

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université A. MIRA - Béjaïa -  
Faculté des Sciences Exactes  
Département de Chimie

## Mémoire de Master

Présenté par : TAKABAIT Fatah

*En vue de l'obtention du diplôme de Master en Chimie*

*Option : Analyse*

*Thème*

# Traitement de l'Eau de Forage par Osmose Inverse au Niveau du Complexe Agroalimentaire Cevital

**Soutenu le : 23/06/2012.**

**Devant le jury composé de :**

M <sup>me</sup> AIT BRAHAM	Leila	Présidente
M <sup>me</sup> ISSAADI	Hamida	Examinatrice
M <sup>f</sup> MADANI	Khodir	Encadreur

**2011-2012**

# Remerciements

*Je remercie Dieu Tout Puissant de m'avoir donné la patience et le courage pour réaliser ce travail.*

*J'adresse mes sincères remerciements à M<sup>r</sup>. MAZOUZ YUCEF. Chef service de l'unité osmose inverse de m'avoir accueillie et intégré au sein de Cevital et pour toutes les conditions techniques mises à ma disposition afin de réaliser ce modeste travail.*

*Mes remerciements vont également à l'ensemble du personnel de l'entreprise Cevital surtout les opérateurs de l'unité osmose inverse et toute l'équipe de laboratoire des eaux pour l'aide et l'intérêt qu'ils ont apporté à mon travail.*

*Je tiens à exprimer ma profonde gratitude et mes sincères remerciements à mon promoteur M<sup>r</sup>.MADANI. K et de m'avoir accepté de m'encadrer et suivre ce Travail.*

*Mes sincères remerciements à M<sup>me</sup> .AIT BRAHAM.L d'avoir accepté de présider mon jury.*

*Un grand merci aux enseignants du Département de chimie ainsi que les techniciennes de laboratoire.*

*Enfin mes remerciements s'adressent aussi à  
tous ceux qui ont  
contribué de pré ou  
de loin à la réalisation de ce travail.*



# Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

La mémoire de mon grand père Saadi.

Mon grand frère Djamel qui ma beaucoup assisté et encouragé pour me permettre de faire un bon travail durant toutes mes années d'études.

Mes parents, mes sœurs, à tous mes proches et tous mes amis (es).

# Sommaire

Liste des figures  
Liste des tableaux  
Liste des abréviations

Introduction ..... 1

## Chapitre I : Généralités sur les eaux

1. Définition de l'eau.....	2
2. Composition de l'eau.....	2
2. 1. Espèces inorganiques.....	2
2. 1.1. Constituants majeurs.....	2
2. 1.2. Les éléments traces métalliques.....	2
2. 1.3. Les éléments nutritifs.....	3
2. 2. Matières organiques.....	3
2. 2. 1. Matière organique dissoutes.....	3
2. 2. 2. Matière organique particulières.....	4
3. Les paramètres d'évaluation de la qualité de l'eau.....	4
3.1. Les paramètres organoleptiques.....	4
3.2. Les paramètres physico-chimiques.....	5
3.3. Les paramètres microbiologiques.....	9

## Chapitre II : Procédé de Traitement de l'eau par Osmose Inverse

1. Généralités sur les procédés membranaires.....	10
1.1. Définition et principe de filtration par membrane.....	10
1.2. Les techniques membranaires à gradient de pression.....	10
1.3. Nature des membranes de filtration.....	12
1.4. Structure des membranes.....	13
1.4.1. Les membranes symétriques et asymétriques.....	13
1.4.2. Les membranes poreuses et denses.....	13
1.5. Mise en oeuvre des membranes.....	14
1.5.1. Ecoulement frontale.....	14
1.5.2. Ecoulement tangentiel.....	14

1.6. Configuration des modules.....	15
1.7. Les mécanismes de transfert de matières.....	16
2. Osmose Inverse.....	16
2.1. Principe d'osmose inverse.....	16
2.2. Pression osmotique.....	17
3. Procédé de l'osmose inverse.....	17
3.1. Schéma générale d'une installation d'osmose inverse.....	17
3.2. Description générale de processus de traitement par osmose inverse.....	18
3.3. Membranes et modules d'osmose inverse.....	19
3.4. Procédés de prétraitement de l'osmose inverse .....	21
3.4.1. Prétraitement conventionnel.....	21
3.4.2. Prétraitement par les procédés membranaires.....	24
4. Caractéristiques principales d'une unité d'osmose inverse .....	25
5. limitation de l'osmose inverse.....	25
6. Estimation de potentiel de colmatage.....	28
7. Nettoyage des membranes.....	29

### **Chapitre III : Matériel et méthodes**

1. Echantillonnage.....	30
2. Paramètres physico-chimiques.....	30
3. Les paramètres microbiologiques.....	38
4. Evaluation de la performance de l'osmose inverse.....	40

### **Chapitre IV : Résultats et discussion**

1. Résultats et interprétations des analyses physico-chimiques effectués sur les eaux de l'unité osmose inverse.....	42
2. Résultats et interprétations des mesures de performances de l'osmose inverse .....	51
3. Résultats et interprétation des analyses microbiologiques.....	55
<b>Conclusion.....</b>	<b>56</b>

### **Références bibliographiques**

### **Annexes**

## *Liste des figures*

<b>Figure N°1</b> : Schéma du mécanisme de filtration sur membrane.....	10
<b>Figure N°2</b> : Classification des procédés barométriques membranaires selon la taille de Séparation.....	11
<b>Figure N°3</b> : Schéma d'un écoulement frontal.....	14
<b>Figure N°4</b> : Schéma d'un écoulement tangentiel.....	15
<b>Figure N°5</b> : Principe de l'osmose et de l'osmose inverse.....	17
<b>Figure N°6</b> : Processus de traitement de l'eau par Osmose Inverse.....	19
<b>Figure N°7</b> : Structure interne d'une membrane.....	20
<b>Figure N°8</b> : Prétraitement conventionnel typique.....	21
<b>Figure N°9</b> : Filtre à sable avec plaque de crépines.....	23
<b>Figure N°10</b> : Schématisation des différents mécanismes de colmatage d'une membrane..... .....	26
<b>Figure N°11</b> : La réaction de complexation de l'EDTA avec le $Ca^{2+}$ .....	33
<b>Figure N°12</b> : Evolution du pH à l'entrée et à la sortie de l'unité d'Osmose Inverse.....	44
<b>Figure N°13</b> : Variation de l'alcalinité d'eau à l'entrée et la sortie d'unité d'OI.....	45
<b>Figure N°14</b> : Variation du TH à l'entrée et à la sortie des osmoseurs pour les six échantillons analysés .....	45
<b>Figure N°15</b> : Variation des teneurs en chlorures à l'entrée et à la sortie des quatre osmoseurs.....	46
<b>Figure N°16</b> : Variation de la conductivité à l'entrée et à la sortie de l'installation d'OI.....	47
<b>Figure N°17</b> : Variation de la teneur en chlore dans les différentes eaux analysées.....	48
<b>Figure N°18</b> : Variation de la teneur en silice à l'entrée et à la sortie des osmoseurs.....	49
<b>Figure N°19</b> : Variation de la teneur en fer dans les différentes eaux analysées.....	50
<b>Figure N°20</b> : Variation de TC à la sortie des quatre osmoseurs.....	52
<b>Figure N°21</b> : Variation des proportions de rejet et passage de sels au niveau des quatre osmoseurs	

## *Liste des tableaux*

<b>Tableau N°I</b> : Les principaux éléments majeurs rencontrés dans l'eau.....	2
<b>Tableau N°II</b> : Caractéristiques physico-chimique de l'eau de forage (après injection de NaOCl).....	42
<b>Tableau N°III</b> : Détermination de la concentration d'eau filtrée en chlore, fer et manganèse, avant et après injection de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ .....	43
<b>Tableau N°IV</b> : Les résultats d'analyses physico-chimiques d'eau osmosée.....	43
<b>Tableau N°V</b> : Taux de chlorures des échantillons analysés à l'entrée et à la sortie de l'unité Osmose Inverse.....	46
<b>Tableau N°VI</b> : Mesure de la conductivité à l'entrée et la sortie de l'unité d'OI.....	47
<b>Tableau N°VII</b> : Evolution de la concentration en chlore des différents types d'eaux analysés.....	48
<b>Tableau N°VIII</b> : Détermination de la teneur de Silice à l'entrée et à la sortie de l'unité d'osmose inverse.....	49
<b>Tableau N°IX</b> : Variation de la concentration en Fer.....	50
<b>Tableau N°X</b> : Détermination des paramètres de performance des osmoseurs.....	51
<b>Tableau N°XI</b> : Proportion de rejet et de passage des sels.....	53
<b>Tableau N°XII</b> : Mesure de FI.....	54
<b>Tableau N°XIII</b> : les résultats des analyses microbiologiques.....	55

## *Liste des abréviations*

<b>A°</b>	Angstrom.
<b>AgNO<sub>3</sub></b>	Nitrate d'argent.
<b>ASTM</b>	American Society for testing and materials
<b>BCPL</b>	Boullion Lactose au Pourpre de Bromocrésol.
<b>°C</b>	Degré Celsius.
<b>CF</b>	Facteur de Conversion.
<b>CIP</b>	Clean In Place.
<b>CRS</b>	Clostridium Sulfito-réducteur.
<b>d</b>	Dilution.
<b>D/C</b>	Double concentré.
<b>°F</b>	Degré Français.
<b>EDTA</b>	Acide Ethylène Diamine Tétra Acétique.
<b>FI</b>	Fouling Facteur.
<b>ISO</b>	International Organization For standardization.
<b>K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>4</sub></b>	Chromate de potassium.
<b>MES</b>	Matières en suspension.
<b>ml</b>	Millilitre.
<b>MF</b>	Microfiltration.
<b>n<sub>1</sub></b>	nombre de colonies dans la première dilution.
<b>n<sub>2</sub></b>	Nombre de colonies dans la deuxième dilution.
<b>NF</b>	Nanofiltration.
<b>μS</b>	Microsiemens
<b>NET</b>	Noir Erychrome Toluène.
<b>OI</b>	Osmose Inverse.

**P<sub>1</sub>:** Pression en amont.

**P<sub>2</sub>:** Pression en aval.

**PTM :** Pression transmembranaire.

**%PS:** Proportion de passage des sels en %.

**QCl<sup>-</sup>:** Quantité de chlorures.

**Rd:** Rendement.

**R-H<sup>+</sup>:** Résine carboxylique.

**R-Na<sup>+</sup>:** Résine cationique.

**%RS:** Proportion de sels rejetés en %.

**S/C:** Simple concentré.

**SDI:** Silt Density Index.

**T:** le temps.

**TA:** Titre alcalimétrique.

**TAC:** Titre alcalimétrique complet.

**TC:** Taux de conversion.

**T.Conc:** Taux de concentration.

**TH :** Titre Hydrométrique.

**T Ca :** Dureté calcique.

**T Mg :** Dureté magnésienne.

**UF :** Ultrafiltration.

**VF :** Viande de fois.

## **Introduction**

L'évolution que connaît l'environnement urbain et industriel pose, dans de nombreux pays, le problème de l'eau. Par ailleurs il est certain que nos besoins en eau ne cesseront de croître alors que les réserves en eau de bonne qualité diminuent.

Heureusement, ces dernières décennies témoignent d'un grand développement des nouvelles technologies de traitement des eaux. En particulier plusieurs types de procédés ont démontré être d'une grande valeur. Parmi les exemples, nous trouvons : l'osmose inverse, électrodialyse, nanofiltration, distillation.

Les procédés membranaires font partie de ces nouvelles technologies qui peuvent jouer un rôle environnemental important. Ces procédés permettent la production d'eau destinée soit à la consommation humaine (dessalement de l'eau) soit aux industries (réutilisation de l'eau) qui consomment de l'eau de pureté contrôlée dans leur chaîne de production (industries agroalimentaires, industrie pharmaceutique,...etc.) ainsi pour d'autres usages notamment le nettoyage des installations.

L'osmose inverse est un procédé qui permet l'obtention d'eau pure dépourvue de toute espèce chimique ou bactériologique.

L'objectif de ce travail est d'analyser les différents paramètres qui interviennent dans le traitement et le suivi de la qualité d'eau osmosée, en passant par le procédé de traitement lui-même : l'osmose inverse.

Ce travail est composé de quatre chapitres :

- Le premier, aborde des généralités sur les eaux.
- Le second chapitre est entièrement consacré à l'étude bibliographique concernant les procédés membranaires et surtout l'osmose inverse.
- Le troisième chapitre est consacré aux matériels et méthodes mis en œuvre pour la réalisation de cette étude sur l'osmose inverse.
- Le dernier chapitre donnera les résultats et leurs discussions.

## **Chapitre I : Généralités sur les eaux**

### **1. Définition de l'eau**

C'est une Substance naturelle, souvent liquide et inodore, incolore, et sans saveur à l'état pur, de formule chimique H<sub>2</sub>O, et peut se trouver dans les trois états de la matière ( solide, liquide, ou gazeux ) ,l'eau est l'un des agents ionisants les plus connus, on l'appelle fréquemment le solvant universel [1].

### **2. Composition de l'eau**

La composition chimique de l'eau varie énormément d'une région à l'autre et pour une même région d'une saison à l'autre. Ces variations chimiques dépendent de plusieurs paramètres comme la solubilité des sels constituant l'écorce terrestre (CaCO<sub>3</sub>, CaSO<sub>4</sub>, MgCO<sub>3</sub>, NaCl), ainsi la composition physique des roches.

#### **2.1. Espèces inorganiques**

##### **2.1.1. Constituants majeurs**

Ce sont essentiellement des composés ioniques, anions et cations, qui proviennent de la dissolution des roches dans l'eau qui circule à leur contact.

Le tableau suivant résume les principaux éléments majeurs rencontrés dans l'eau.

**Tableau I** : Les principaux éléments majeurs rencontrés dans l'eau [2].

Sels minéraux	Carbonates Bicarbonates Silicates Sulfates Chlorures Nitrates	de	Sodium Calcium Magnésium Fer Potassium
---------------	--	----	--

##### **2.1.2. Les 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<sup>-1</sup>) en masse, ou moins. Les principaux éléments traces métalliques présentent dans l'eau sont :

Titane (Ti), Zinc (Zn), Nickel (Ni), Aluminium, (Al), Chrome (Cr), Cadmium (Cd), Cuivre (Cu), Fer (Fe), Manganèse (Mn), Plombe (Pb), Mercure (Hg) [3].

### 2.1.3. Les éléments nutritifs

Ces éléments sont composés principalement par le nitrate (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) et l'ammoniac (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), le phosphore sous forme phosphate (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>) et le silicium tel que la silice (SiO<sub>2</sub>) [3].

**Le nitrate** constitue une petite fraction de l'azote total. Il est dérivé de la décomposition des matières organiques sur terre ainsi la pluie fournit également une petite quantité de nitrate produit par la combinaison d'azote et d'oxygène atmosphériques dans la décharge des éclairs, et partiellement aussi la retombée de la pollution industrielle.

**L'ammoniac** (NH<sub>3</sub>) est formé pendant la décomposition bactérienne des matières organiques est présent dans l'eau principalement sous la forme d'ions ammonium, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. Il est ultimement oxydé en nitrate, mais il peut être utilisé par les bactéries comme seule source d'azote.

**Le silicium** est une forme amorphe et il est hydraté, sa formule simplifiée est SiO<sub>2</sub> pour les deux formes solide et dissoute. La concentration du silicate (SiO<sub>3</sub><sup>2-</sup>, SiO<sub>4</sub><sup>4-</sup>, etc.) dépend de la température de l'eau, elle est plus faible en été qu'en hiver. Par contre, aucun effet de la température n'a été observé sur la quantité de nitrate et de phosphate [4].

**Le phosphate** est essentiellement présent dans l'eau sous forme d'ions phosphate (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>). Le phosphate est utilisé pour former les tissus souples des organismes.

## 2.2. Matières organiques

### 2.2.1. Matières organiques dissoutes

La plupart du carbone organique dans l'eau est sous la forme de matière organique dissoute et principalement de molécules à faible poids moléculaire et d'origines diverses. La concentration des matières organiques dissoutes et particulaires dépend de type d'eau et sa profondeur : l'eau de mer surfacique a une concentration plus élevée que l'eau en profondeur. On peut trouver dix

milliers de molécules différentes dans l'eau comme les produits de dégradation de déchets végétaux, produits de synthèse organique soluble, et matières azotées. Le carbone organique dissous est un facteur important dans le cycle du carbone et la chaîne alimentaire. Il influence la pénétration de la lumière, l'échange de gaz à la surface [5].

### **2.2.2. Matières organiques particulières**

C'est la matière en suspension et en émulsion, elles peuvent être classifiées selon leur taille. Dans l'eau 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 d'autres débris organiques fins, et des particules inorganiques particulièrement des minéraux d'argile et des composés hydratés insolubles tels que Fe(OH)<sub>3</sub>. 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 (sable, boues, pétrole, huiles,....).

L'eau contient également les gaz dissous ayant une grande importance dans les phénomènes biologiques ainsi que chimique (corrosion) [6].

## **3. Les paramètres d'évaluation de la qualité d'eau**

### **3.1. Les paramètres organoleptiques**

Ces paramètres sont généralement effectués sur le site de prélèvement, ils sont perceptibles immédiatement, ils concernent l'odeur et la couleur de l'eau [7].

#### **• La couleur**

La coloration d'une eau est due aux substances dissoutes et/ou aux substances en suspension, ces substances sont le plus souvent d'origine naturelle « végétal et minéral », Elle varie pour les eaux naturelles de jaune pâle au brun rougeâtre selon la nature et la concentration de la matière colorantes [7].

#### **• l'odeur**

L'odeur est l'ensemble des sensations perçues par l'organe olfactif en flairant certaines substances volatiles, En effet, leur présence dans l'eau est un signe de pollution ou de la présence de matières organiques en décomposition comme les alcools, le dioxyde de soufre, le chlore [7].

