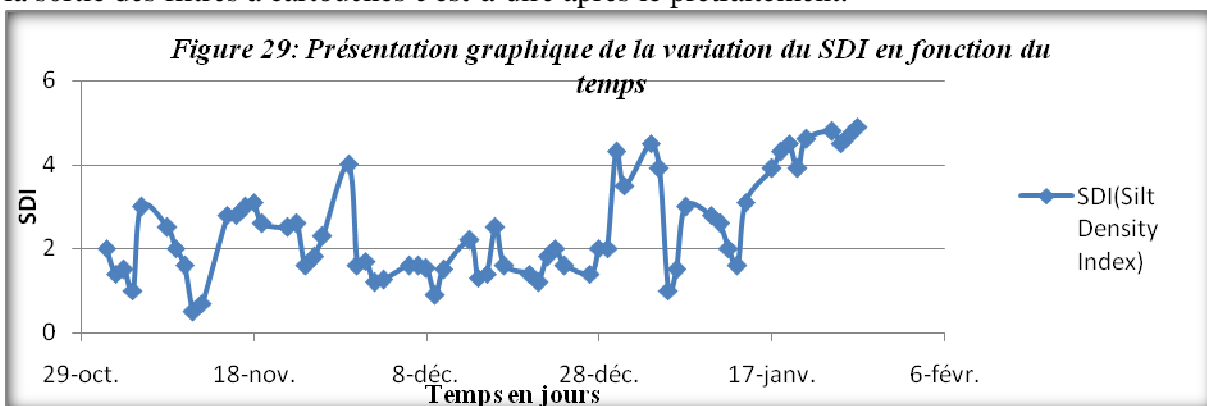
Le passage à travers les filtres à sable (filtres multimédia) engendre une diminution de la teneur en Cl_2 . Ceci peut être expliqué par le pouvoir de déchloration réalisé par l'action catalytique du charbon actif au cours de laquelle le chlore réagit avec la surface du carbone. $Cl_2 \rightarrow Cl^-$

Au niveau de l'entrée des filtres à cartouches l'injection de bisulfite de sodium qui a pour but d'effectuer une déchloration fait abaisser la valeur Cl_2 de au voisinage de 0.07 mg/l. Cette dernière valeur est recommandée à l'entrée des membranes.

II-4 Variation du pouvoir encrassant de l'eau SDI.

Parmi les principaux objectifs du prétraitement du procédé de dessalement c'est de réduire autant que possible le pouvoir encrassant de l'eau de mer et ramener le SDI (Silt Density Index) à une valeur inférieure à 5 lors de l'arrivée de l'eau prétraité aux membranes d'osmose inverse, cette Valeur est requise pour l'osmose d'eau de mer et se lie à la garantie de bon fonctionnement des membranes d'osmose inverse.

Le graphique suivant représente la variation du SDI de l'eau de mer en fonction du temps mesuré à la sortie des filtres à cartouches c'est-à-dire après le prétraitement.



On note que la valeur de l'indice de colmatage ne dépasse pas la norme celle de 5 durant les deux premiers mois alors qu'on observe une augmentation de l'indice du SDI pendant le mois de Janvier. Cette augmentation est due à un dysfonctionnement au niveau du prétraitement.

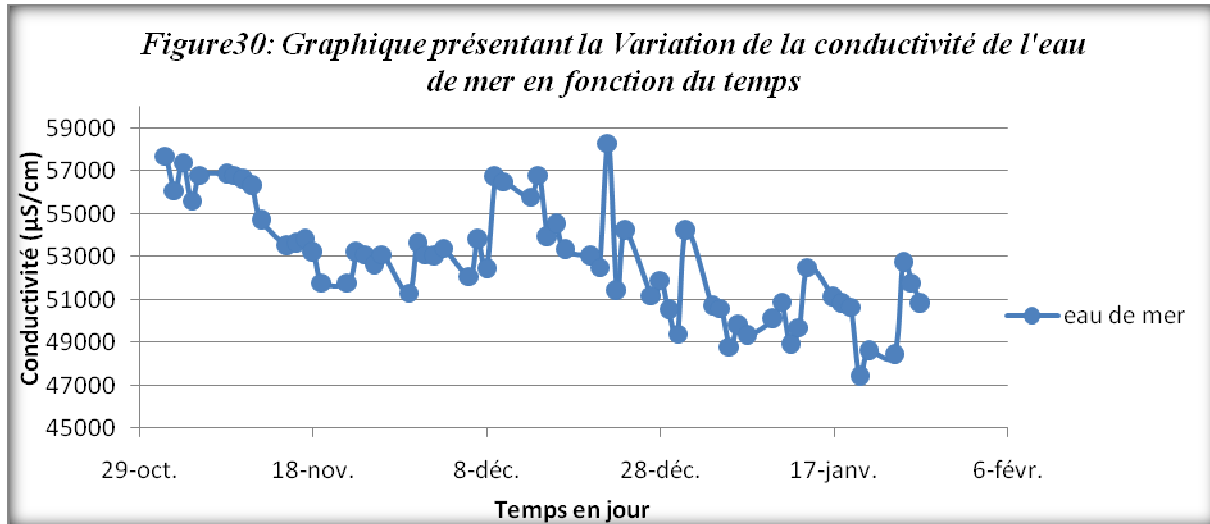
II-5 Conductivité de l'eau de mer à l'entrée de l'unité de dessalement.