#### **• le goût et la saveur**

C'est l'ensemble des sensations gustatives, olfactives et de sensibilité chimique

Commune perçues lorsque l'aliment ou la boisson est dans la bouche ; on distingue des saveurs : acide ; amère ; sucrée ; salée, quant au gout on rencontre des goûts : métallique, chloré, de terre,.... etc [7].

**3.2. Les paramètres physico-chimiques**

La qualité d'une eau souterraine est caractérisée par un certain nombre de paramètres physiques et chimiques ;

**3.2.1. Le Potentiel d'Hydrogène (pH)**

Par définition, le pH est égal au cologarithme de l'activité des protons.

$$PH = - \log (H_3O^+)$$

Le pH de l'eau conditionne les équilibres physico-chimiques, en particulier l'équilibre calco-carbonique et donc l'action de l'eau sur les carbonates (attaque ou dépôt). Le pH de l'eau est acide s'il est inférieur à 8.3 (eaux des aquifères sableux ou granitique), il est alcalin pour des valeurs supérieurs à 8.3 (calcaires).

Dans les eaux naturelles, le pH est principalement déterminé par la concentration en dioxyde de carbone dissous (CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O) [8].

**3.2.2. La température**

La température influe directement sur les réactions chimiques, et particulièrement la dissolution des gaz et des sels dans l'eau, cette solubilité diminue quand la température augmente. Elle est étroitement liée au pH et à la conductivité électrique [9].

**3.2.3. La conductivité**

La conductivité est une grandeur qui permet d'évaluer rapidement la concentration en ions d'une solution, en effet toute espèce solvatée chargée est susceptible de transporter du courant électrique au sein d'une solution, elle est exprimée généralement en Microsiemens par centimètre (μS/cm) à 20 °C [10].

$$\chi = \frac{1}{\rho} = \frac{1}{R} * \frac{1}{S} = \gamma \cdot Kc$$

Diagramme explicatif des termes de l'équation de la conductivité :
 

- $\chi$  : conductivité (μS.cm<sup>-1</sup>)
- $\rho$  : résistivité (MΩ.cm)
- $R$  : résistance (MΩ)
- $S$  : surface (cm<sup>2</sup>)
- $\gamma$  : constante de la cellule de mesure (cm<sup>m</sup>)
- $Kc$  : Conductance (μS)

La conductivité d'une eau naturelle est comprise entre 50 et 1500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

### 3.2.4. La salinité totale

La salinité totale est la somme de toutes les concentrations des substances minérales dissoutes dans l'eau. Il existe de nombreuses sources de minéralisation (sédiments de roches, argiles, sables,...). La notion de salinité est importante particulièrement pour les eaux de mer et certaines eaux industrielles, en effet elle permet de procéder à un choix optimal du traitement d'ionisation [11].

### 3.2.5. La dureté

La dureté d'une eau correspond à la somme des concentrations en cations métalliques, excepté celles des métaux alcalins et du proton. Elle est souvent due aux ions calcium et magnésium. La présence de ces deux cations dans l'eau tend souvent à réduire la toxicité des métaux. On distingue ;

- *la dureté totale* ou titre hydrotimétrique « TH » qui est la somme des concentrations calcique et magnésienne ;
- *la dureté calcique* qui correspond à la teneur globale en sels de calcium ;
- *la dureté magnésienne* qui correspond à la teneur globale en sels de magnésium [12].

### 3.2.6. L'alcalinité

L'alcalinité d'une eau est essentiellement due à la présence de bases et de sels d'acides faibles. Dans les eaux naturelles, l'alcalinité résulte le plus généralement à la présence d'hydrogencarbonates, carbonates et hydroxydes.

- le titre alcalimétrique T.A. d'une eau correspond à la somme des concentrations des ions carbonates ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) et des ions hydroxydes ( $\text{OH}^-$ ).
  - $\text{T.A.} = [\text{OH}^-] + [\text{CO}_3^{2-}]$  (premier point équivalent)
- le titre alcalimétrique complet T.A.C rend compte de la concentration d'une eau en ions carbonate  $\text{CO}_3^{2-}$  et en ions hydrogencarbonate  $\text{HCO}_3^-$  [12].

$$\text{T.A.C.} = [\text{OH}^-] + [\text{CO}_3^{2-}] + [\text{HCO}_3^-] \text{ (deuxième point équivalent).}$$

Le T.A. et le T.A.C. s'expriment en milléquivalent par litre ou mol/l.

**3.2.7. La teneur en Chlorures**

Les chlorures sont toujours présents dans l'eau, mais en proportion variable. Leur concentration est de l'ordre de quelques  $\text{mg.l}^{-1}$  dans les eaux naturelles de surface alors qu'elle est de l'ordre de  $20 \text{ g.l}^{-1}$  ( $\text{Cl}^-$ ) dans les eaux marines.

Ainsi les eaux provenant des régions sédimentaires sont très riches en chlorures par rapport aux régions granitiques. Par ailleurs, le taux de chlorure augmente avec le degré de minéralisation d'une eau [7].

La concentration maximale des chlorures dans l'eau potable ne doit pas dépasser  $250 \text{ mg/l}$  [14].

**3.2.8. La teneur en Manganèse**

Le manganèse est présent dans la plus part des sols et sédiments, il existe aussi dans les roches métamorphiques. Le minerai le plus abondant est la pyrolusite  $\text{MnO}_2$ , utilisé dans les processus industriels des filtres à sables.

Dans une eau sans oxygène, il est rapidement dissous sous forme de sels manganeux ( $\text{Mn}^{+2}$ ) et peut se trouver dans les eaux de puits profonds à une concentration aussi élevée que 2 à 3  $\text{mg/l}$ .

La concentration limite en manganèse pour une eau potable est  $0,005 \text{ mg/l}$  [13].

**3.2.9. La teneur en Silice**

La silice peut exister dans les eaux sous deux états différents : soluble et colloïdal. La silice soluble dans les eaux naturelles est majoritairement sous forme de hydroxyde de silicium  $\text{Si(OH)}_4$ , elle tend à se polymériser et à donner des colloïdes. Les silicates sont peu solubles dans l'eau et se présentent à des pH élevés, supérieurs à 10. Leur teneur dans l'eau varie de 1 à  $50 \text{ mg/l}$  [7].

**3.2.10. La teneur en Fer**

Le fer peut se rencontrer dans l'eau sous différentes formes. Pour un pH variant entre 4,5 et 9, le fer soluble présent est généralement à l'état ferreux (eaux souterraines). En absence de complexe, le fer ferrique n'est soluble d'une façon significative qu'à des pH inférieurs à 3. Pratiquement, les eaux superficielles n'en contiennent que très peu, rarement plus de  $1 \text{ mg/l}$ . En effet, sous l'action de l'air, ou par addition d'un oxydant, le fer est oxydé à l'état ferrique et peut être hydrolysé pour donner un hydroxyde de fer insoluble. Ainsi il se trouve à l'état

colloïdal, plus au moins combiné à la matière organique, sous forme de complexe organique ou minéral ou sous forme de particules en suspension [9].

### 3.2.11. La teneur en Chlore

La chloration par le chlore est le procédé de désinfection le plus répandu pour le traitement de l'eau car il sert à la destruction des microorganismes et réagit avec des molécules organiques afin de les dégrader.

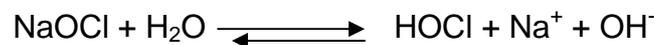
Le chlore (Cl<sub>2</sub>) et les produits chlorés (hypochlorite de sodium ou eau de javel, hypochlorite de calcium) se dissocient immédiatement dans l'eau, en ;

- acide hypochloreux HOCl ;
- ion hypochlorite ClO<sup>-</sup>.

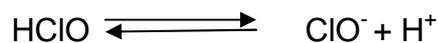
C'est essentiellement l'acide hypochloreux qui est le composé le plus actif dans les mécanismes de désinfection, la dissolution dans l'eau du chlore gazeux conduit à sa dismutation en acide hypochloreux (HOCl), ion chlorure (Cl<sup>-</sup>) et proton (H<sup>+</sup>), selon l'équilibre :



Ainsi, la dissolution de l'hypochlorite de sodium dans l'eau est comme suit :



L'acide hypochloreux est un acide faible qui se dissocie dans l'eau suivant l'équilibre :



La proportion des deux composés (HClO et ClO<sup>-</sup>) dépend essentiellement de la valeur du pH de l'eau, pour des pH inférieur à 4, la forme gazeuse est la seule présente, alors qu'à pH compris entre 4 et 6, le chlore est presque entièrement sous forme d'acide hypochloreux. Pour des pH compris entre 6 et 9, le pourcentage d'acide hypochloreux diminue rapidement au profit de l'ion hypochlorite, qui demeure la seule entité présente au-delà de pH 10 [15].

### 3.2.12. La teneur en matières en suspension (MES)

Les matières en suspension comprennent toutes les matières minérales ou organiques qui ne se solubilisent pas dans l'eau. Elles incluent les argiles, les

sables, les matières organiques et minérales de faible dimension, micro-organismes de l'eau.

La quantité de matières en suspension varie notamment selon les saisons et le régime d'écoulement des eaux. Ces matières affectent la transparence de l'eau et diminuent la pénétration de la lumière [15].

Les matières en suspensions sont exprimées en mg/l.

### **3.3. Les paramètres microbiologiques**

Les eaux industrielles qu'elles soient utilisées pour la préparation ou l'entretien (lavage) doivent répondre à des critères bactériologiques précis, car elles peuvent véhiculer des germes dangereux pour la santé en provoquant des maladies fatales comme la typhoïde et le choléra considérées comme des maladies à transmission hydrique. Et généralement les microorganismes les plus recherchés sont :

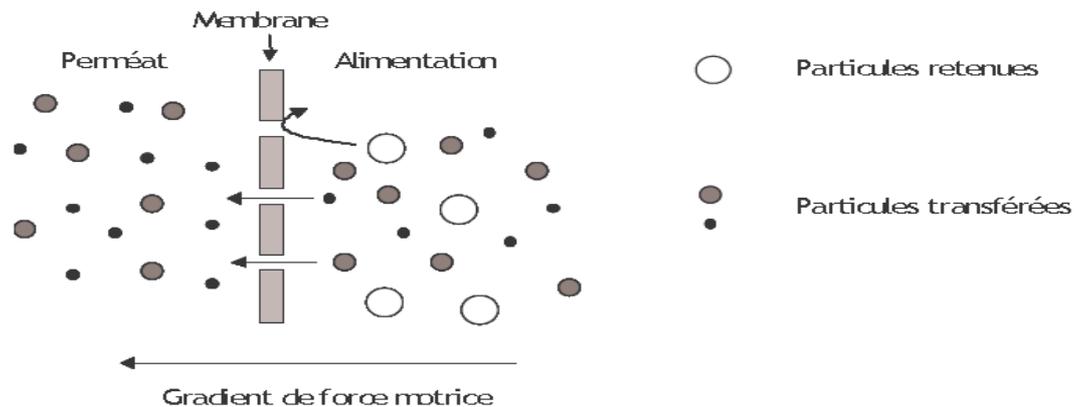
- La flore totale
- Les coliformes
- Les Clostridium sulfite-réducteurs
- les Streptocoques D

## Chapitre II : Procédé de traitement de l'eau par Osmose Inverse

### 1. Généralités sur les procédés membranaires

#### 1.1. Principe de filtration par membrane

La membrane est définie comme une couche mince semi-perméable qui joue le rôle d'une barrière sélective, sous l'effet d'une force motrice, elle permet l'arrêt ou le passage de substances dissoutes.



**Figure 1** : Schéma du mécanisme de filtration sur membrane [16].

Le résultat d'une opération de filtration membranaire est la séparation du fluide à traiter en deux parties de concentrations différentes :

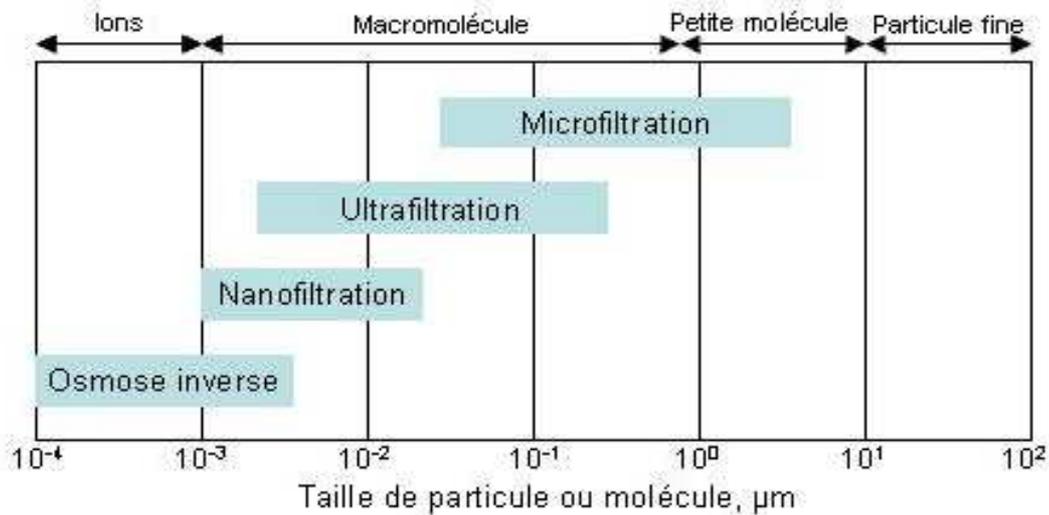
- Le retentât qui contient les molécules ou particules retenues par la membrane ;
- Le perméat qui contient les molécules qui traversent la membrane.

Les procédés de séparation membranaire regroupent un grand nombre de techniques permettant de réaliser des séparations en phase liquide ou gazeuse sous l'action de diverses forces de transfert. Celle-ci peut être un gradient de potentiel électrique (électrodialyse), un gradient de concentration (pervaporation, dialyse) ou un gradient de pression qui est l'objet de ce travail (16).

#### 1.2. Les techniques membranaires à gradient de pression :

Elles reposent sur une différence de pression totale de part et d'autre de la membrane, appelée pression transmembranaire.

Ces procédés membranaires barométriques, peuvent être classifiés en fonction de la membrane utilisée et du seuil de coupure en microfiltration, ultrafiltration, nanofiltration, et osmose inverse comme présenté sur la figure 2 [17].



**Figure 2** : Classification des procédés barométriques membranaires selon la taille de Séparation [17].

La microfiltration, l'ultrafiltration et nanofiltration mettent en jeu des membranes possédant une structure poreuses tandis que les membranes d'osmose inverse sont des matériaux denses.

### La microfiltration

Elle est définie comme un procédé de séparation solide / liquide. Le mécanisme est basé exclusivement sur l'effet tamis (taille) et rend possible la rétention de particules en suspension ou de bactéries dont la taille se situe entre 0.1 et 10 µm. Les pressions appliquées sont de quelques dixièmes de bar pour éviter un colmatage important [18].

### L'ultrafiltration

Utilisée pour séparer des macromolécules et d'espèces colloïdales. Le solvant ainsi que les solutés de faible masse molaire traversent la membrane selon un mécanisme convectif sous l'effet de la pression, tandis que les espèces de taille supérieures (colloïdes, protéines, polymères) sont retenues.

Les pressions (jusqu'à 5 bar) sont supérieures à celles rencontrées en microfiltration et le seuil de coupure se situe entre 10<sup>3</sup> et 10<sup>6</sup> Dalton [18].

**La nanofiltration**

Pour traiter des espèces de taille inférieure à 2 nm (sucre, colorant, sels,.....) elle se situe à la transition entre l'osmose inverse et l'ultrafiltration tant au niveau du seuil de coupure (200 à 1000 Dalton) qu'au niveau de la pression transmembranaire (5 à 25 bar). Les membranes de nanofiltration possèdent également une sélectivité spécifique vis à vis des espèces ioniques, une rétention plus faible des Co-ions monovalents que des co-ions divalents et une forte rétention globale pour les sels minéraux à faible concentration [19].

**L'osmose inverse**

Ce procédé permet de filtrer des solutions contenant des espèces de très faible masse molaire et ne laisse passer que le solvant et qui arrête tous les sels. Il utilise des membranes denses. La séparation solvant – soluté se fait par un mécanisme de solubilisation-diffusion, La pression appliquée doit être supérieure à la pression osmotique exercée en amont de la membrane par la solution filtrée pour observer un flux de perméat à travers la membrane. Les pressions appliquées varient de 20 à 80 bars [20].

**1.3. Nature chimique des membranes**

Les membranes utilisées dans les procédés de filtration peuvent être classés selon leurs natures chimiques en différents types :

- **Les membranes organiques** : sont fabriquées à base de polymères telles que le polyamide, le polysulphone, le polyethersulphone. Ils sont les plus utilisées malgré leurs résistances thermiques et chimiques relativement limitées car elles sont nettement moins chères que les membranes minérales [21].

- **Les membranes inorganiques (minérales)** : sont constituées d'un support macroporeux à base d'alumine ou de carbone sur lequel sont déposées un nombre variable de couches d'oxydes minéraux (bioxyde titanique :  $TiO_2$ ...). Le rôle de ces couches filtrantes de faible épaisseur est d'assurer la séparation des solutés grâce à un rayon de pore adapté, alors que le support assure la résistance mécanique. Ces membranes peuvent travailler dans des conditions plus sévères que les membranes organiques grâce à leur résistance mécanique, chimique et thermique (jusqu'à  $P=40$  bar,  $T=120^\circ C$  et  $pH=1-14$ ) [21].

- **Les membranes composites** : Elles sont créées à partir des deux types précédents. Il s'agit de membranes minérales sur lesquelles on dépose des polymères ou sur lesquelles on greffe d'autres composés tels que des silanes. Elles possèdent donc des propriétés qui sont un compromis entre les membranes organiques et inorganiques [21].
- **Les membranes échangeuses d'ions** (MEI) ou membranes perméables aux ions (MPI) utilisées en électrodialyse : ce sont des membranes organiques denses échangeuses d'ions et composées de matériaux analogues à ceux des résines échangeuses d'ions : polymères organiques, conducteurs ioniques (membranes cationiques – membranes anioniques) [21].