La conductivité électrique d'une eau correspond à la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1cm^2 de surface et séparées l'une de l'autre de 1cm. L'unité de conductivité est micro siemens par centimètre ($\mu\text{S}/\text{cm}$).



La conductivité électrique traduit la minéralisation totale de l'eau. Sa valeur varie en fonction de la température et sa mesure permet de déceler immédiatement une variation de la composition de l'eau.

La courbe de la figure 30 montre une stabilité de la conductivité de l'eau de mer à l'entrée de l'unité d'osmose inverse.



II-6 Evolution de la conductivité après passage par les membranes d'osmose inverse.

Le suivi est effectué pour une durée de deux mois (Novembre et Décembre 2010). Durant le contrôle du paramètre de la conductivité des perméats produits, les valeurs étaient toujours conformes aux normes spécifiques de l'unité qu'il soit du premier étage ou du deuxième. La valeur de la conductivité était toujours inférieure à $750\mu\text{S}/\text{cm}$ pour le perméat du premier étage, alors que pour le perméat du deuxième étage les valeurs de la conductivité ne dépassaient pas les $25\mu\text{S}/\text{cm}$. Les graphiques suivants montrent la variation de la conductivité du perméat au niveau de chaque étage d'osmose inverse.

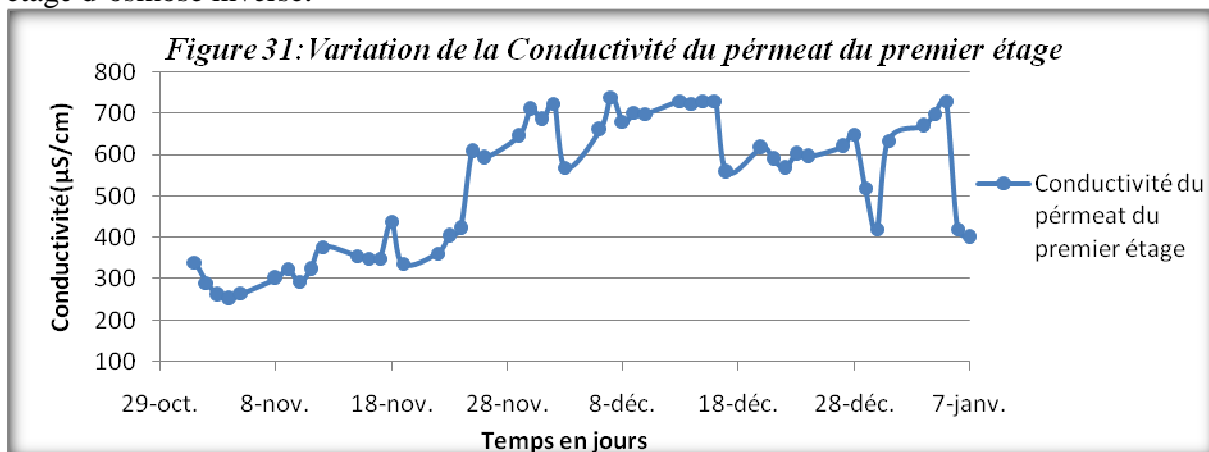


Figure 32: Variation de la Conductivité du p rmeat du 2  me étage

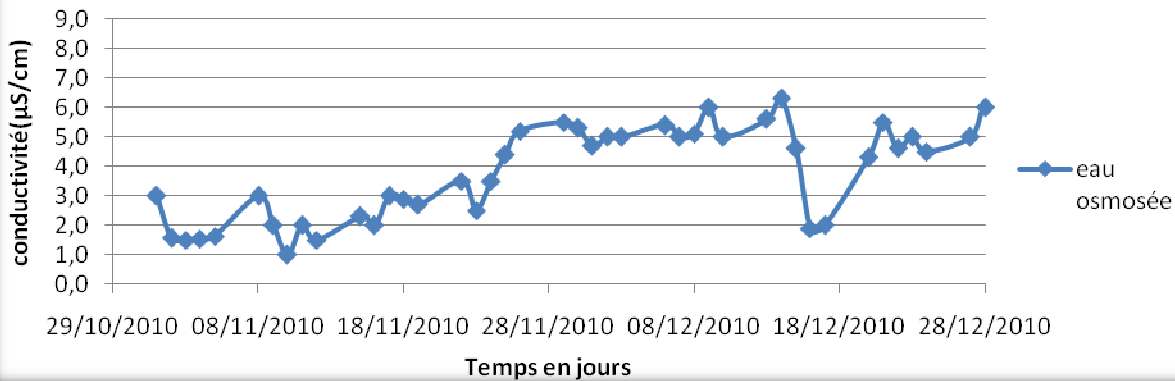
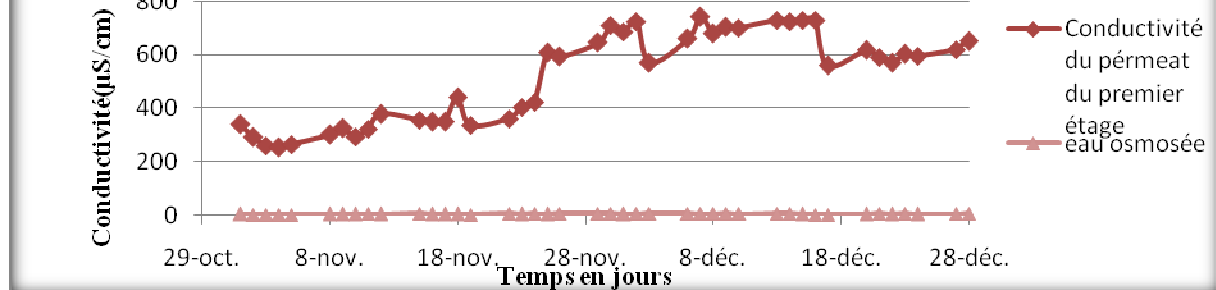