#### **1.4. Structure des membranes**

##### **1.4.1. Les membranes symétriques et asymétriques**

- les membranes symétriques (isotropiques) : leurs structure est homogène sur toute l'épaisseur de la membrane.
- les membranes asymétriques (anisotropiques) : ont une structure hétérogène, qui varie principalement d'une couche à l'autre. Ces couches sont soit constituées d'un même matériau avec des porosités graduellement variantes suivant l'épaisseur ; ou de différents matériaux. Et généralement une membrane asymétrique renferme une couche support macroporeuse résistante et une couche active (propriété de rétention), entre elles s'insèrent une ou plusieurs couches intermédiaires [22].

##### **1.4.2. Les membranes poreuses et denses**

- la structure poreuse : résulte par les interstices entre les constituants solides d'une membrane, elle est présentée par les espaces entre les chaînes de polymère pour les membranes organiques, et par les espaces intergranulaires pour les membranes inorganiques.

Selon la taille des pores on distingue trois catégories :

- Micropores : de diamètres inférieurs à 2 nm.
- Mésopores : de diamètres compris entre 2 et 50 nm.
- Macropores : de diamètres supérieurs à 50 nm.

La porosité d'une membrane définie comme le rapport entre le volume des espaces vides sur le volume totale de la matrice.

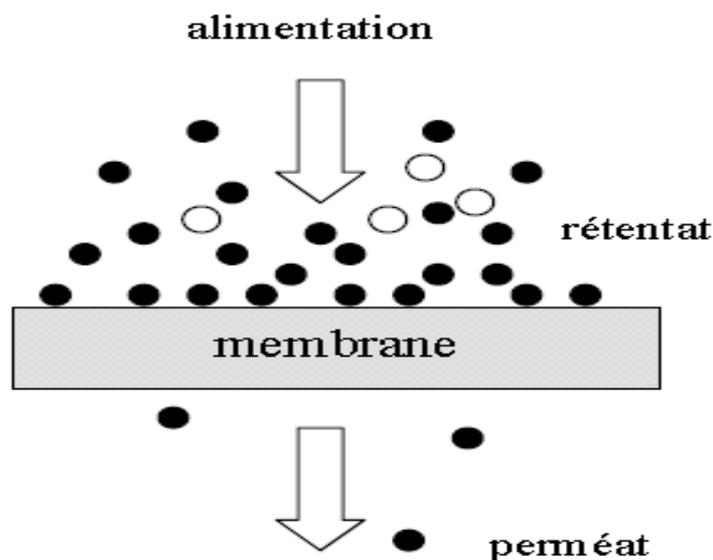
- la structure dense : dont la taille des interstices formés entre les constituants de la matrice membranaires est voisine de celle d'un ion solvaté [21].

### 1.5. Mise en œuvre des membranes

Il existe deux types de mise en œuvre des membranes : l'écoulement frontal et l'écoulement tangentiel.

#### 1.5.1. Écoulement frontal

Ce mode de filtration consiste à amener la solution à filtrer perpendiculairement à la membrane (Figure 3). Les molécules retenues se concentrent au niveau de la surface membranaire ce qui provoque une diminution du flux [18].



**Figure 3** : schéma d'un écoulement frontal [18].

#### 1.5.2. Écoulement tangentiel

Dans ce cas, la solution à filtrer circule parallèlement à la membrane (Figure 4). Le fonctionnement du système de filtration s'effectue en continu : l'accumulation des espèces retenues à la surface de la membrane est moins importante qu'en filtration frontale [18].

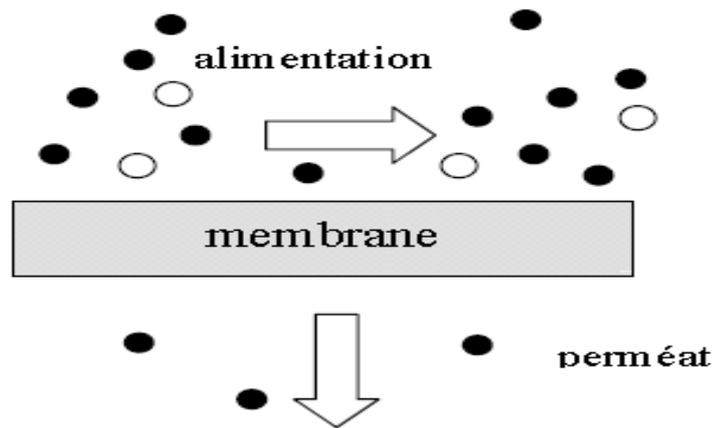


Figure 4 : Schéma d'un écoulement tangentiel [18].

### 1.6. Configuration des modules :

Pour être mise en œuvre, les membranes doivent être montées dans des supports appelés modules qui peuvent être de différentes géométries :

#### 1- Module plan ou filtre-presse

Cette configuration dérivée des filtres-presses est constituée d'un empilement de membranes sous forme de feuilles. Les membranes sont disposées parallèlement les unes aux autres et sont séparées par des grilles ou support.

#### 2- Modules spirales

C'est un module particulier de membranes planes qui sont enroulées autour d'un axe creux collecteur de perméat. L'ensemble est introduit dans une enveloppe cylindrique dont les sections donnent accès à l'entrée de l'alimentation et à la sortie du retentât.

#### 3- Modules tubulaires

Ils sont constitués d'une ou plusieurs membranes inorganiques ou organiques de forme tubulaire, ayant des diamètres internes entre 4 et 25 mm. Plusieurs tubes individuels peuvent être placés dans un module. Le module multicanaux (monolithes) fait d'assemblage de tubes parallèles dans une même matrice représente la forme optimisée actuelle.

#### 4- Modules fibres creuses

Ils contiennent plusieurs milliers de fibres dont le diamètre est de l'ordre de 1 mm. Les faisceaux obtenus sont encollés aux extrémités de façon à assurer l'étanchéité entre le compartiment (perméat) et l'alimentation.

L'alimentation peut se faire à l'intérieur (interne externe) ou à l'extérieur (externe-interne) des fibres creuses, selon que la peau active est à l'intérieur ou à l'extérieur de la fibre creuse [23].

### **1.7. Les mécanismes de transfert de matière**

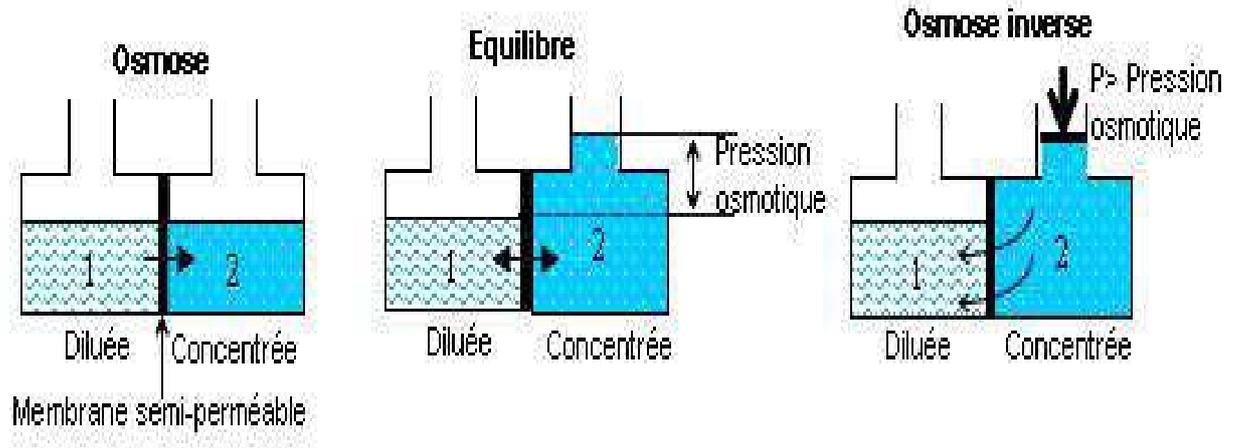
Lors de la filtration par des membranes d'osmose inverse et de nanofiltration plusieurs phénomènes de transport et de sélectivité interviennent. Les principaux mécanismes de transfert sont de types physiques, chimiques et électrochimiques :

- Une séparation sur la différence de taille : effet stérique,
- Une séparation sur la différence de solubilité et de diffusion des espèces : mécanisme de solubilisation – diffusion, dont toutes les espèces moléculaires (solutés et solvant) se dissolvent dans la membrane et diffusent à l'intérieur de celle-ci sous l'action d'un gradient de concentration et de pression,
- Une séparation sur la différence de charges des espèces à séparer : effet électrochimique [24].

## **2. Osmose inverse**

### **2.1. Principe de l'osmose inverse**

L'osmose est le transfert de solvant à travers une membrane sous l'effet d'un gradient de concentration. Considérons un système de deux compartiments séparés par une membrane semiperméable sélective et contenant deux solutions de concentrations différentes (figure 5). Le solvant (généralement l'eau) s'écoule à travers la membrane du compartiment de la solution moins concentrée vers le compartiment contenant la solution la plus concentrée, c'est 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 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 [24].



**Figure 5** : Principe de l'osmose et de l'osmose inverse [24].

## 2.2. Pression osmotique

La pression osmotique peut être calculée par la loi de Van't Hoff qui stipule 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 n ions, la pression osmotique sera n fois supérieure [24].

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

$$\Pi = n.C.R.T$$

Avec :  $\Pi$  : Pression osmotique (bar)

n : Nombre d'ions dissociés dans le cas d'un électrolyte

C : Concentration molaire ( $\text{mol.l}^{-1}$ )

R : Constante des gaz parfaits ( $0,082 \text{ l.bar.mol}^{-1}\text{K}^{-1}$ )

T : Température absolue (Kelvin).

## 3. Procédé d'Osmose Inverse

### 3.1. Conception générale d'une installation d'osmose inverse

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

- Membranes et modules
- pompe à haute pression

- Plusieurs cuves de stockage, ainsi que tous les appareils de mesures nécessaire (conductimètre, débitmètre, manomètre, thermomètre,...)
- pompes doseuses
- le poste de prétraitement
- le poste de nettoyage (C.I.P) [25].

### **3.2. Description générale de processus de traitement de l'eau par Osmose Inverse**

L'unité d'OI est dotée de 4 lignes d'une capacité de production de 8000 m<sup>3</sup> par jour, elle est alimentée en eau de forage sédimentée (eau brute) préalablement traitée avant son passage à travers des filtres à sable (10 bacs), ce traitement consiste à injecter en permanence 1,5 à 2 mg/l du hypochlorite de sodium et ainsi de flocculant (TD – WASH 1) à l'aide des pompes doseuse.

L'eau préfiltrée est collectée dans un réservoir de 170 m<sup>3</sup>, ensuite passe par un système de vannes et parallèlement reçoit une dose de métabisulfite de sodium et du séquestrant *TD – ASCAL (annexe)*, puis l'eau préfiltrée traverse les filtres à cartouches ayant un seuil de coupure de 5 µm.

L'eau filtrée parcourt le 1<sup>er</sup> étage de l'osmoseur sous pression de l'ordre de 18 bars exercés par 3 pompes géantes à haute pression.

Le perméat (eau osmosée) est stocké dans un bac de 200 m<sup>3</sup>, et les rejets de 1<sup>er</sup> sont introduits dans le 2<sup>ème</sup> étage de l'osmoseur sous une pression de 10 bars.

Le processus général de traitement de l'eau par osmose inverse est schématisé dans la figure 6.

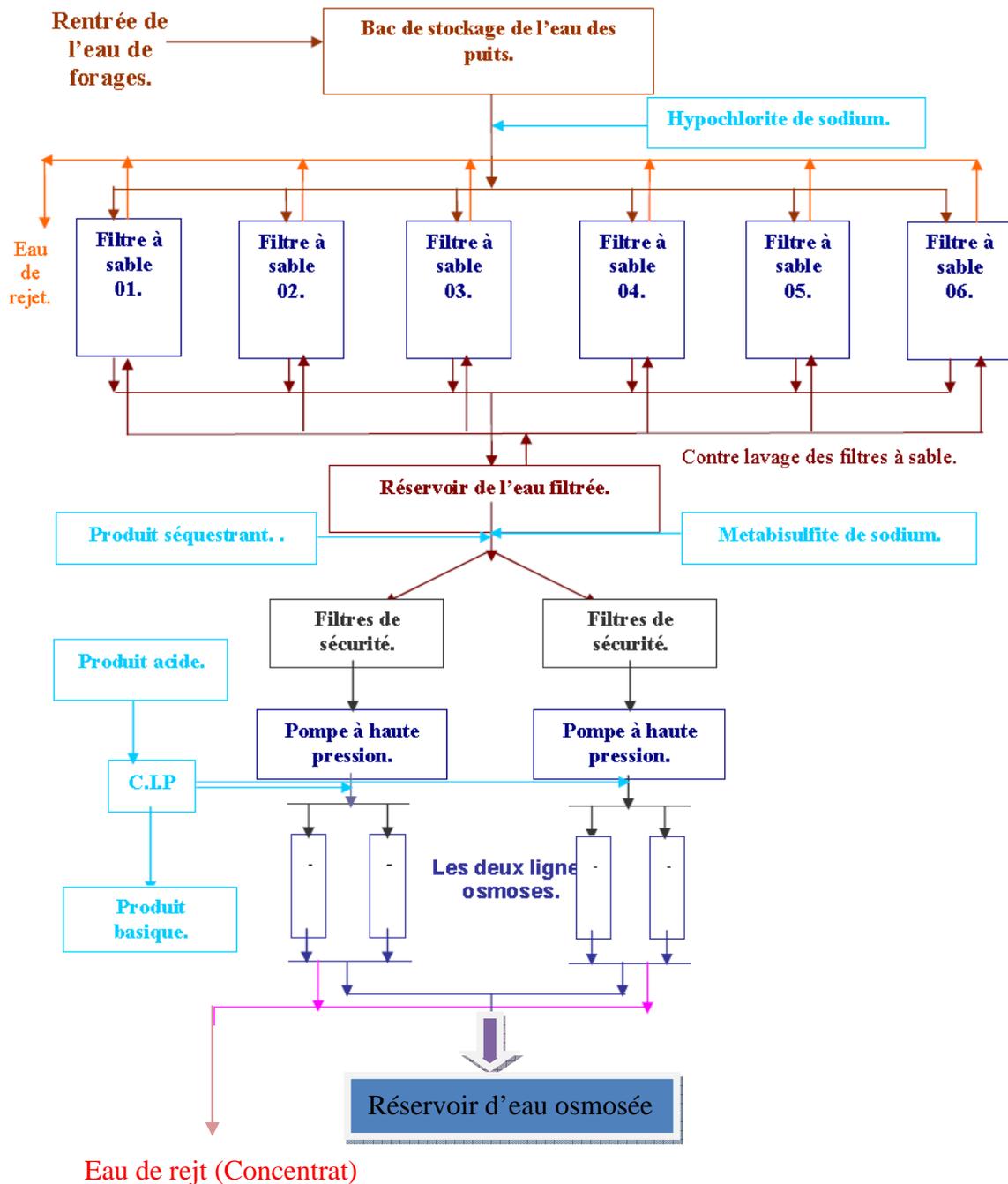


Figure 6 : Processus de traitement de l'eau par Osmose Inverse [45].

### 3.3. Membranes et modules d'osmose inverse

Les membranes d'osmose inverse utilisées dans l'unité d'OI sont de type dense fabriquées par l'entreprise FILMTEC, elles sont constituées d'une superposition de plusieurs couches de polymères (membranes composites) souvent de polyamide. Les autres matériaux constituant le support n'interviennent pas dans le procédé.

La séparation des espèces dissoutes est due principalement aux propriétés chimiques du polymère de surface.

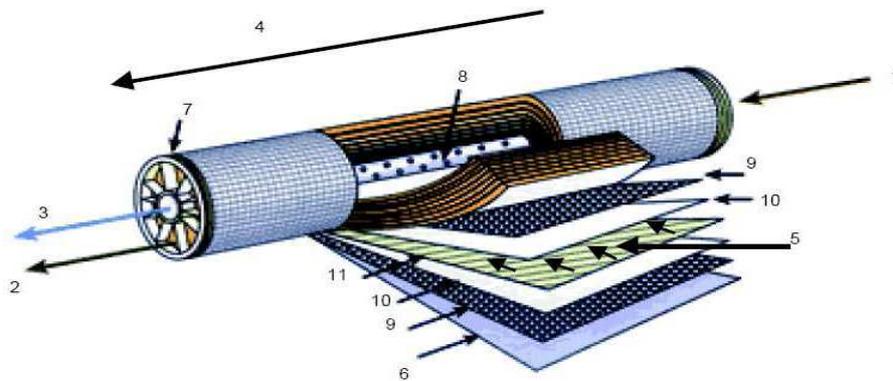
Les membranes de séparation sont insérées dans un dispositif appelé module afin d'obtenir un espace d'échange plus important. Un certain nombre de modules (6 au niveau de Cevital) disposées selon divers arrangements forme une unité ou une vicelle.

Dans chaque module spiral, les membranes sont enroulées autour d'un tube central destiné à collecter le perméat.

La solution à filtrer circule parallèlement au tube central dans les espaces ménagés entre les deux faces actives des membranes par des espaceurs (écoulement tangentiel).

Les tubes de pression sont raccordés entre eux par des connecteurs, dont le taux de conversion est fonction du nombre de modules placés en série.

Ce montage en série est subdivisé en deux stades, la saumure rejetée du 1<sup>er</sup> étage est utilisée pour l'alimentation du 2<sup>eme</sup> étage. Ce mode de fonctionnement aboutit à un facteur de conversion aux environ 73%.



- |  |                                      |
|--|--------------------------------------|
| 1. Entrée d'eau.                                 | 2. Sortie de concentrât.             |
| 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 7 : Structure interne d'une membrane [26].**

### 3.4. Procédé de prétraitement dans l'osmose inverse

Le prétraitement de l'eau avant osmose inverse est absolument nécessaire car les membranes d'osmose inverse sont très sensibles au colmatage et une bonne qualité de l'eau en entrée des modules d'osmose inverse est indispensable pour assurer des performances stables de l'osmose inverse sur le long terme.

Le prétraitement a pour objectif la réduction du colmatage, l'augmentation de la durée de vie des membranes, l'amélioration de la qualité de l'eau produite et la maintenance des performances de l'osmose inverse.

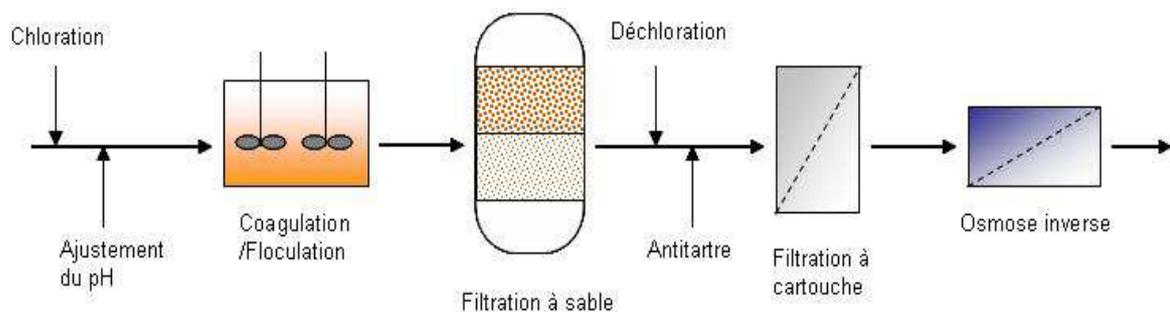
Les procédés de prétraitement peuvent être divisés en deux catégories : les prétraitements physiques et les prétraitements chimiques. Les prétraitements physiques incluent les préfiltres mécaniques, les filtres à cartouche, la filtration à sable et la filtration membranaire. Le prétraitement chimique consiste en l'addition d'inhibiteurs d'entartrage, de coagulants, de désinfectants et de polyélectrolytes.

A l'heure actuelle, la plupart des usines d'osmose inverse utilisent un procédé de prétraitement conventionnel qui généralement consiste en un prétraitement physique et chimique [24].

#### 3.4.1. Prétraitement conventionnel

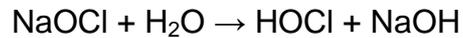
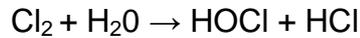
Le prétraitement conventionnel est encore très majoritairement utilisé dans les usines de dessalement. La filière de prétraitement conventionnel comporte généralement les étapes suivantes :

**Préfiltration grossière** : le rôle principal de la préfiltration est d'éliminer les gros matériaux qui peuvent endommager les installations et réduire l'efficacité globale du procédé de traitement.

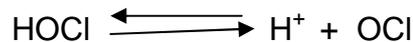


**Figure 8** : Prétraitement conventionnel typique [24].

**Chloration** : la chloration est nécessaire pour désinfecter et éviter la croissance biologique qui cause le biocolmatage de la membrane. Le chlore est ajouté sous la forme d'hypochlorite de sodium (NaOCl) ou de gaz dichlore (Cl<sub>2</sub>) qui est hydrolysé sous la forme d'acide hypochloreux (HOCl).



Dans l'eau, l'acide hypochloreux se dissocie en ions hydrogène (H<sup>+</sup>) et hypochlorite (OCl<sup>-</sup>).



La somme du Cl<sub>2</sub>, NaOCl, HOCl et OCl<sup>-</sup> constitue le chlore résiduel libre. Une concentration en chlore résiduel libre de 0,5 à 1,0 mg.l<sup>-1</sup> doit être maintenue le long de la filière de prétraitement pour empêcher le biocolmatage de la membrane.

**Ajustement du pH** : l'addition d'acide comme l'acide sulfurique (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) est nécessaire pour empêcher l'entartrage par CaCO<sub>3</sub>.

**Coagulation et floculation** : les coagulants sont ajoutés pour que les particules colloïdales puissent s'agglomérer. Pour améliorer la procédure de floculation, des floculants comme les polymères cationiques ou anioniques sont également rajoutés. Les coagulants les plus utilisés sont le chlorure ferrique (FeCl<sub>3</sub>), le sulfate ferrique (Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>), le sulfate d'aluminium (Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>).

**Filtration sur sable mono- ou bicouche** : la filtration sur sable est nécessaire pour éliminer les agglomérats produits lors de la coagulation.

Une filtration sur sable bicouche est suffisante pour atteindre un SDI inférieur à 4 et effectivement éliminer des grands débris et les agglomérats si le système est alimenté par une eau brute de bonne qualité [27].

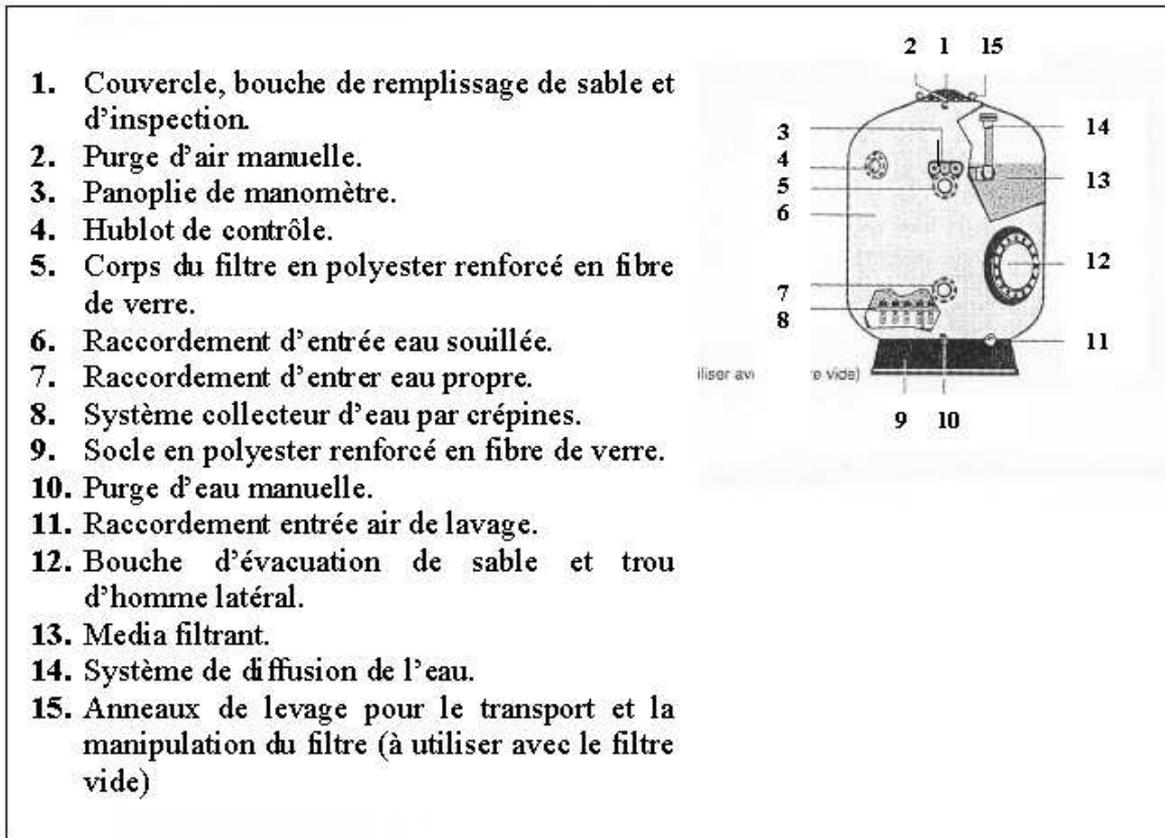


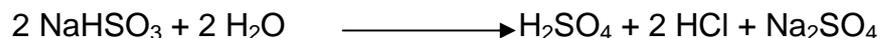
Figure 9 : Les différents constituants des filtres à sable [45].

**Déchloration et antitartre** : la déchloration doit être effectuée avant l'osmose inverse car le chlore résiduel peut détériorer les membranes d'osmose inverse. Des fournisseurs de membranes donnent une dégradation de la membrane après des temps de contact de 200 à 1000 heures avec une concentration en chlore résiduel libre de 1 mg.l<sup>-1</sup> pour des membranes composites. La dégradation sera plus rapide dans le cas de solutions alcalines et de températures élevées.

Normalement, le métabisulfite de sodium (Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) est utilisé pour la déchloration, pour son efficacité et son faible prix. Dans l'eau, il produit du bisulfite de sodium :



Le bisulfite de sodium réduit l'acide hypochloreux :



Le métabisulfite de sodium est nécessaire théoriquement à 1,34 mg pour 1 mg de chlore résiduel.

En pratique pour enlever 1 mg de chlore résiduel libre, il faut typiquement 3 mg de métabisulfite de sodium.

Le séquestrant (TD-ASCAL) est dosée dans l'eau pour dispersé les carbonates de calcium, les sulfates de calcium, les sulfates de baryum, ...etc. et retarde leur précipitation.

**Filtration à cartouche** : la dernière étape du prétraitement conventionnel est la filtration sur cartouche avec une taille de maille de 5 à 10  $\mu\text{m}$  pour protéger les membranes d'osmose inverse.

Le choix du prétraitement conventionnel doit donc être adapté selon la qualité de l'eau brute pour assurer la meilleure qualité de l'eau possible en amont des membranes d'osmose inverse [28].

Les inconvénients du procédé de prétraitement conventionnel sont :

- Variation de qualité de l'eau d'alimentation vers les membranes d'osmose inverse.
- Difficultés de fournir un SDI constant inférieur à 4
- Difficultés d'enlever des particules plus petites que 10-15  $\mu\text{m}$
- Grande taille de l'installation due à la vitesse de filtration faible
- Addition de coagulant qui influence les performances des membranes d'OI.
- Consommation de réactifs chimiques
- Consommation considérable d'espace et de main d'œuvre [29].

### 3.4.2. Prétraitement par les procédés membranaires

En raison des limitations du prétraitement conventionnel qui viennent d'être évoquées, un intérêt croissant s'est porté sur l'utilisation de procédés membranaires basse pression tels que la microfiltration, l'ultrafiltration et la nanofiltration. Les avantages majeurs des procédés membranaires sont les suivants :

- Flux de l'osmose inverse significativement élevé
- Plus faible consommation de produit chimique
- Augmentation de la durée de vie des membranes d'osmose inverse
- Capacité de fonctionnement à une qualité de l'eau d'alimentation variée
- Désinfection et nettoyage de l'osmose inverse moins nécessaire [30].

#### **4. Caractéristiques principales d'une unité d'osmose inverse**

##### **4.1. Taux de conversion**

Le taux de conversion (TC) est, par définition, la fraction du débit de liquide qui traverse la membrane :

$$TC = \frac{Q_p}{Q_o}$$

##### **4.2. Sélectivité**

La sélectivité d'une membrane est définie par le taux de rejet R (ou taux de rétention) de l'espèce que la membrane est censée retenir:

$$R = \frac{C_o - C_p}{C_o} = 1 - \frac{C_p}{C_o}$$

Où  $C_o$  est la concentration de l'espèce à retenir dans la solution et  $C_p$  est la concentration de la même espèce dans le perméat.

##### **4.3. Débit spécifique (Densité du flux volumique)**

C'est le débit par unité de surface, il s'exprime le plus souvent en  $l \cdot h^{-1} \cdot m^{-2}$ .

##### **4.4. Taux de production**

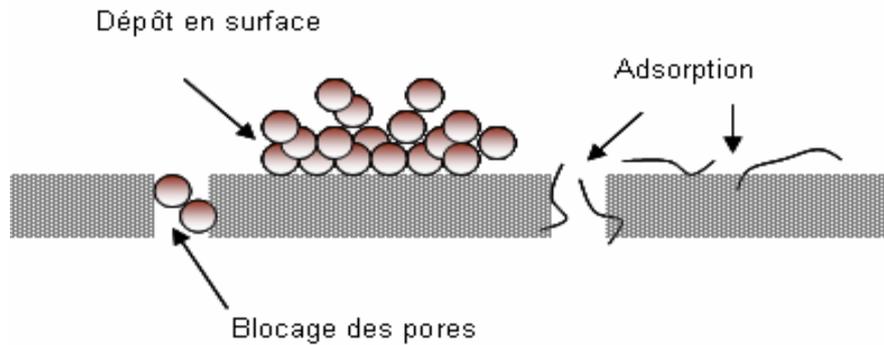
C'est la capacité d'un osmoseur à produire une quantité d'eau donnée en temps donnés, il est exprimé en  $l/h$ ,  $m^3/h$  ou  $m^3/jour$  [34].

#### **5. Limitation de l'osmose inverse**

Le colmatage est l'ensemble des mécanismes qui limitent le flux de perméation à travers une membrane, il résulte de l'accumulation de macromolécules à la surface ou à l'intérieur des membranes [31].

On distingue 4 catégories de colmatage :

(i) la précipitation des composés inorganiques sur la membrane (l'entartrage), (ii) la formation du dépôt par des particules ou des matières organiques sur la membrane, (iii) la formation du biofilm et l'excrétion in situ d'exopolymères sur la membrane (le bio-colmatage), et (iv) l'adsorption dans la membrane.



**Figure 10** : Schématisation des différents mécanismes de colmatage d'une membrane [32].

### 5.1 Colmatage par entartrage

L'entartrage sur une membrane est principalement causé par : (i) le dépassement de la limite de solubilité des composants inorganiques, c'est-à-dire qu'il y a une sursaturation et (ii) l'augmentation rapide de la vitesse de déposition.

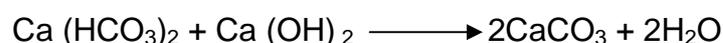
Des sels sursaturés vont précipiter sur la surface de la membrane et construire une couche fine qui bloque le transfert de matière à travers la membrane. L'entartrage a toujours lieu à la surface de la membrane car la concentration des sels est augmentée près de la membrane par la polarisation de concentration. Les dépôts de tartre rencontrés le plus fréquemment dans le dessalement comportent du carbonate de calcium ( $\text{CaCO}_3$ ), 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 ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CaSiO}_3$ ,  $\text{MgSiO}_3$ , etc....).

Luo et Wang (2001) ont montré que des complexes colloïdaux (Si-Al-Fe) constituent l'entartrage principal de la membrane d'osmose inverse.

La précipitation du silicium est probablement expliquée par l'effet de la présence des ions trivalents, à savoir  $\text{Al}^{3+}$  et  $\text{Fe}^{3+}$  [33].

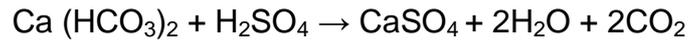
L'entartrage peut être éliminé par différents traitements chimiques :

(i) Précipitation à la chaux : ce procédé est employé lorsque la dureté carbonatée est due essentiellement aux ions  $\text{Ca}^{2+}$ . En revanche, l'addition de chaux entraîne la précipitation du  $\text{CaCO}_3$  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.

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



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

(iv) Inhibiteurs d'entartrage : c'est ce procédé qui est le plus souvent utilisé. Les produits chimiques nommés « tartriques » sont injectés à très faible dose 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 sont les polyphosphates, les organophosphonates et les polymères carboxyliques [34].

## **5.2 Colmatage par dépôt**

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

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

(ii) le colmatage par la matière organique : Les matières organiques dans les eaux 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, la dégradation de la matière organique produit une matrice de macromolécules appelée acide humique [35].

### 5.3 Le bio-colmatage

Les eaux contiennent des microorganismes tels que des bactéries, 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, l'étape suivante est l'adhésion des microorganismes sur la surface de la membrane et par la suite la production de polymère extracellulaire.

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 [36].

## 6. Estimation du potentiel de colmatage

Différentes méthodes d'évaluation du potentiel de colmatage d'une eau ont été développées. La plus utilisée est le Silt Density Index (SDI) [24].

### SDI (Silt Density Index)

Le SDI est considéré comme un paramètre représentatif du potentiel de colmatage d'une eau brute d'alimentation dans un procédé d'osmose inverse. Un essai de SDI consiste en la filtration d'un échantillon d'eau à travers une membrane de 0,45 µm (microfiltration) de surface filtrante  $1,73 \times 10^{-4} \text{ m}^2$  à une pression transmembranaire constante de 2,07 bar. Le SDI est déterminé par une comparaison des temps de filtration,  $t_1$  et  $t_2$ , nécessaires pour obtenir un volume de filtration fixe respectivement au temps 0 et après un temps  $t$ .

$$SDI_t = \frac{\left(1 - \frac{t_1}{t_2}\right) * 100}{t} \quad (\text{Equation})$$

Avec :

SDI Silt Densité Index (%min<sup>-1</sup>)

$t_1$  temps initial pour filtrer un échantillon de 500 ml (sec)

$t$  temps après le départ de la mesure (min)

$t_2$  temps pour filtrer un échantillon de 500 ml après le temps T (sec)

Le SDI<sub>15</sub> (t = 15 minutes) est défini par l'ASTM comme le temps nécessaire pour des essais précis et normalisés. Néanmoins, des temps (t) plus faibles (3,5 et 10 minutes) sont utilisés dans la pratique afin d'éviter un colmatage important et un flux trop faible [37].

Le SDI peut être considéré comme un outil pour caractériser une fraction particulière de l'eau et permettre de comparer des eaux entre elles plus que de caractériser le colmatage d'une membrane d'osmose inverse. En effet, on peut remarquer qu'il n'utilise pas une membrane d'osmose inverse. De plus, la pression utilisée pendant ce test est très inférieure à la pression utilisée pendant l'opération d'osmose inverse. Le pouvoir de colmatage est donc différent. Enfin, les essais de SDI sont effectués en mode frontal et pas en tangentiel comme l'osmose inverse, le flux du perméat est beaucoup plus élevé [38].