Figure 33: Variation de la conductiv t  au cours du traitement par osmose inverse



Après passage par les trains osmotiques, la conductiv t  de l’eau de mer diminue fortement. Elle passe d’une valeur de conductiv t  de 50 000  S/cm qui caractérise l’eau de mer océanique pour atteindre des valeurs de conductiv t  inférieure à 25 S/cm. La qualité de l’eau osmosée produite reflète l’efficacité du système d’osmose inverse pendant cette période de traitement.

II-7 Les paramètres de surveillance de la performance des trains osmotiques.

Ces paramètres permettent d’illustrer les performances de la station de dessalement après une certaine durée de fonctionnement.

Trois critères reflètent le comportement des modules et révèlent la productivité des membranes. Ils sont contrôlés durant le fonctionnement des chaînes d’osmose inverse, on note :

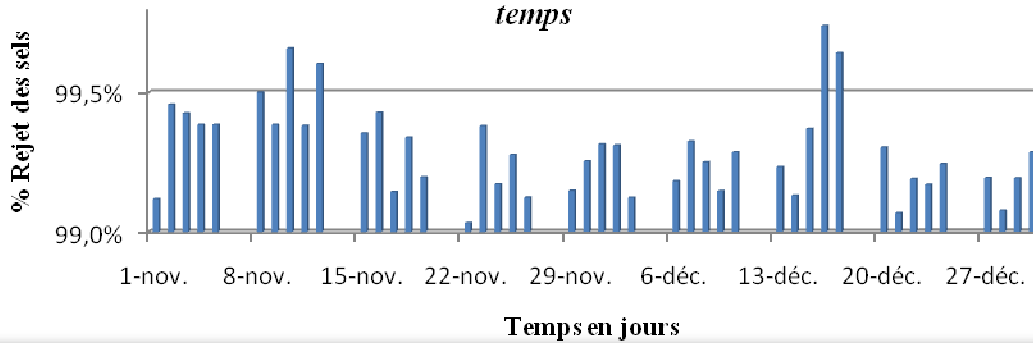
- **Rejet des sels**

Le rejet de sels est le rapport entre la concentration côté rejet et la concentration côté alimentation :

$$\% \text{ Rejets des sels} = \frac{(TDS \text{ alimentation} - TDS \text{ p rmeat})}{TDS \text{ alimentation}} \times 100$$

Ce paramètre est contrôlé pour les deux trains osmotiques. Le diagramme suivant montre l’évolution du taux de rejet des sels durant deux mois de fonctionnement pour les modules spirals du deuxième étage ayant la valeur de 99% comme un Minimum rejet des sels.

Figure 34: Diagramme représentant la variation du % de rejet des sels pour les membranes d'osmose inverse (2ème étage) en fonction du temps



Pour ces deux mois, le diagramme montre une stabilité de la rétention des sels ce qui prouve le bon fonctionnement des membranes durant cette période.

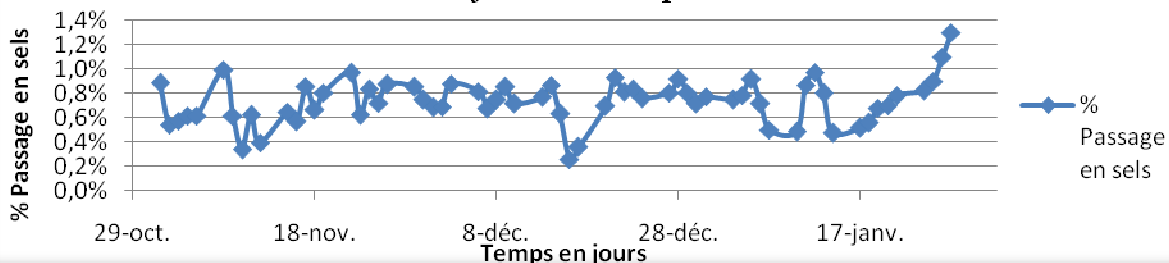
- **Le passage en sels**

Le passage en sel à travers une membrane est indépendant de la pression d'alimentation. Par contre il dépend directement de la salinité de l'eau au contact de la membrane et par conséquent de la composition de l'eau brute à traiter. Le passage de sels se caractérise par le rapport entre la concentration côté production et la concentration côté alimentation :

$$\% \text{ Passage en sels} = \frac{\text{TDS permeat}}{\text{TDS alimenation}} \times 100$$

Le graphique ci-dessous représente la variation du taux du passage des sels en fonction du temps.