Toutefois, malgré toutes les limites posées par ce test, c'est celui qui est encore utilisé en routine par les traiteurs d'eau. On considère généralement que le SDI<sub>15</sub> de l'eau d'alimentation doit être inférieur à 4 en osmose inverse. Les prétraitements sont mis au point pour amener le SDI de l'eau en deçà de cette valeur.

## **7. Procédure de nettoyage des membranes**

La procédure de nettoyage est mise en place afin d'éliminer les éléments encrassant de la tuyauterie et les agents responsables du colmatage des membranes. Cette procédure est empirique et effectuée lorsqu'un ou plusieurs paramètres opératifs varient de 10 à 15 % (comme la pression d'exercice, la différence de pression, la conductivité, le débit de perméat).

Il existe plusieurs types de lavage des membranes ils sont liés essentiellement au degré d'entassement de ces dernières ; ainsi il est lié à la nature des précipitations et des contaminants [44].

## **Chapitre III : Matériel et méthodes**

L'analyse des caractéristiques physico-chimiques présente un rôle très important dans le contrôle de qualité de l'eau, d'où la nécessité qu'elle soit réalisée à la fois au cours et après le traitement.

### **1. Echantillonnage**

Le prélèvement d'un échantillon d'eau est une opération délicate à laquelle le plus grand soin doit être apporté ; il conditionne les résultats analytiques et l'interprétation qui en sera donnée. L'échantillon doit être homogène, représentatif et obtenu sans modifier les caractéristiques physico-chimiques et microbiologique de l'eau (gaz dissous, matières en suspension,... etc.), ainsi dans des conditions d'aseptie totale.

Le prélèvement consiste à ouvrir une vanne de sortie d'eau, puis laisser couler l'eau quelques minutes et remplir des bouteilles en verre de 500 ml étiquetées.

Les échantillons récupérés sont immédiatement acheminés au laboratoire pour analyse. Quant aux analyses, on distingue des analyses physico-chimiques et autres microbiologiques.

### **2. les paramètres physico-chimiques**

#### **2.1. Méthodes électrochimiques**

##### **2.1.1. Détermination de pH**

**Principe :** le pH s'effectue par mesure de la différence de potentiel entre l'électrode de mesure (électrode de verre) et une électrode de référence à potentiel connu (électrode au calomel à concentration saturée en KCl) [9].

##### **Mode opératoire**

Avant la mesure, le pH-mètre est étalonné à l'aide de deux solutions tampons de pH 4 et pH 7 ou 7 et 10 (selon la gamme de mesure à réaliser) ;

La mesure consiste à plonger l'électrode en verre dans le bécher contenant l'eau à analyser. la lecture se fait après stabilité de la valeur affiché.

### 2.1.2 Mesure de la conductivité

La mesure de la conductivité est réalisée à l'aide d'un appareil, le conductimètre de marque HACH HQ40D.

#### Mode opératoire

- Introduire l'électrode du conductimètre dans la prise d'essai ;
- Lire la valeur affichée sur l'appareil.

#### Expression des résultats

La conductivité est exprimée en  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

## 2.2. Méthodes titrimétriques

### 2.2.1. Détermination de l'alcalinité (TA et TAC)

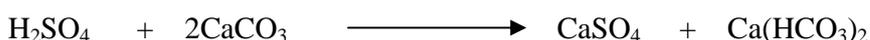
**Principe :** Le titre alcalimétrique (TA) rend compte de la concentration d'une eau en ions carbonate  $\text{CO}_3^{2-}$  et  $\text{OH}^-$ , le titre alcalimétrique complet ou total (TAC) rend compte de la concentration des ions carbonate  $\text{CO}_3^{2-}$ , hydrogencarbonate  $\text{HCO}_3^-$  et hydroxyde  $\text{OH}^-$  contenues dans une eau.

Lorsque le pH de l'eau est inférieur à 8,3, uniquement le TAC est mesuré par un titrage avec une solution de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  en présence d'un indicateur coloré, le méthyle orange.

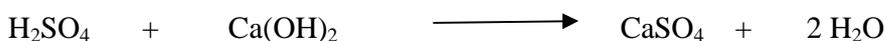
Dans le cas où le pH est supérieur à 8,3, on procède à deux mesures successives:

- Titrage avec  $\text{H}_2\text{SO}_4$  en présence de phénolphtaléine permet de mesurer le TA ;
- Addition de méthyle orange et poursuite du titrage jusqu'au virage du milieu en jaune orangé pour mesurer le TAC [40].

#### Réactions chimiques du TA :



#### Reactions chimiques du TAC:



**Mode opératoire :**

Prélever 100 ml de l'eau à doser et les placer dans un bécher. si le pH est supérieur à 8,3 Ajouter 3 gouttes de phénolphtaléine puis titrer par addition successive d'une solution acide contenue dans la burette, jusqu'à l'obtention d'une solution de couleur faiblement rosée. On note le volume  $V'$  correspondant à la mesure de TA. Puis ajouter quelques gouttes de méthyle orange et compléter le titrage avec  $H_2SO_4$  jusqu'au virage de couleur du jaune au jaune orangé. Noter le volume ( $V''$ ) de TAC.

Si avant toute addition d'acide, la phénolphtaléine reste incolore, alors le TA est nul (il n'y a pas de "bases fortes" dans l'eau). on procède directement à la mesure de TAC tel que précédemment décrit.

**Expression des résultats**

Si le pH < 8,3 => T.A. =  $[OH^-] + [CO_3^{2-}] = V' (H_2SO_4) \cdot 2$  (F)

Si le pH > 8,3 => T.A.C =  $[OH^-] + [CO_3^{2-}] + [HCO_3^-] = [V'(H_2SO_4) + V''(H_2SO_4)] \cdot 2$  (F)

$$TA = [V' \times N_{H_2SO_4} \cdot Eq_{CaCO_3}] \cdot 1000/V$$

$$TAC = [V'' \times N_{H_2SO_4} \cdot Eq_{CaCO_3}] \cdot 1000/V$$

.Où  $V$  : le volume de la prise d'essai = 100 ml.

$V'$  : première volume de titrage pour la détermination du TA ;

$V''$  : volume complémentaire de titrage pour la détermination du TAC.

$N$  : Normalité de  $H_2SO_4$  (0,04N).

$Eq_{CaCO_3}$  : 5F et 1F = 10 mg  $CaCO_3/l = 0,2$  meq/l.

**2.2.2. Détermination de titre hydrométrique (TH)****Principe :**

Le TH total est déterminé par dosage complexométrique en présence de sel di sodique (EDTA) et du Noir Eriochrome comme indicateur coloré. Le sel disodique de l'EDTA (complexon) ou acide éthylènediaminetétraacétique se combine aux ions calcium puis magnésium en donnant des complexes solubles peu dissociés. La fin de la réaction est mise en évidence par le noir Eriochrome T, qui vire lorsque les dernières traces d'ions magnésium sont complexées l'EDTA [07].

## Réactions chimiques du TH :

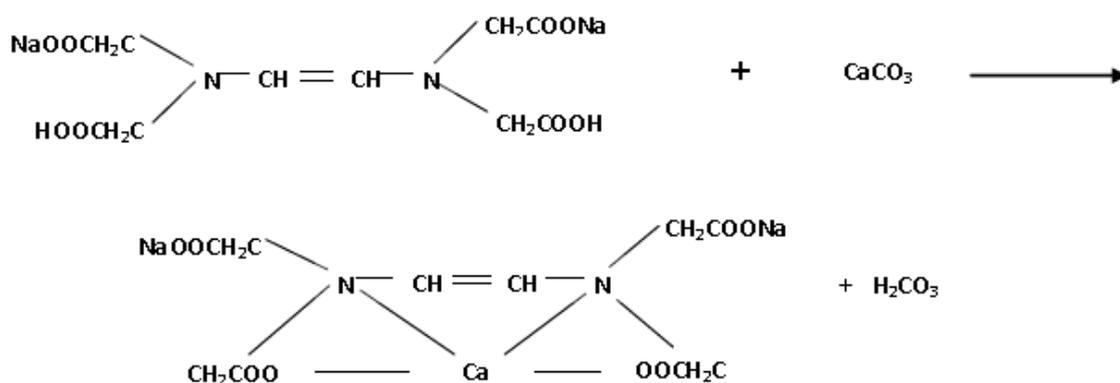


Figure 11 : La réaction de compléxation de l'EDTA avec le  $\text{Ca}^{2+}$  [07].

## Mode opératoire :

Prendre 100 ml d'eau à analysée dans un erlenmeyer de 250 ml ;

Ajouter 4 ml de la solution tampon (hydroxyde d'ammonium) pour obtenir le pH10 ;

Ajouter 15 gouttes de solution de NET ;

Titration avec une solution d'EDTA, jusqu'à l'apparition d'une couleur bleu.

## Expression des résultats

$$\text{TH} = [V_{\text{EDTA}} \times N_{\text{EDTA}} \cdot \text{Eq}_{\text{CaCO}_3}] \cdot 1000/V \text{ (}\text{F}\text{)}$$

Tel que  $V_{\text{EDTA}}$  est le volume de titrage.  $V$  : volume de la prise d'essai (100ml).

$N$  : Normalité de l'EDTA (0,04N).

$$\text{Eq}_{\text{CaCO}_3} : 5\text{F} \quad \text{et} \quad 1\text{F} = 10 \text{ mg CaCO}_3/\text{l} = 0,2 \text{ meq/l.}$$

2.2.3. Détermination du titre hydrotimétrique calcique (TH  $\text{Ca}^{++}$ ) :

Le titre hydrotimétrique calcique ou le TH  $\text{Ca}^{++}$  est une mesure globale de la concentration en sels dissous calcium dans l'eau.

**Principe :** Pour le dosage du calcium, on procède de la même manière que pour le titre hydrotimétrique total en changeant uniquement l'indicateur coloré (N.E.T) par du MUREXIDE. Le pH est porté à 12-13 par addition de soude pour faire précipiter les ions  $\text{Mg}^{++}$  sous formes d'hydroxydes

## Mode opératoire :

- Prendre 100 ml de l'eau à analyser dans un ERLLENMEYER ;

- Ajouter 25 gouttes de NaOH à 5 N (soude), en remuant délicatement ;

- Ajouter une pincée de Murexide (indicateur coloré) et mélanger ;

- Une coloration rose doit alors se développer ; titrer alors avec la solution d'EDTA (sel tétrasodique de l'acide Ethylène Diamine Tétra Acétique) à 0,04N jusqu'au virage du rose au violet [07].

**Expression des résultats :**

$$\text{TH Ca}^{++} (\text{f}) = [V_{\text{EDTA}} \times N_{\text{EDTA}} \cdot \text{Eq}_{\text{CaCO}_3}] \cdot 1000/V$$

✚ TH Ca<sup>++</sup> : Titre hydrométrique calcique.

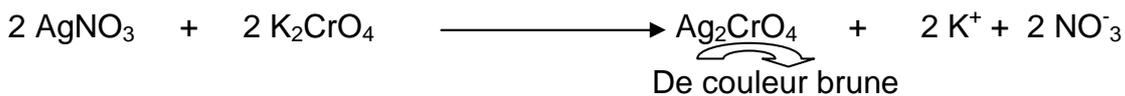
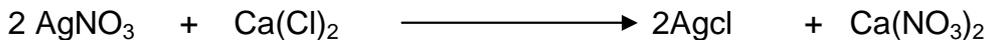
✚ f : Degrés français (1f = 10 mg/l de CaCO<sub>3</sub>).

✚ V : Chute de la burette en ml

#### 2.2.4. Dosage des Chlorures (Cl<sup>-</sup>)

**Principe :** Les chlorures sont dosés en milieu neutre par une solution titrée de nitrate d'argent en présence de chromate de potassium. La fin de la réaction est indiquée par l'apparition de la teinte brune rouge caractéristique du chromate d'argent.

**Les réactions chimiques :**



#### Mode opératoire

Introduire 100 ml d'eau à analyser ;

Ajouter 5 gouttes de la solution chromate de potassium à 10 % ;

Titre alors au moyen d'une burette la solution de nitrate d'argent jusqu'à l'obtention d'une teinte rouge brique.

**Expression des résultats**

$$[\text{Cl}^-] = V_{\text{AgNO}_3} \times \text{Eq Cl}^- \times N_{\text{AgNO}_3} / V \quad (\text{F})$$

$V_{\text{AgNO}_3}$  : le volume de nitrate d'argent titré.       $V$  : 100 ml d'eau à analysée

$N$  : Normalité de la solution nitrate d'argent.       $\text{Eq Cl}^- = 35,45 \text{ mg/l}$ .

**2.3. Méthodes spectrophotométriques :** Au niveau du laboratoire des eaux, les méthodes d'analyses spectrophotométriques sont appliquées pour déterminer la concentration des minéraux.

### **2.3.1. La teneur en Fer**

Le fer existe sous forme de Fe (II) ou de Fe (III).

**Principe :** Le fer(II) réagit avec un dérivé de la triazine pour donner un complexe violet. La capsule *NANOFIX* sert pour la réduction de Fe(III) en Fe(II) et pour l'ajustage du pH.

#### **Mode opératoire :**

Dans une cuve ronde, ajouter 04 ml de l'échantillon à analyser et un NANOFIX R<sub>2</sub> (fermer le tube de NANOFIX immédiatement après l'addition de R<sub>2</sub>) et mesurer après 10 mn. Le blanc est préparé avec 04 ml d'eau distillée et un NANOFIX R<sub>2</sub>. La lecture se fait à une longueur d'onde de 540 nm.

R<sub>2</sub> : est un Kit chimique pour le dosage du Fer.

### **2.3.2. La teneur en Silice:**

La silice est un composé chimique (dioxyde de silicium) qui entre dans la composition de nombreux minéraux, de formule SiO<sub>2</sub>, la silice existe à l'état combiné dans les silicates, les groupes SiO<sub>2</sub> étant alors liés à d'autres atomes (Aluminium, Fer, Magnésium, Sodium,...).

**Principe :** La silice dissoute et les silicates réagissent en milieu acide avec le molybdate d'ammonium pour former de l'acide silicomolybdique jaune. Ce dernier sera réduit en un composé bleu par addition d'un réducteur.

#### **Mode opératoire :**

Introduire respectivement dans une fiole de 25 ml :

- 20 ml d'échantillon à analyser ;
- 1 ml de R<sub>1</sub>, mélanger et attendre 3 mn ;
- 1 ml de R<sub>2</sub>, mélanger et attendre 1 mn ;
- 1 ml de R<sub>3</sub>

Ajuster à 25 ml avec de l'eau distillée et mesurer après 15 mn après avoir transvaser dans des cuves rectangulaires. La lecture se fait à une longueur d'onde de 690 nm.

R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub> et R<sub>3</sub> sont des kits chimiques pour le dosage de la silice.

### **2.3.3. Le dosage du Chlore libre :**

Le chlore libre est un gaz halogène de couleur jaune vert, contenue dans l'hypochlorite de sodium ajouté à l'eau de forage. Il agit comme un désinfectant et un régénérant de l'oxyde de manganèse (MnO<sub>2</sub>).

**Principe :** Le chlore libre, réagit avec la DPD (N,N-diéthyl-1,4-phénylènediamine) pour donner une coloration rouge-violette par addition d'une quantité définie d'ions iodures. Les turbidités provoquées par des particules en suspension peuvent être éliminées par centrifugation de l'échantillon. Les oxydants comme le bromure, les bromamines, l'iode et les composés de manganèse de haute valence simulent le chlore.

#### **Mode opératoire :**

Introduire respectivement dans une fiole de 25 ml :

- 20 ml d'échantillon à analyser ;
- 1 ml de R<sub>1</sub>, mélangé ;
- Une pincée de R<sub>2</sub>, mélangé ;

Ajuster à 25 ml avec de l'eau distillée et mesurer après 30 secondes après avoir transvaser dans des cuves rectangulaires. La lecture se fait à une longueur d'onde de 540 nm.

R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub> sont des kits chimiques pour le dosage du Chlore libre.

### **2.3.4. Détermination de la concentration du Manganèse**

C'est un métal de transition ; gris argent avec une teinte rosé. Le minerai le plus abondant est la pyrolusite MnO<sub>2</sub>, il est utilisé dans les process industriels des filtres à sables.

**Principe :** Les ions manganèse réagissent en milieu alcalin avec la formaldoxime pour donner un complexe orange-rouge.

**Mode opératoire :**

Dans une cuve ronde, ajouter 04 ml de l'échantillon à analyser et 0.5 ml de R<sub>2</sub>. Fermer, mélanger et attendre une minute, puis ajouter une cuillère de mesure de R<sub>3</sub> et mesurer après 5 mn.

Le blanc est préparé avec 04 ml de l'échantillon à analyser, 0.5 ml de R<sub>2</sub> et une cuillère de mesure de R<sub>3</sub>.

R<sub>2</sub>, R<sub>3</sub> sont des kits chimiques pour le dosage du manganèse.

**2.3.5. Dosage d'Aluminium**

La forme soluble dans l'eau de l'aluminium, c'est-à-dire les ions, est la plus nocive. En général, on trouve ces ions aluminiums en combinaison avec d'autres ions, par exemple sous forme de chlorure d'aluminium. L'aluminium est quasiment insoluble dans l'eau à des pH supérieurs à 6. En revanche, sa solubilité croît rapidement en milieu acide.

**Principe**

L'ériochromocyanine R développe avec l'aluminium en solution faiblement acide une coloration rouge-violette.

Les échantillons fortement acides et tamponnés doivent être ajustés à pH 6.

**Mode opératoire :**

Dans une cuve ronde ajouter :

- 0,5 ml de R<sub>2</sub> ;
- 0,5 ml de R<sub>3</sub> ;
- 04 ml de l'échantillon à analyser ;
- 0,5 ml de R<sub>4</sub> ;
- fermer et mélanger et mesurer après 5 mn.

La lecture se fait à une longueur d'onde de 540 nm.

R<sub>2</sub>, R<sub>3</sub>, R<sub>4</sub> sont des kits chimiques pour le dosage de l'aluminium.