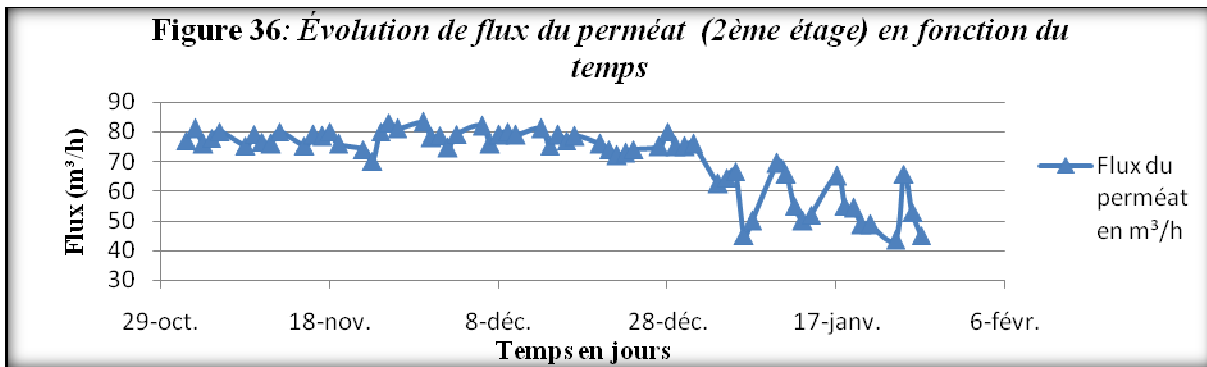
Figure 35: Graphique représentant la variation du % de passage des sels en fonction du temps



On remarque une quasi-constance durant le fonctionnement et une augmentation linéaire durant le mois de janvier due au problème de colmatage des membranes qui a été détecté au sein de la station de dessalement pendant ce mois.

- **Le flux du perméat**

Les variations du flux du perméat du premier étage en fonction du temps sont représentées sur la figure 36 pour une période de 3 mois de fonctionnement.



La courbe montre clairement une stabilité du flux du perméat durant les deux premiers mois. Par contre, on note une décroissance du flux pendant le mois de janvier.

La décroissance du flux du perméat observée s'explique par le colmatage des membranes et l'augmentation de la salinité de l'eau produite. Le colmatage des membranes peut être attribué aux substances colmatantes non retenues par les filières de prétraitement utilisées.

Au niveau de la station d'étude deux types de colmatage des membranes ont été observés :

Colmatage physique : Le passage des particules fines du sable rouge provenant des filtres multimédia en direction des modules spiralés entraîne l'encrassement de ces dernières. Ceci prouve une défaillance au niveau des filtres à sables.

Colmatage biologique : Apparition d'un bio film résistant qui entrave le passage de l'eau à travers les membranes. Sa nature est principalement colloïdale et inorganique. Ce bio film oblige les responsables de la station à procéder à des nettoyages onéreux et rend inévitable le changement des membranes d'osmose inverse.

Ce problème de colmatage des membranes a conduit à l'arrêt de l'unité de l'osmose inverse depuis la date du 27 Janvier 2011. Afin de remédier à ce grave problème, les responsables de l'unité pensent à prendre des mesures correctives aussi bien au niveau du prétraitement qu'au niveau du système d'osmose inverse.



I-Introduction

Au niveau de la section du clarifloculateur, le problème majeur rencontré est celui de la flottation de la boue à la surface de l'ouvrage, sa présence augmente la teneur des MES dans l'eau à traiter. Le SDI croît évidemment ce qui peut être par la suite une source de colmatage des filtres et des membranes d'osmose inverse.

Le présent chapitre a donc pour objectif l'amélioration de la qualité d'eau de mer destinée à alimenter les chaînes d'osmose inverse par le biais de l'optimisation du traitement physicochimique au niveau de la section du clarifloculateur.

Dans un premier temps, j'ai réalisé une optimisation de l'efficacité du coagulant et du floculent sur l'élimination des matières en suspension et des matières organiques présentes dans l'eau de mer.

Dans un deuxième temps, et afin d'améliorer les résultats obtenus, j'ai expérimenté d'autres adjuvants de floculation tel que la chaux éteinte et le charbon actif. J'ai étudié leur effet sur la

Chapitre V

Optimisation de la CLARIFLOCUALTION

décantation des floccs formés et sur leur stabilité. Ceci afin de résoudre le problème de la flottation de la boue que connaît la station.

II-Optimisation des concentrations du chlorure ferrique et du poly électrolyte

II-1 Protocole expérimental

Dans le but d'optimiser les doses de chaque réactif à ajouter pendant l'étape de la clarification de l'eau de mer, j'ai procédé par la méthode de Jar Test en gardant les mêmes conditions de la station.

Les essais ont été réalisés sur des prélèvements d'eau de mer ayant une valeur de turbidité de 3.8 NTU. En plus de l'optimisation de la dose du coagulant et du floculant, ces essais permettent de visualiser la floculation et de déterminer ses effets aussi bien sur l'eau décantée que sur les boues.

Dans cette partie expérimentale j'ai fait varier la dose du coagulant de 10, 15, 20, 25, 30 ppm et à chaque fois je fixais la concentration en poly électrolyte pour les valeurs suivantes : 1, 1.5, 2 ppm, les résultats de mesure de turbidité sont regroupés dans le tableau 11.

Jar test	Bécher	FeCl ₃ (ppm)	Polyélectrolyte (ppm)	Turbidité (NTU)	Aspect du floc	V.S (min)
Essai 1	A	10	1	4.8	2	13
	B	15	1	5.7	4	15
	C	20	1	4.9	6	10
	D	25	1	7.4	6	24
	E	30	1	5.1	6	23
Essai 2	A	10	1.5	7.3	2	21
	B	15	1.5	5.3	6	15
	C	20	1.5	6.8	8	14
	D	25	1.5	6.1	8	12
	E	30	1.5	4.98	6	17
Essai 3	A	10	2	5.9	2	23
	B	15	2	5.5	4	15
	C	20	2	4.6	8	12
	D	25	2	5.4	6	22
	E	30	2	5.1	8	20

Tableau 11 : résultats des essais JAR TEST

Remarque

- Notation de l'aspect des floccs

0- Pas de floc

2-Legère opalescence

4-petits points

6- flocons de dimensions moyennes

8-Bon floc

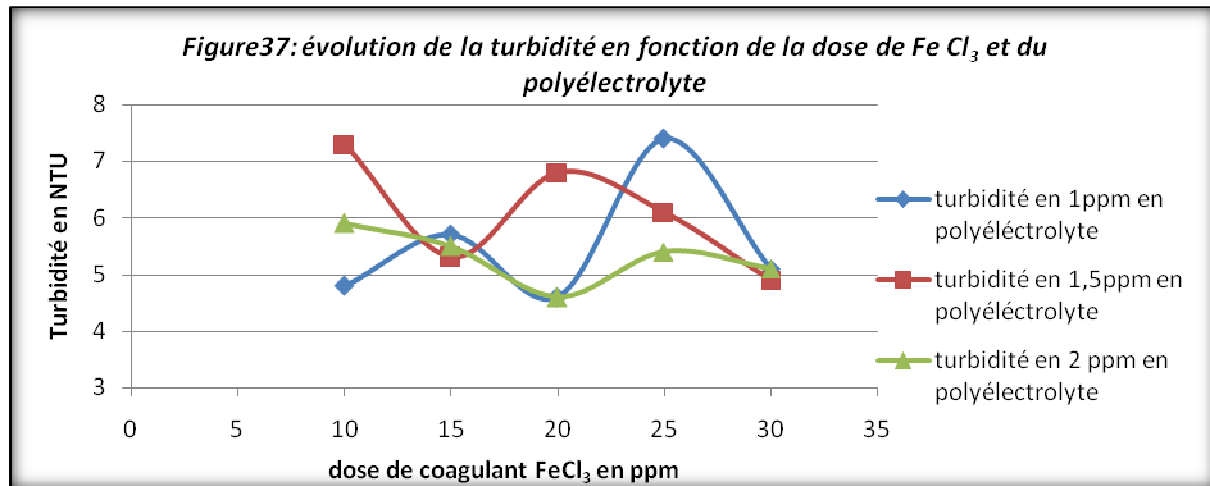
10- excellent

- (V.S) : vitesse de sédimentation



Aspect des floccs obtenu pour l'essai 2 de jar test

La figure-37- illustre l'évolution de la turbidité en fonction de la dose injectée du chlorure ferrique et du poly électrolyte.



Suite aux résultats obtenus dans le tableau, on peut dire que la dose du coagulant et du poly électrolyte correspond à 20 ppm de $FeCl_3$ et 2 ppm du Poly électrolyte.

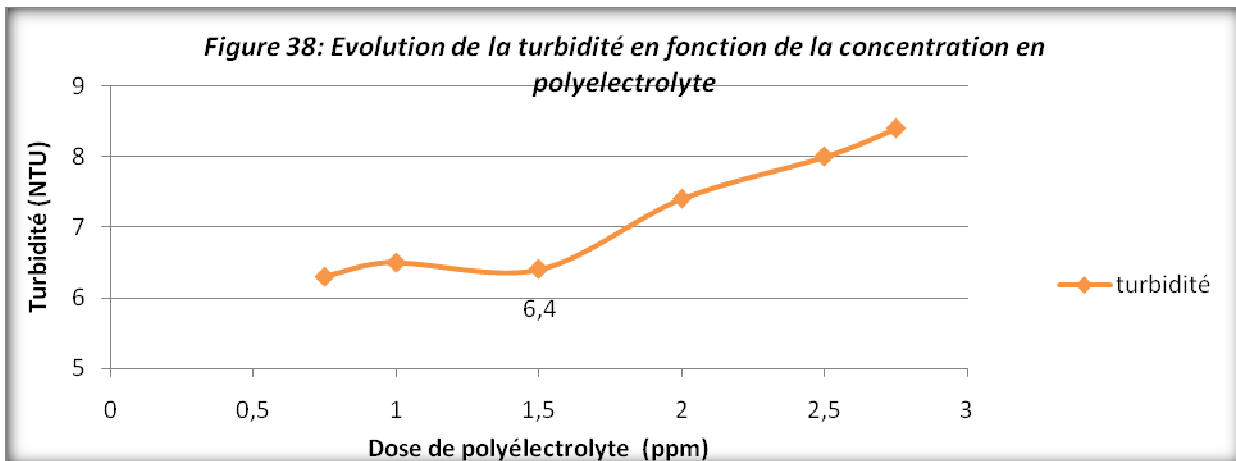
En effet, d'après les résultats cette dose permet d'obtenir une faible valeur en turbidité ainsi qu'un bon aspect de floc.

Par la suite, dans l'essai 4 j'ai fixé cette dose de coagulant et j'ai fait varier la dose du polyelectrolyte afin de mieux optimiser la dose du floculant.

Les résultats obtenus figurent dans le tableau -12- ainsi que dans la figure 38.