**3. Les paramètres microbiologiques :****3.1. Dénombrement de la flore mésophile aérobie totale****Principe :**

Les germes aérobies représentent un groupe hétérogène dont la propriété commune est d'avoir un optimum de croissance à 30 °C, ils peuvent donner naissance de colonies après 24 heures d'incubation à 37 °C.

**Mode opératoire :**

- On prélève 1 ml de l'eau, puis on ensemence dans 04 boîtes de pétrie ;
- On fait couler la gélose nutritive préalablement fondue dans un bain marie et refroidie à une température de 48°C ;
- Le milieu de culture gélose nutritive ordinaire est mélangé en effectuant des mouvements circulaires ;
- Deux boîtes de pétrie sont incubées dans une étuve à une température de 37°C pendant 72 heures, et deux autres sont incubées à 22°C pendant 48 heures.

**Lecture :** Dénombrement des colonies après 48 heures d'incubation à 37°C.

Dénombrement des colonies après 72 heures d'incubation à 22°C.

On utilise la formule suivante :

$$\sum \text{colonies}/V (n_1+n_2 \times 0,1) \times d$$

**3.2. Dénombrement des coliformes****Définition :**

Parmi les entérobactéries gram (-) vivant notamment dans l'intestin des êtres vivants, les coliformes se caractérisent par leur aptitude à fermenter plus au moins rapidement le lactose.

Escherichia coli, est plus spécifique de toutes les bactéries de contamination fécale, l'absence des coliformes garantit l'absence des autres entérobactéries.

**Mode opératoire :**

- On introduit 50 ml de l'échantillon à analyser (solution mère) dans un flacon contenant une cloche dont le milieu de culture est le BCPL et ainsi ;
- Cinq tubes de bouillon BCPL D/C par 10 ml d'eau ;
- Cinq tubes de bouillon BCPL S/C par 1 ml d'eau ;
- On met les tubes et le flacon dans l'étuve à 37°C pendant 48 heures ;
- Après 48 heures d'incubation, si la cloche contient du gaz plus le virage de l'indicateur ; le tube est considéré (+), on doit donc confirmer la présence d'*Escherichia Coli* sur le milieu liquide de Schubert incubé à 44°C pendant 24 h à 48h ;
- Après 48h on ajoute 2 à 3 gouttes de réactifs de KOVACKS dans le tube exempt d'indole.

**Lecture :** Apparition de l'anneau rouge confirme la présence des coliformes fécaux, si non le test est négatif.

**3.3. Recherche des streptocoques fécaux « streptocoques D »**

Les streptocoques fécaux sont des commensaux de l'intestin.

On utilise dans un premier temps un milieu d'enrichissement sélectif, le milieu de Rothe. Un trouble microbien permet de conclure que dans les tubes correspondants a cultivé au moins un streptocoque fécal présumé provenant de l'inoculum. On doit donc vérifier dans un deuxième temps si les bactéries cultivées sont bien des streptocoques. On utilise l'action de deux agents sélectifs en repiquant une anse des milieux positifs dans le milieu de Litsky.

**Mode opératoire**

Introduire de façon aseptique :

- 50 ml d'eau à analyser dans un Falcon contenant le milieu de Roth D/C ;
- 5 ml d'eau dans 5 tubes renfermant le Milieu Roth double concentré ;
- 1ml d'eau dans 5 tubes à essai contenant le milieu Roth simple concentré.

Mettre à l'étuve à 37°C pendant 48h ;

Confirmation sur EVA, mettre à l'étuve à 37°C pendant 24h.

### 3.4 Recherche des Clostridium sulfito-réducteurs (CRS)

Les CRS sont caractérisés par leurs résistances aux traitements thermiques grâce à leurs aptitudes à la sporulation.

La recherche des spores se fait après traitement thermique dans le but d'éliminer les formes végétatives sur milieu viande foie (VF) après l'ajout de 0,4 ml de sulfite de sodium et 4 gouttes d'alun de fer. [43].

#### Mode opératoire

- La recherche s'effectue dans 20 ml d'eau, réparties à raison de 5ml par tube et dans un autre contenant 1ml.
- Porter les tubes au bain marie à 80°C /10min ;
- Ensemencer les tubes avec le milieu VF ;
- Incuber à 46°C/48h.

**Lecture** : les tubes présentant un noircissement sont considérés comme positifs.

## 4. Evaluation de la performance de l'osmose inverse

### 4.1. Taux de conversion « TC »

Le taux de conversion d'une installation d'osmose inverse est la relation entre la quantité d'eau osmosée sur la quantité d'eau alimentée.

$$\text{TC} = [\text{débit d'eau osmosée produite}] / [\text{débit d'eau alimentée}] \times 100$$

### 4.2. Taux de Rétention de sels

Une membrane d'osmose inverse est sélective, caractérisée par le taux de rétention de sels, il est donné par la relation suivante :

$$\text{TR} = [1 - C_p / C_0] \times 100$$

**C<sub>0</sub>** : est la concentration en sels à retenir dans l'eau osmosée

**C<sub>p</sub>** : est la concentration de la même espèce dans le perméat.

### 4.3. Proportion de Rejet de sels (RS %)

Cette proportion correspond à la teneur de la Saumur en sels, généralement ces sels sont évacués dans les Rejets après leurs rétention par les membranes d'osmose inverse, elle peut être déterminée comme suit :

$$\text{RS\%} = [1 - \frac{C_p}{C_a}] \cdot 100$$

**RS%** : Proportion de sels rejetés ;

**C<sub>p</sub>** : Concentration en sels dans l'eau osmosée produite (elle est aussi exprimée soit en salinité ou en conductivité).

**C<sub>a</sub>** : Concentration en sels dans l'eau alimentant l'installation d'OI.

#### **4.4. Proportion de passage des Sels (PS%)**

Elle représente la proportion de sel qui traverse la membrane d'osmoseur ou celle contenus dans l'eau osmosée, Elle permet de caractériser l'état de fonctionnement de la membrane de l'osmose inverse.

$$\text{PS\%} = (100 - \text{RS\%})$$

**PS** : Proportion de sels passant la membrane ;

**RS%** : Proportion de sels rejetés.

#### **4.5. Mesure de l'indice de colmatage**

**Principe** : Le principe de l'analyse est la détermination du temps nécessaire pour le passage d'une quantité d'eau (500 ml) à travers une membrane de microfiltration d'une porosité de 0,45 µm à une pression de 2 bars [37].

##### **Mode opératoire**

- Ouvrir la vanne d'arrivée d'eau prétraitée ;
- faire passer 500 ml d'eau à travers le filtre (0,45 µm) sous une pression de 2 bar ;
- Chronométrer le temps de passage à travers le filtre (temps mesuré est t<sub>0</sub>) ;
- Laisser le filtre en place et en fonctionnement pendant 5 min ;
- Mesurer le temps t<sub>5</sub>, correspondant au temps de passage de 500 ml d'échantillon après cet intervalle de temps de 5 min ;
- Laisser couler l'eau à nouveau pendant 5 min ;
- Recommencer la mesure au bout de 10, 15, 20 et 25 min ;
- Fermer la vanne d'arrivée d'eau et retirer le dispositif de filtration.

**Expression des résultats :**

$$\text{FI} = [(1-t_0)/t] \cdot 100/T$$

FI : Fouling Index

t<sub>0</sub> : temps de passage du premier volume d'eau ;

t : temps de passage des 500 ml successifs après 5, 10, 15, 20, 25 min ;

T : temps de passage de l'échantillon d'eau (5, 10, 15, 20, 25 min).

## Chapitre IV: Résultats et discussion

### 1. Résultats et interprétations des analyses physico-chimiques

Pour une analyse large des résultats trouvés, enregistrés dans les tableaux ci-dessous, et pour savoir plus sur la qualité de l'eau à travers les différentes étapes de traitement, ainsi sur l'efficacité du procédé d'osmose inverse, on a tracé les histogrammes déterminants les différents paramètres de ce traitement.

Les tableaux II, III, IV récapitulent les paramètres ainsi que les résultats d'analyses physico-chimiques effectuées sur l'eau de forage pendant et après le traitement.

**Tableau II :** Caractéristiques physico-chimique de l'eau de forage (après injection de NaOCl).

Paramètre Echantillon	pH	Conductivité	TH total	TH Ca <sup>2+</sup>	TA	TAC	Cl <sup>-</sup>	SiO <sub>2</sub>	Cl <sub>2</sub>	Fer	Mn	Al
norme unité	7 - 8	< 2400 μS /cm	< 85 °F	0 °F	0 °F	< 40 °F	< 50 °F	< 12 ppm	1,5-3 ppm	< 3 ppm	<1,2 ppm	00 ppm
N°1	7,63	2219,1	80,95	54,43	00	28,25	44,26	2,76	0,17	0,22	0,24	0,05
N°2	7,61	2195,3	84,20	56	00	31,27	49,13	6,68	0,16	0,54	0,27	0,04
N°3	7,44	2161,3	81,87	52,67	00	30,53	49,40	3,20	0,16	0,68	0,23	00
N°4	7,55	2135	78,53	52,80	00	30	48,40	2,18	0,15	1,83	0,20	00
N°5	7,63	2081	76,73	50,07	00	28,07	45,87	6,82	0,11	0,36	0,20	0,04
N°6	7,64	2199	83,07	55,93	00	30,33	49,47	7,04	0,11	0,42	0,24	0,05
moyenne	7,58	2165,1	80,89	53,65	00	29,74	47,75	4,78	0,14	0,67	0,23	0,03

**Tableau III** : Détermination de la concentration d'eau filtrée en chlore, fer et manganèse, avant et après injection de  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ .

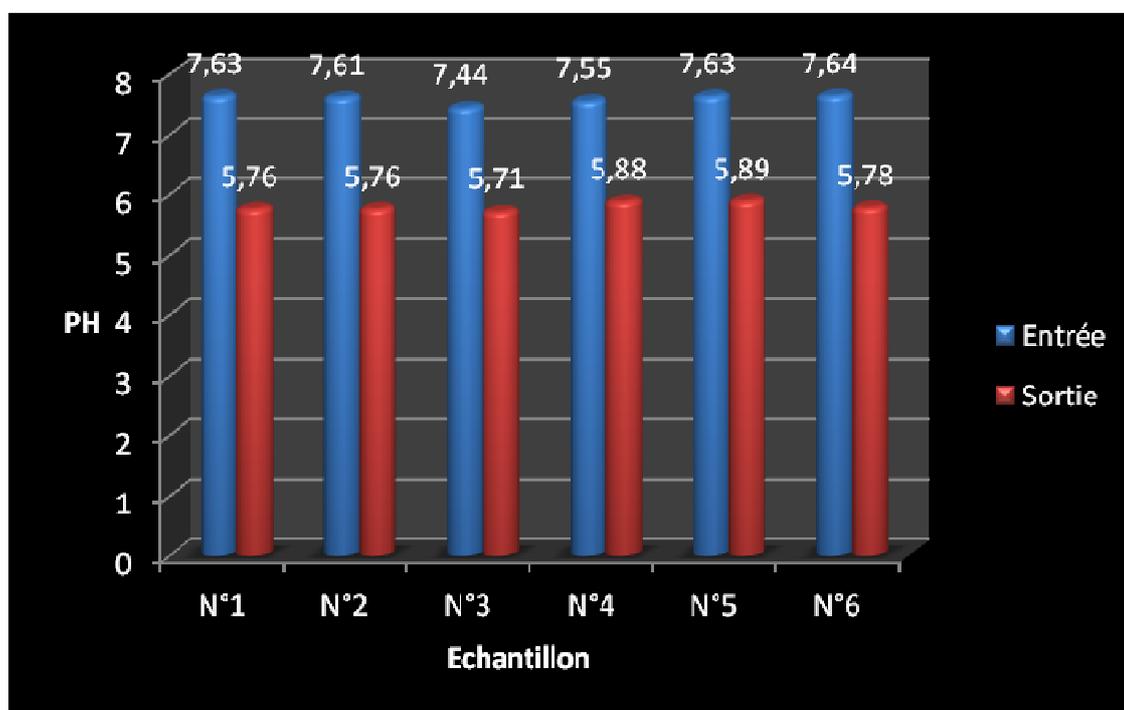
Eau filtrée	Avant injection de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$			Après injection de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$			
	$\text{Cl}_2$	Fer	Mn	Ligne 1	Ligne2	Ligne3	Ligne4
Norme	< 0,5ppm	< 0,1ppm	00 ppm	00 ppm	00 ppm	00 ppm	00 ppm
N°1	0,07	0,04	0,09	0,01	0,01	0,01	0,01
N°2	0,07	0,06	0,12	00	00	0,01	0,01
N°3	0,06	0,09	0,09	0,02	0,02	0,03	0,02
N°4	0,06	0,07	0,06	0,01	0,02	0,02	0,01
N°5	0,03	0,08	0,10	00	0,02	0,01	0,02
N°6	0,06	0,09	0,11	0,01	0,01	0,01	0,01
Moyenne	0,058	0,071	0,095	0,0083	0,0133	0,015	0,0133

**Tableau IV** : Les résultats d'analyses physico-chimiques d'eau osmosée.

Paramètre	PH	Conductivité	TH total	TA	TAC	$\text{Cl}^-$	$\text{SiO}_2$	Fer
Norme	5,5 -7,5	<100 $\mu\text{S}/\text{cm}$	< 1 °F	0 °F	<1,5°F	< 3 °F	< 4ppm	<0,1ppm
N°1	5,76	27,02	00	00	0,43	1,39	0,03	0,03
N°2	5,76	32,70	00	00	0,50	1,50	0,08	0,01
N°3	5,71	31,93	00	00	0,47	1,53	0,04	0,11
N°4	5,88	32,77	00	00	0,53	1,50	0,13	0,04
N°5	5,89	28,50	00	00	0,50	1,50	0,09	0,03
N°6	5,78	30,83	00	00	0,50	1,50	0,08	0,08
moyenne	5,8	30,62	00	00	0,488	1,486	0,074	0,05

### 1.1. Le potentiel d'hydrogène (pH)

Les mesures du pH des différentes eaux analysées sont montrées dans la figure suivante :



**Figure13** : Evolution du pH à l'entrée et à la sortie de l'unité d'Osмосe Inverse.

Selon les données concernant le pH, il est constaté que l'eau de forage est relativement neutre. En effet, les pH obtenus varient entre 7 et 8.

A la sortie des 4 osmoseurs, une réduction de pH est enregistrée, elle est de l'ordre de  $\Delta\text{pH} = 1,8$ . Cette variation est due principalement à la déminéralisation de l'eau, car les membranes d'Osмосe Inverse retiennent les sels minéraux et compris les ions hydrogénocarbonate.

Une eau osmosée de pH 5,8 environ est conforme à la norme.

### 1.2. L'alcalinité (TAC)

Les résultats obtenus précédemment sur l'alcalinité sont représentés dans la figure 14.

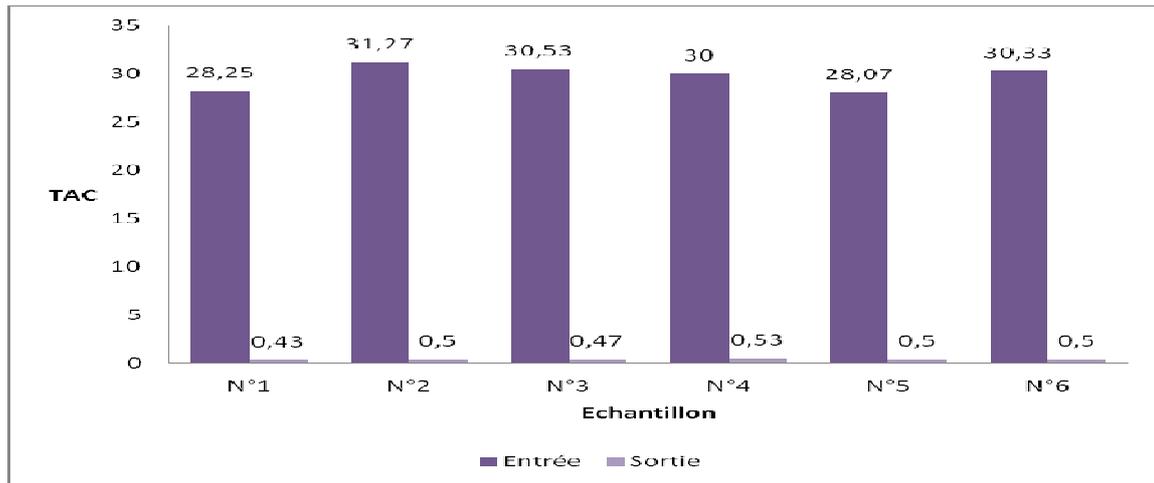


Figure 14 : Variation de l'alcalinité d'eau à l'entrée et la sortie d'unité d'OI.

D'après ces résultats ; on observe une réduction importante de la valeur de TAC, entre l'entrée et la sortie d'eau dans les 4 osmoseurs, elle est d'environ 29,47F pour le 4<sup>ème</sup> échantillon et ceci donne un rendement d'élimination de 98,23%.

Toutes ces valeurs sont nettement suffisantes et indiquent le bon fonctionnement des 4 osmoseurs, en effet la majorité des ions carbonates, hydrogénocarbonates sont retenus par les membranes, ce qui traduit une faible alcalinité dans l'eau osmosée.

### 1.3 Le titre hydrométrique (TH)

Les résultats obtenus concernant le Titre Hydrométrique des différents échantillons analysés sont présentés dans la figure15.