Jar test	Paramètres	BECHER					
		A	B	C	D	E	F
Essai 4	Fe Cl_3 (ppm)	20	20	20	20	20	20
	Poly électrolyte (ppm)	0.75	1	1.5	2	2.5	2.75
	Turbidité (NTU)	6.3	6.5	6.4	6.6	8.0	8.4
	Aspect des flocs	4	06	06	06	04	04
	VS	20	15	17	13	25	23

Tableau 12 : Résultats de la turbidité en faisant varier la quantité du poly électrolyte



II-2 Résultats et discussions

La meilleure valeur accordée par les différents essais JAR TEST (1, 2, 3) était de 20 ppm pour la dose du chlorure ferrique et de 2 ppm pour la dose du poly électrolyte anionique (Tab : 12).

Pour l'essai 4 représenté dans le tableau, le meilleur résultat par rapport à la valeur de la turbidité est obtenu en injectant 1.5 ppm en poly électrolyte bien que les floccs obtenus sont de dimension moyenne (ASF= 6).

Signalons qu'au niveau de la section du clarifloculateur les débits injectés seront proportionnels aux concentrations obtenues au niveau des essais JAR TEST effectués au laboratoire.

III-Influence des adjuvants

Pour améliorer l'effet des coagulants vis-à-vis de l'agglomération des particules en suspension, des adjuvants à dose faible peuvent être utilisés. Ces adjuvants jouent également un rôle pour améliorer la floculation : on les appelle tantôt adjuvants de coagulation, tantôt adjuvants de floculation.

La floculation se fait mieux lorsque le temps de sédimentation est plus court et la clarification plus rapide. Ils participent ainsi à la croissance du flocc et à sa densification, parmi ces adjuvants on trouve:

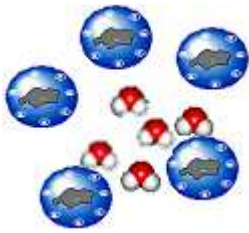
- Le charbon actif en poudre.
- Des substances alcalines naturelles telles que la chaux éteinte.

III-1 Généralités

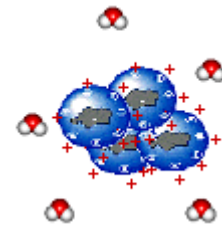
La chaux éteinte est utilisée de concert avec les sels de fer pour coaguler les solides en suspension attribuables à l'élimination de la turbidité de l'eau non traitée. Elle sert même à maintenir un pH adéquat pour fournir des conditions favorisant la coagulation.

Autres avantages de la chaux c'est qu'elle permet d'augmenter l'efficacité de la séparation solide-liquide des boues, c.-à-d. de retirer l'eau incorporée dans une structure dans laquelle les particules solides sont dispersées et d'obtenir des boues plus sèches.

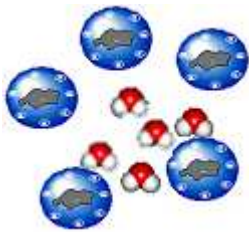
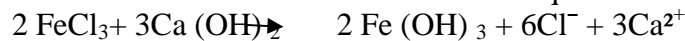
Par l'ajout de chaux, les particules sont neutralisées, déstabilisées et forment des micro-floccs, puis des floccs qui décantent rapidement.



Addition de chaux, agent chimique cationique



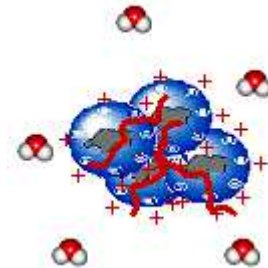
Cet effet caractéristique de la chaux est renforcé en utilisant des sels de fer comme le chlorure ferrique ou encore des polymères. Combinés à la chaux, les sels de Fe^{3+} se transforment par l'augmentation du pH en gels amorphes $Fe(OH)_3$ qui se comportent en polymères inorganiques reliant les particules, la réaction de la chaux avec le chlorure ferrique est la suivante :



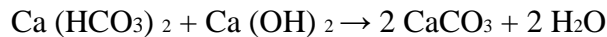
Utilisation de polymère de haut poids moléculaire



Renforcement des floccs par pontage



La chaux permet d'éliminer également la dureté bicarbonatée liée au calcium et au magnésium. La réaction chimique de décarbonatation est la suivante :



C'est ainsi que la chaux pourra participer aussi à la diminution du problème d'entartrage au niveau des membranes d'osmose inverse.

C'est dans cet objectif que j'ai utilisé la chaux dans l'étape de coagulation floculation pour étudier son effet sur la qualité de l'eau traitée ainsi que sur l'aspect des boues formées.

En ce qui concerne Le charbon en poudre il est utilisé en général en combinaison avec les traitements de clarification, introduit en continu avec les réactifs de floculation. Il se trouve inséré dans les floccs et est extrait de l'eau avec eux. Son avantage principal au niveau de l'étape de clarification, c'est qu'il favorise la décantation en alourdissant le flocc.

III-2 Protocole expérimental

Les essais ont été menés selon le protocole de jar test. Les doses optimales de chlorure ferrique et du poly électrolyte déterminées au préalable sont respectivement de 20 ppm et 2ppm.

On introduit dans les béciers de 500 ml des doses croissantes d'adjuvant, tout en gardant un bécier sans ajout comme témoin. Pour la chaux, j'ai utilisé des doses de : 2, 4,8, 10 ppm alors que pour le CAP les doses injectées sont respectivement 1,2, 3, 4, 5 ppm.

Concernant le temps d'introduction de chaque adjuvant, la chaux et le charbon en poudre sont introduit en même temps que le coagulant.

1^{er} cas : Ajout de la chaux

Les résultats des essais jar test, obtenus après ajout de la chaux sont regroupés dans le tableau-13-.

Paramètres	Eau	Eau traité en laboratoire contenant	Eau traité
------------	-----	-------------------------------------	------------



	de mer	20ppm en FeCl ₃ et 2 ppm de poly					en station
Dose de la chaux en mg/l		0	2	4	8	10	0
Turbidité (NTU)	3.5	0.95	0.9	0.8	0.85	1.1	2.0
pH	8.5	6.3	6.4	6.6	6.9	7.5	7.7
Aspect des floes		6	6	8	6	4	6
Vitesse de sédimentation (min)		20	15	12	11	9	15
Dureté TH (°F)	740	700	100	14.8	11	9.6	600

Tableau-13-: Influence de la dose de la chaux sur le rendement de la floculation

Discussion

D'après les résultats du tableau, on remarque que La concentration de 4 ppm correspond à la dose qui aboutit à une faible turbidité et à un temps de sédimentation plus court par rapport au b cher témoin. On remarque aussi une augmentation de la valeur de pH mais celle-ci reste voisine de 7 à cause du caractère acide engendrée par l'ajout du chlorure ferrique.

On note aussi une chute de la dureté de l'eau traitée à une valeur de 14.8°F pour une concentration de la chaux de 4 ppm alors qu'elle était de 700°F ce qui montre la précipitation des ions calcium et magnésium.

2 me cas : Ajout du charbon actif en poudre

Les résultats des essais jar test, obtenus après ajout de charbon actif en poudre (CAP) sont regroupés dans le tableau-14-.

Paramètres	Eau de mer	Eau traitée en laboratoire contenant 20ppm en FeCl ₃ et 2 ppm de poly					
Dose de CAP (mg/l)		0	1	2	3	4	5
Turbidité (NTU)	3.5	1.5	1.1	1.0	0.95	0.98	1.5
pH	8.5	6.2	6.2	6.3	6.29	6.31	6.25
Aspect des floes		6	8	8	6	6	8
Vitesse de sédimentation (min)		20	15	11	10	10	8

Tableau -14- : Influence de la dose de CAP sur le rendement de la floculation

Discussion

Dans le cas du charbon actif en poudre la concentration de 3 ppm est celle qui a donnée une faible valeur de la turbidité. On note aussi que le temps de décantation des floes formés a diminué en comparaison avec le b cher témoin.

Le tableau suivant regroupe les rendements de la turbidité obtenus avant et après addition des deux adjuvants.

	pH	Turbidité	% �limination	Efficacité d'élimination
--	----	-----------	---------------	--------------------------



				$\Delta\eta$
Eau traitée en station	7.5	2.5	42	-
Eau sans adjuvant	6.2	1.5	57.14	-
Adjuvant Chaux éteinte	6.6	0.8	77.14	20
Adjuvant CAP	6.3	0.95	72.85	16

Tableau -15- : Rendement de la turbidité avant et après addition des adjuvants

Avec :

$$\Delta\eta = \eta_0 - \eta_1$$

$\Delta\eta$ = Efficacité d'élimination

η_0 = Rendement de la floculation pour chaque dose d'adjuvant

η_1 = Rendement de la floculation sans adjuvant

III-3 Résultats et discussions

Les résultats obtenus montrent que l'ajout de l'adjuvant (chaux ou charbon actif en poudre) a permis une amélioration d'élimination de la turbidité ainsi que la formation des floccs et leur vitesse de sédimentation par rapport aux mêmes eaux traitées dans les conditions de la station.

En effet l'ajout d'une substance alcaline conduit à la formation d'hydroxyde. Par la suite, contrairement à l'utilisation du chlorure ferrique seul avec le poly électrolyte nous constatons que les floccs formés, en présence d'adjuvants sont importants et décantent vite et leur dimensions et plus nettes.

Pour la turbidité, les rendements d'élimination en présence d'adjuvant sont de 77.14% dans le cas de la chaux.

Dans le cas du charbon actif, les résultats obtenus montrent que ce dernier permet l'élimination de 72.85% de la turbidité. L'ajout de l'adjuvant améliore donc le rendement de la coagulation floculation par rapport au rendement obtenu sans adjuvant (57.14%) et celui obtenu en station (42%).

Au vu des résultats, on peut déduire que le charbon actif est moins efficace dans l'élimination de la turbidité $\Delta\eta_{\text{chaux}} > \Delta\eta_{\text{charbon actif en poudre}}$.

Signalons que la réaction de la chaux toute seule sur l'eau de mer est extrêmement lente à l'absence des germes de cristallisation (cristaux de CaCO_3 déjà précipités). Par contre en présence de germes de cristallisation formés par le chlorure ferrique qui fait coprecipiter les colloïdes la réaction de précipitation devient rapide.

Nous remarquons aussi la diminution du TH, la chaux peut éliminer la dureté bicarbonatée de l'eau. Cela conduit donc à une élimination partielle de la somme des ions de Ca^{2+} et Mg^{2+} mais sans action sur la dureté permanente soit TH-TAC.

On notera également la présence de surnageant à la surface des béciers composé des particules du charbon en poudre qui n'ont pas décanté. Ces derniers peuvent être éliminés par filtration sur sable au sein de la station.

IV-Conclusion

L'objectif de ce présent chapitre était dans un premier temps l'optimisation et la fiabilisation d'un des procédés de l'unité d'osmose inverse qui est la clarifloculation. Ceci afin de garantir à tout moment une qualité optimale de l'eau prétraitée destinée à alimenter les chaînes d'osmose inverse.