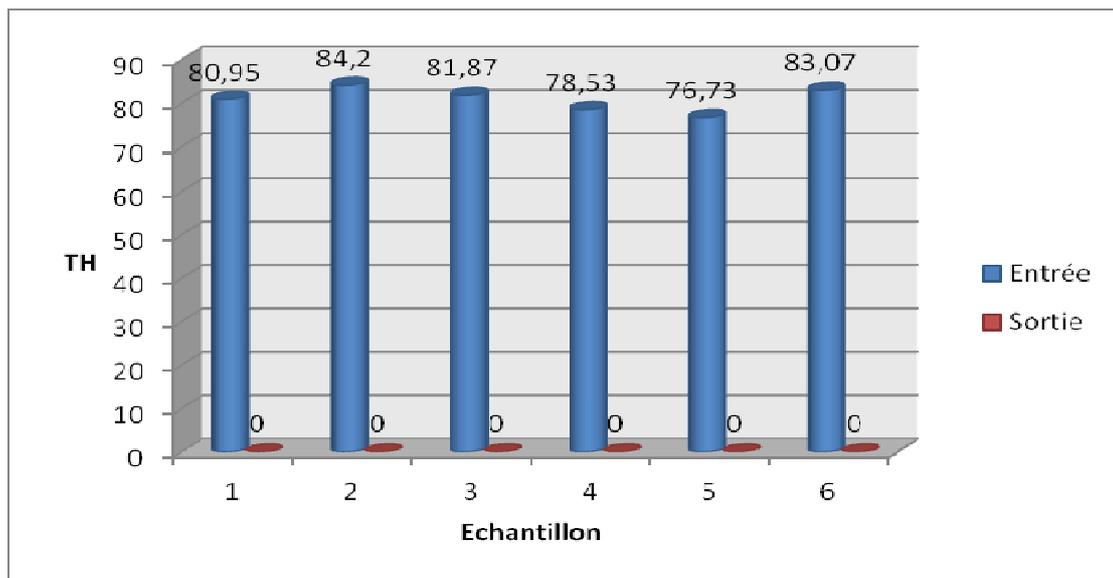


Figure 15 : Variation du TH à l'entrée et à la sortie des osmoseurs pour les six échantillons analysés.

Les résultats obtenus montrent que la moyenne des TH de l'eau à traitée est de 80,89°F, alors que celle de l'eau osmosée est nul pour les six échantillons analysés. Cela indique une élimination complète des ions carbonates de calcium et de magnésium dans l'eau osmosée, donc ces ions sont retenus totalement par la membrane d'osmoseur et par la suite entraînées dans les rejets.

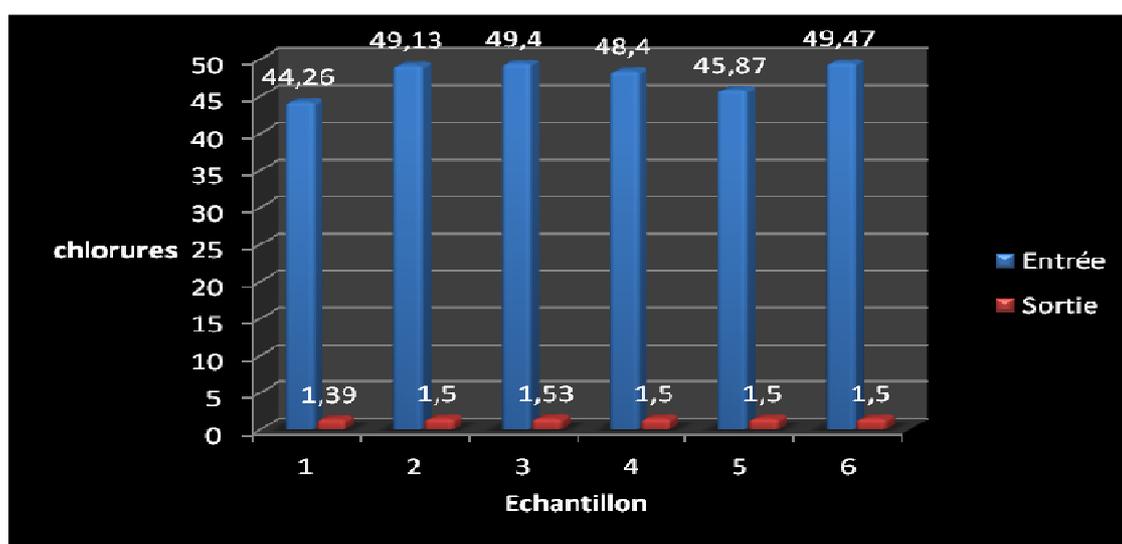
Toutes les résultats de TH obtenus sont conformes aux normes, et attestent le bon état des membranes d'osmoseur qui empêchent le passage des ions  $\text{CaCO}_3$  et  $\text{MgCO}_3$ .

#### 1.4 La teneur en Chlorures

Les résultats obtenus concernant les teneurs en chlorures des différents échantillons d'eau analysées sont illustrés dans le tableau V et la figure 16.

**Tableau V** : Taux de chlorures des échantillons analysés à l'entrée et à la sortie de l'unité OI.

Chlorures (°F)	Entrée	Sortie	Taux de rétention
N°1	44,26	1,39	96,85
N°2	49,13	1,5	96,94
N°3	49,4	1,53	96,9
N°4	48,4	1,5	96,98
N°5	45,87	1,5	96,72
N°6	49,47	1,5	96,96
Moyenne	47,755	1,48	96,89



**Figure 16** : Variation des teneurs en chlorures à l'entrée et à la sortie des Osmoseurs.

Le tableau V indique les concentrations du chlorure dans l'eau brut et le perméat. Les rétentions finales ne sont pas 100% mais égale à 96,9 % environ pour l'échantillon 3.

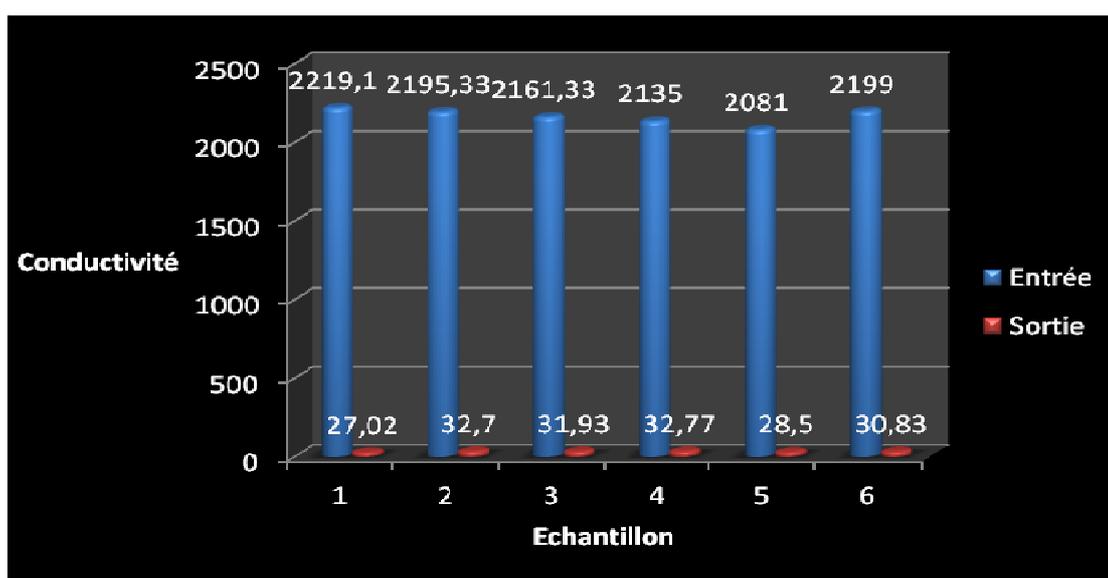
Globalement les valeurs du taux de Cl<sup>-</sup> obtenues sont conformes aux normes, en effet des rendements très élevés ont été calculés pour les six échantillons d'eau analysés, soit une moyenne de 96,89% des chlorures totale éliminés par les membranes d'osmoseur. Ces résultats peuvent confirmer l'activité optimale des membranes.

### 1.5 La conductivité

Le tableau VI et la figure 17 résument les mesures de la conductivité des principaux échantillons analysés à l'entrée et à la sortie d'installation d'OI.

**Tableau VI** : Mesure de la conductivité à l'entrée et la sortie de l'unité OI.

conductivité (μS/cm)	Entrée	Sortie	Rd %
N°1	2219,1	27,02	98,78
N°2	2195,33	32,7	98,51
N°3	2161,33	31,93	98,52
N°4	2135	32,77	98,46
N°5	2081	28,5	98,63
N°6	2199	30,83	98,59
Moyenne	2165,12	30,625	98,58



**Figure17** : Variation de la conductivité à l'entrée et à la sortie de l'installation d'OI.

D'après le tableau VI, on constate que les membranes denses de l'osmoseur ont éliminés la quasi-totalité des ions présentés dans l'eau d'alimentation, en effet 98,58% de ces ions sont retenus et évacués dans les rejets, cette rétention a fait baisser la conductivité moyenne dans l'eau osmosée aux alentours de 30,65  $\mu\text{S}/\text{cm}$  pour les 6 échantillons analysés.

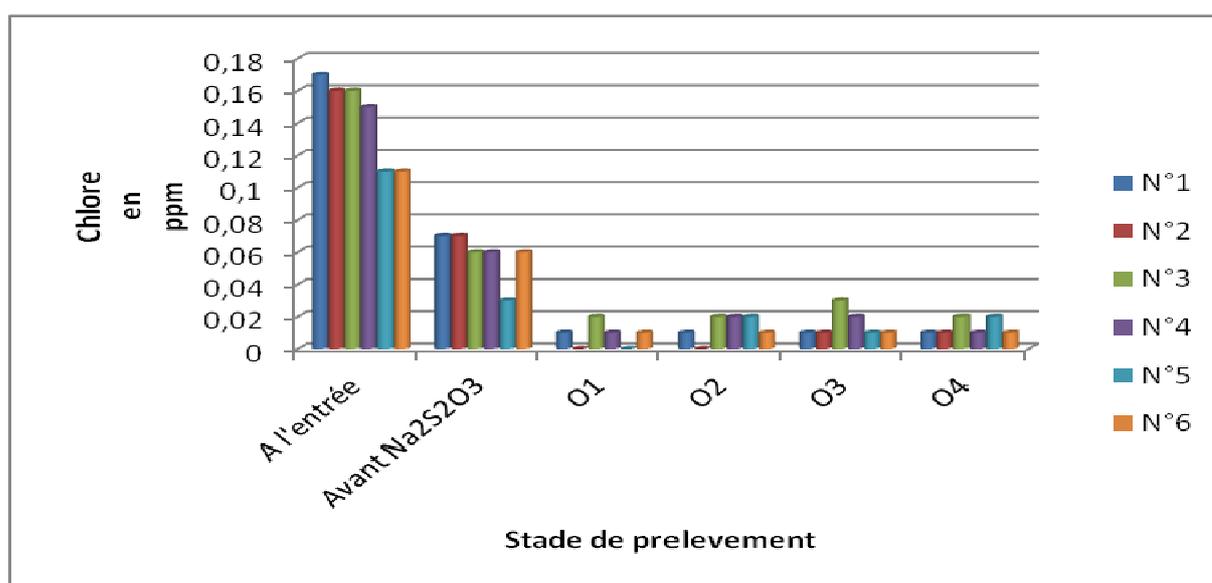
Ces résultats confirment effectivement le rôle important que jouent les membranes d'OI ainsi que leurs efficacités dans la séparation des particules de l'eau.

### 1.6 La teneur en Chlore

Les résultats obtenus concernant la teneur en chlore des différents échantillons analysés sont présentés dans le tableau VII et la figure 18.

**Tableau VII** : Evolution de la concentration en chlore des différents types d'eaux analysées.

Cl <sub>2</sub> en ppm	Echantillon	A l'entrée	Avant injection de Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Après injection de Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub>			
				Osmoseur 1	Osmoseur 2	Osmoseur 3	Osmoseur 4
	N°1	0,17	0,07	0,01	0,01	0,01	0,01
	N°2	0,16	0,07	00	00	0,01	0,01
	N°3	0,16	0,06	0,02	0,02	0,03	0,02
	N°4	0,15	0,06	0,01	0,02	0,02	0,01
	N°5	0,11	0,03	0	0,02	0,01	0,02
	N°6	0,11	0,06	0,01	0,01	0,01	0,01
	Moyenne	0,143	0,058	0,008	0,013	0,015	0,013



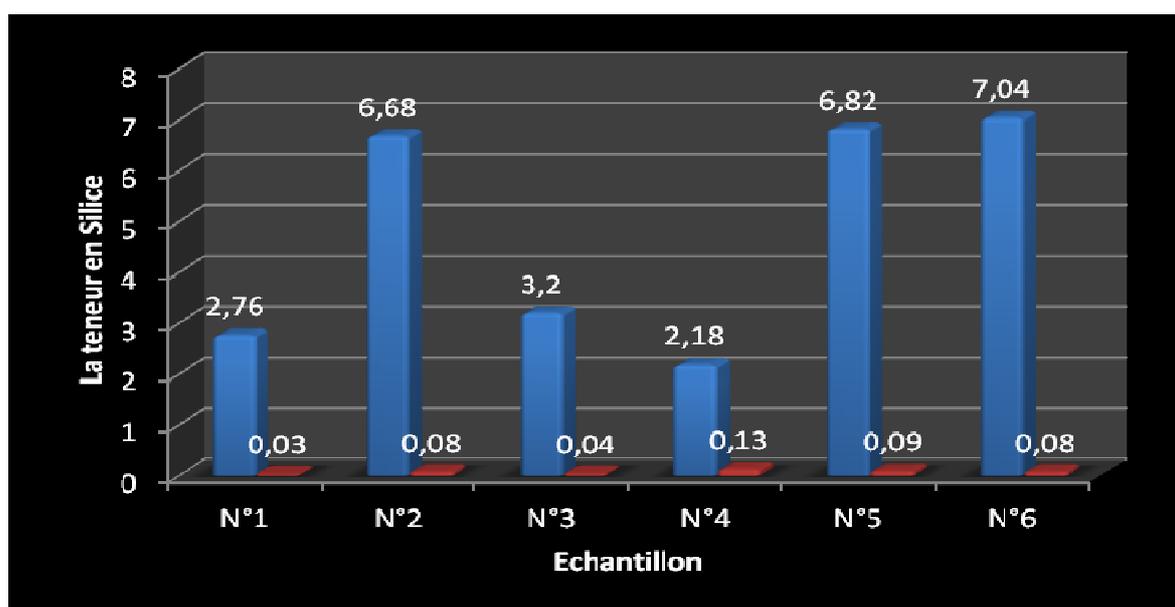
**Figure 18** : Variation de la teneur en chlore dans les différentes eaux analysées.

A partir du tableau VII, nous observons que la concentration du chlore est faible dans l'eau brute, elle diminue par suite d'un niveau du traitement à l'autre, en effet sa valeur est réduite de 0,085 mg/l après passage de l'eau brut sur les filtres à sable, l'addition de métabisulfite de sodium n'a pas complètement éliminé les traces du chlore dans l'eau filtrée, c'est bien que des concentrations de l'ordre de 0,01 mg/l ont été enregistrées dans l'eau osmosée, Cela s'expliquent par l'insuffisance de déchloration ou la faible quantité de métrasulfite de sodium ajoutée. Il est important à signaler que les membranes d'OI sont très sensible au chlore, l'accumulation de ce gaz sur la surface des membranes accélère le processus de dégradation et réduit ainsi la durée de vie de ces membranes.

### 1.7 La teneur en Silice

**Tableau VIII** : Détermination de la teneur de Silice à l'entrée et à la sortie de l'unité d'osmose inverse.

Echantillon	La teneur en Fer (mg/l)		Taux de rejet en %
	Entrée	Sortie	
N°1	2,76	0,03	98,91
N°2	6,68	0,08	98,80
N°3	3,2	0,04	98,75
N°4	2,18	0,13	94,40
N°5	6,82	0,09	98,68
N°6	7,04	0,08	98,86
moyenne	4,78	0,075	98,43



**Figure 19** : Variation de la teneur en silice à l'entrée et à la sortie des osmoseurs.

Le tableau VIII montre que les taux de rejet en silice est élevée (98,43%) c'est un facteur positif pour l'amélioration de la qualité de l'eau osmosée, cependant, on observe une légère baisse de la sélectivité pour l'échantillon N°4 (94,13%), ceci pourrait être dû à une certaine saturation de l'une des membranes composant l'osmoseur en silice.

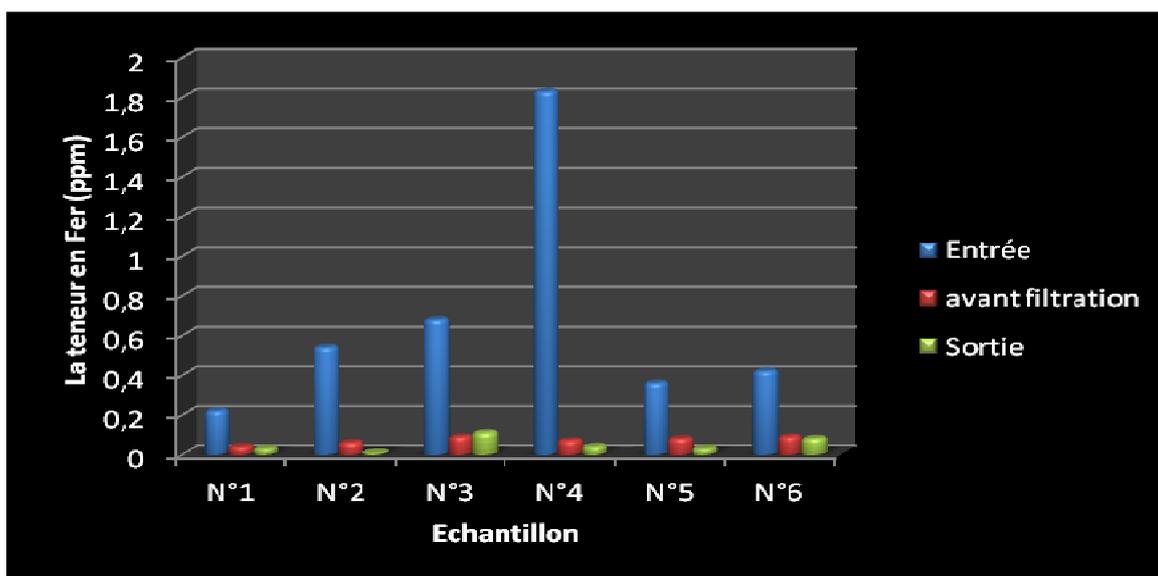
Cette performance du taux de rejet s'accompagne d'une diminution de la perméabilité des membranes d'osmoseurs à la silice.