Les essais réalisés au laboratoire ont montré qu'on peut améliorer d'avantage ce traitement en ajoutant des adjuvants tels que la chaux et le charbon actif.

La chaux demeure l'adjuvant le plus efficace dans l'élimination de la turbidité en combinaison avec le chlorure ferrique. En effet la chaux permet une meilleure décantation qui se traduit par l'obtention d'une eau clarifiée de faible turbidité.

De même, la chaux fait diminuer la dureté bicarbonatée de l'eau de mer liée au calcium et au magnésium. Ceci réduira le caractère incrustant de l'eau de mer qu'il faut éliminer durant la phase de prétraitement afin d'éviter le problème d'encrassement des membranes.

La quantité de l'antiscalent produit chimique antitartre ou « inhibiteurs de tartre » injecté dans la phase du traitement chimique pour le même but qui est celui d'empêcher l'accumulation des dépôts minéraux sur les membranes pourra être minimisée.

Suite à notre étude, l'utilisation de l'adjuvant chaux à l'échelle du clarifloculateur peut être testée à la station.

On peut donc voir à l'échelle industrielle si on peut remédier au problème de la flottation de la boue. Nous proposons donc le prétraitement suivant (figure 39) qui inclut dans ses étapes, l'ajout de l'adjuvant chaux.

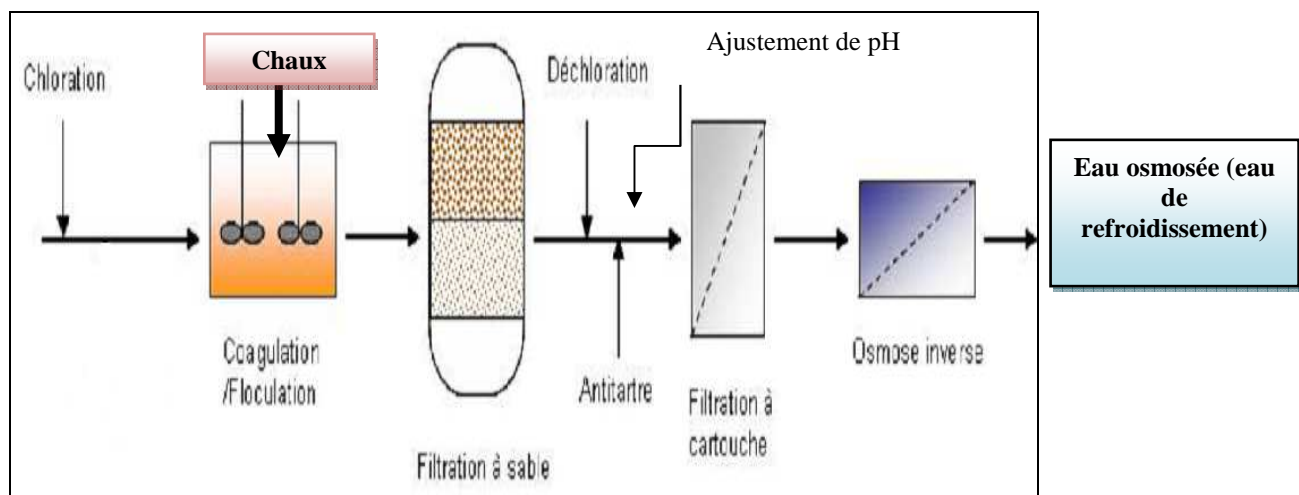


Figure-39- : le Nouveau Prétraitement proposé

CONCLUSION GENERALE



Le dessalement, utilisé comme "ressource alternative" d'eau douce doit être évalué objectivement en termes d'impacts environnementaux. Dans cette objectif, la SAMIR a implanté sa station de dessalement d'eau de mer par osmose inverse afin d'optimiser sa consommation en eau de ville.

Dans un premier temps, j'ai donné une idée générale sur les différents paramètres contrôlés au cours du procédé de dessalement d'eau de mer depuis l'entrée du clarifloculateur jusqu'à la sortie de l'eau des membranes d'osmose inverse.

Ensuite, et dans le but d'établir le niveau d'efficacité du traitement adopté au sein de l'unité d'osmose inverse, j'ai étudié l'évolution des différents paramètres d'une phase à l'autre.

Afin de résoudre le problème de la flottation de la boue au sein de l'unité, mon travail s'est ensuite focalisé sur l'optimisation de l'étape de clarifloculation. Ceci en étudiant l'effet de l'emploi d'un adjuvant de coagulation comme la chaux sur le rendement du traitement.

Les résultats obtenus par les essais JAR TEST ont montré que le rendement au niveau de la turbidité a été amélioré lors de l'emploi de la chaux par rapport à l'emploi du coagulant flocculant tous seuls. L'ajout de l'adjuvant améliore donc le rendement de la coagulation flocculation (77.14%) par rapport au rendement obtenu sans adjuvant (57.14%) et celui obtenu en station (42%).

La chaux demeure un adjuvant efficace dans l'élimination de la turbidité. En combinaison avec le chlorure ferrique, elle permet une meilleure décantation qui se traduit par l'obtention d'une eau clarifiée de faible turbidité et une boue d'une meilleure structure.

Finalement, la période de stage m'a donné l'opportunité de mettre en application les différentes connaissances acquises durant ma formation à la FST. De plus, j'ai eu l'occasion d'acquérir de nouvelles connaissances, surtout des connaissances relatives à l'industrie pétrolière.