### 1.8 La teneur en Fer

Le tableau IX et la figure 20 présentent la variation de la concentration en fer au cours du traitement pour les six échantillons analysés.

**Tableau IX** : Variation de la concentration en Fer.

Echantillon	La teneur en Fer (ppm)		
	Entrée	avant filtration	Sortie
N°1	0,22	0,04	0,03
N°2	0,54	0,06	0,01
N°3	0,68	0,09	0,11
N°4	1,83	0,07	0,04
N°5	0,36	0,08	0,03
N°6	0,42	0,09	0,08
moyenne	0,675	0,071	0,05



**Figure 20** : Variation de la teneur en Fer dans les différentes eaux analysées.

D'après la figure 20, on remarque que l'eau de forage à l'entrée de l'unité d'OI contient une faible valeur de fer (0,67 mg/l) à l'exception de l'échantillon N°4 (1,83mg/l), ces données confirment la précipitation attendue du fer dans les bassins de décantation ( $Fe^{+3}$ ). En outre, le traitement de l'eau par OI permet de réduire la concentration moyenne du fer jusqu'à 0,05 mg/l pour les six échantillons analysés, soit un taux de rejet moyen de 92,53%.

Selon le tableau VIII, les résultats d'analyse obtenus sur les échantillons N° 1, 2, 4, 5 et 6 sont conformes aux normes, en revanche l'échantillon N°3 se situe juste dans la limite de conformité (0,11mg/l).

## 2. Résultats et interprétation des mesures de performance de l'installation d'osmose inverse

Le tableau X résume les résultats obtenus concernant les paramètres de performances des osmoseurs.

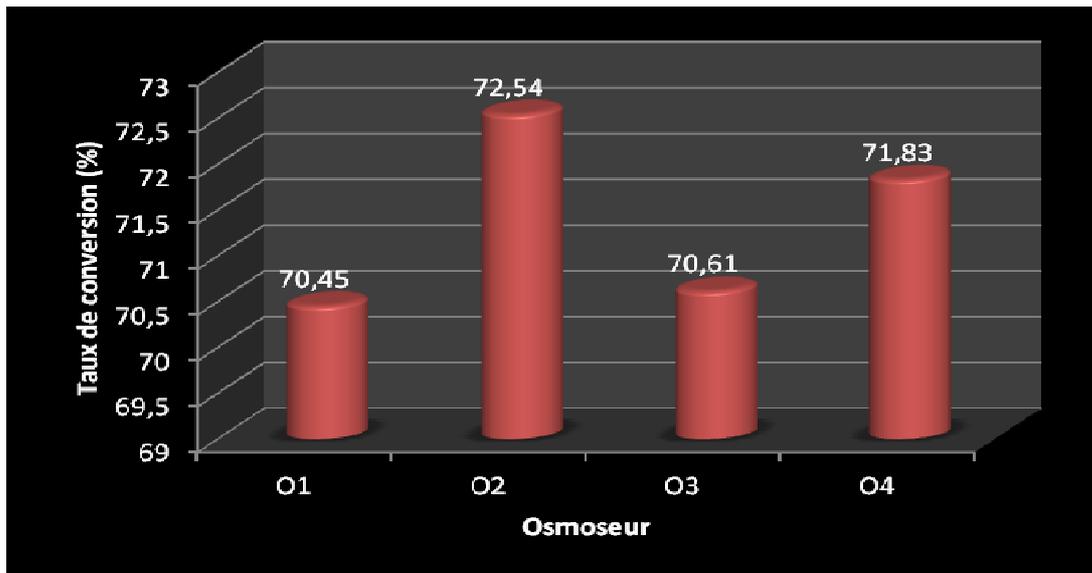
**Tableau N°X** : Détermination des paramètres de performance des osmoseurs.

	P Exe	P Int	$\Delta P$ Totale	$\Delta P1^{er}$ Etage	$\Delta P2^{eme}$ Etage	P Sortie 2 <sup>eme</sup> Etage	Débit perméat	Débit concentrat	T.C	Volume produite	Rejet
O1	15,80	10,20	9,15	5,60	3,55	6,65	87	36	70,45	477	200
O2	15,55	09	8,79	6,55	2,24	6,76	82	31	72,54	531	201
O3	15,70	09	09	6,7	2,3	6,7	84	31	70,61	572	238
O4	16,60	8,10	10,40	8,50	1,92	6,18	77	31	71,83	505	198
norme Unité	<18 bar	10 bar	<8 Bar				100 m <sup>3</sup> /h	40 m <sup>3</sup> /h	%	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>

Ce tableau, permet de déduire les différents éléments caractéristiques de l'unité osmose inverse, ainsi l'évaluation de la performance de l'osmose inverse.

### ❖ Le Taux de Conversion (TC)

Les résultats obtenus concernant le taux de conversion au niveau des quatre osmoseurs sont présentés dans la figure 21.



**Figure 21** : Variation de TC à la sortie des quatre osmoseurs.

Le taux de conversion est connu comme le rapport entre la quantité ou le débit d'eau osmosée sur celle ou celui de l'eau brute entrant dans l'installation.

Les débits d'eau osmosée produites par les quatre osmoseurs sont élevés, c'est ce qui explique l'augmentation des taux de conversions, à titre d'exemple l'osmoseur N<sup>o</sup>2 enregistre un taux de conversion optimal (72,54%) qui est le plus élevé par rapport aux autres.

Du point de vue technique, un taux de conversion élevé va se traduire par une augmentation importante de la salinité de la saumure et de sa pression osmotique, cela va diminuer la pression efficace ( $\Delta P - \Delta \pi$ ) et donc du débit de perméat [25].

Ces résultats sont généralement très acceptables et montrent la capacité des modules d'osmoseurs à traiter une grande quantité d'eau brute.

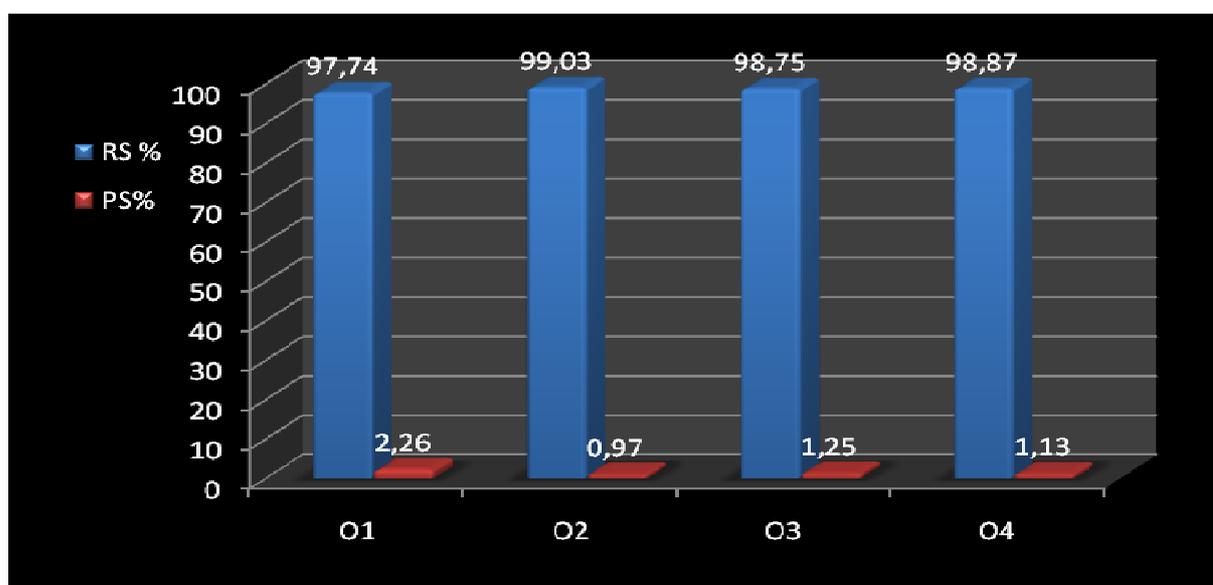
- ❖ le débit de perméation augmente avec l'augmentation de la pression exercée sur les membranes, jusqu'à une pression limite au-delà de laquelle le flux de perméat n'augmente plus par suite de phénomène de polarisation de concentration c'est le cas de l'O<sub>4</sub>, cette pression limite se situe entre 15,80 et 16,60 bar, donc il est impératif d'appliquer une pression au dessous de ce seuil limite afin d'éviter le compactage des membranes et des modules [25].

### ❖ Proportion de Rejet et de Passage des Sels

Les proportions de rejet et de passage de sels sont représentées dans le tableau XI et la figure 22.

**Tableau XI** : Proportion de rejet et de passage des sels.

osmoseur	Conductivité de l'eau brute ( $\mu$ S)	Conductivité de l'eau osmosée	RS %	PS%
O1	2165,11	48,87	97,74	2,26
O2		21	99,03	0,97
O3		27	98,75	1,25
O4		24,31	98,87	1,13



**Figure 22** : Variation des proportions de rejet et passage de sels au niveau des quatre osmoseurs.

Les résultats obtenus montrent une élimination quasi-totale de la matière minérale contenus dans l'eau brute, la meilleure performance de rétention de sels est de 99,03% attribuée à l'O<sub>2</sub> et avec une PS de 0,97%, les autres osmoseurs ont une RS avoisine 98%. Tous ces résultats sont très satisfaisants et conformes aux normes.

❖ **Indice de colmatage : (FI)**

Les résultats obtenus concernant l'indice de colmatage de l'eau de forage et l'eau filtrée sont illustrés dans le tableau suivant :

**Tableau XII** : Mesure de FI

Nature de l'eau	Eau de forage (à 22°C)	Eau filtrée (à 22°C)
SDI <sub>15</sub>	4,10	0,8
	3,16	0,77
Moyenne	3,66	0,78

D'après les résultats de ce tableau, il en ressorte que :

La valeur moyenne de SDI<sub>15</sub> à l'entrée de l'usine (eau de forage), soit 3,66 montre que l'utilisation de système de prétraitement est indispensable, en effet l'eau filtrée présente un SDI<sub>15</sub> de 0,78. Ceci traduit l'efficacité de prétraitement employé (préfiltration), donc l'eau filtrée obtenue est non colmatante.

Selon les valeurs de SDI<sub>15</sub>, l'eau de forage est peu comatante en raison de faible charge de ces eaux souterraines en matière organiques, par contre la matière colmatante qui peut être existé est la silice colloïdale et les substances ferriques. Ces résultats sont conformes aux normes, et contribuent à la protection des membranes d'OI [42].

### 3. Les paramètres microbiologiques

Le tableau XIII montre les résultats obtenus lors des analyses microbiologiques effectuées sur l'eau osmosée.

**Tableau XIII:** les résultats des analyses microbiologiques

Désignation	Unité	Résultat	Norme	Méthodes d'essai
Germes aérobies à 37 °C	UFC / ml	00	20	ISO : 6222
Germes aérobies à 22 °C	UFC / ml	00	<10 <sup>2</sup>	ISO : 6222
Coliformes totaux à 37 °C	UFC/100ml	absence	<10	ISO : 9308-2
Coliformes fécaux à 44 °C	UFC/100ml	absence	absence	ISO : 9308-2
Streptocoque D à 37 °C	UFC/50ml	absence	absence	ISO : 7899/1
Anaérobies sulfite réducteurs à 46°C	UFC/20ml	absence	<5	ISO : 7937
Anaérobies sulfite réducteurs à 46°C	UFC / ml	absence	absence	ISO : 7937

Les résultats du tableau XIII indiquent que l'eau osmosée ne renferme aucun microorganisme, en effet les membranes des quatre osmoseurs font barrières à ces germes, en empêchant leurs passages, ainsi l'action de l'hypochlorite de sodium qu'est utilisé comme désinfectant à contribué grandement à l'élimination de ces microorganismes. Donc les résultats des analyses microbiologiques obtenus sont conformes aux normes et à la réglementation en vigueur.

## **Conclusion**

Selon les résultats obtenus par les différentes analyses effectuées au cours du stage pratique, les osmoseurs de l'unité osmose inverse produisent une eau osmosée très satisfaisante. En effet, les valeurs de pH, conductivité ainsi TAC, TH,  $\text{Cl}^-$ , Fe,  $\text{Mn}^{+2}$ , Si, TC, sont excellentes et conformes aux normes.

En revanche, seule l'analyse des résultats de  $\text{Cl}_2$  a montré que ces valeurs sont en états de traces alors que la norme de l'entreprise exige leurs absences.

Les résultats de la présente étude font preuve de la bonne qualité de l'eau osmosée produite. Pour les analyses physico-chimiques, les résultats des paramètres étudiés sont tous conforme aux normes. De même pour les analyses microbiologiques, ceci prouve l'efficacité des traitements effectuées à chaque étape.

Les bons résultats obtenus sont révélés par l'évaluation de la performance des 4 osmoseurs, en effet un TC de 72,54% et une RS de 99,03% ont été calculés pour l' $\text{O}_2$ , cela s'explique par :

- L'efficacité de l'OI et le bon fonctionnement des modules.
- Le système de prétraitement appliqué.
- L'entretien et le nettoyage permanent de l'installation.
- Les bonnes conditions techniques d'exercices (P, T, ....)

Pour diminuer les coûts de production, il faut caractériser la source de colmatage des membranes à long terme, en effectuant une autopsie membranaire, afin d'envisager un prétraitement convenable adapté aux matières colmatante.

L'actualité de l'unité Osmose Inverse est la mise en service d'une série de filtres à sables complémentaires à celle existante dé-jas, leurs but est de protéger les filtres a cartouches contre le colmatage et d'usures et par conséquence la protection des membranes d'osmose inverse.

En fin, l'unité OI de Cevital, a pu atteindre ses objectifs qui sont :

- Production d'environ 8000  $\text{m}^3$ /Jour d'eau osmosée;
- couvrir ses besoins en eau de bonne qualité.

## **Références bibliographiques**

- [1] : **Encyclopédie.** (2006). L'eau. Edition. Encarta.
- [2] : **Copin-Montégut G.** (1996). Chimie de l'eau de mer, Institut Océanographique.
- [3] : **Brown E., Colling A., Park D., Phillips J., Rothery D. et Wright J.** (1997). Seawater: Its composition, properties and behaviour, The Open University, Second edition.
- [4] : **Whitehouse M.J., Priddle J. et Symon C.** (1996). Seasonal and annual change in seawater temperature, salinity, nutrient and chlorophyll a distributions around South Georgia, South Atlantic, Deep-Sea Research I, 43(4) 425-443.
- [5]: **Benner R., Biddanda B., Black B. et McCarthy M.** (1997). Abundance, size distribution, and stable carbon and nitrogen isotopic compositions of marine organic matter isolated by tangential-flow ultrafiltration, Marine Chemistry 57 243-263.
- [6] : **Ransom B., Shea K. F., Burkett P. J., Bennett R. H. et Baerwald R.** (1998). Comparison of pelagic and nepheloid layer marine snow: implications for carbon cycling, Marine Geology 150 39-50.
- [7] : **Tardart M,** (1994). La chimie de l'eau. Edition Griffon d'argile, Québec. 130 pages.
- [8] : **Arrigon J.** (1991). Aménagement écologique et piscicole des eaux douces.  
Edition Lavoisier, France. 63 pages.
- [9] : **Rodier J.** (1996). L'analyse de l'eau : eau naturelles, eau résiduaires, eau de mer. Edition Dunod, France.1384 pages.
- [10] : **Thomas O.** (1995). Métrologie des eaux résiduaire. Edition Tec et Doc Lavoisier, France.191 pages.
- [11] : **Cojan et Renard M.** (2003). Sédimentologie. Edition Dunod, France. 136 pages.

- [12] : **Dore M.** (1989). Chimie des oxydants et traitement de l'eau. Edition Tec et Doc Lavoisier, France, 505 pages.
- [13] : **Kemmer** (1984). Manuel de l'eau Tec et Doc Lavoisier, France 930 pages.
- [14] : **Kettab A.** (1982). Les eaux potables .In : traitement des eaux. Edition Office des publications Universitaires, Alger. 151 pages.
- [15] : **Desjardins R.** (1988). Le traitement des eaux. Edition Ecole de polytechnique, Montréal. 292 pages.
- [16]: **Greenlee et al.**, 2009 Dow Water & Process Solutions, FILMTECTM Reverse Osmosis Membr. Tech. Man, 2009.
- [17] : **Ouali M S.** (2001). Cours de procédés unitaires biologiques et traitement des eaux. Edition. Office des publications universitaires. Alger. 156 pages.
- [18] : **El khabbaze H.** (2008). Traitement des solutions modèles du lait par des membranes de Nanofiltration et d'osmose inverse. Thèse de doctorat. Rabat : Université Mohammed V – AGDAL. 151 pages.
- [19] : **Chaufer B., Rabiller-Baudry M., Guihard L., Daufin G.** (1996), Rétention of ions in nanofiltration at various ionic strength .Desalination 104 37-46.
- [20]: **Wijmans J.G., Baker R.W.** (1995). The solution-diffusion model: a review J. Membr. Sci. 107 1-21.
- [21] : **Saliha B.** (2008). Etude de la rétention des solutés neutres et ioniques par des membranes de nanofiltration. Thèse doctorat.Franche-Comté. Université de Franche-Comté, Ecole doctorale luis pasteur.156 pages.
- [22]: **R. W. Baker.** (2004). Membrane technology and applications. **Jhon Wiley and Sons, Chichester.**
- [23]: **R. Ferrarini, A. Versari, S. Galassi.** (2001). A preliminary comparaison between nanofiltration and Reverse osmosis membranes for grape juice treatment, Journal of Food Engineering. 50 113-116.

- [24] : **Cakaew T.** (2009). Procédés Hybrides à membranes pour le traitement d'eau de mer avant dessalement par osmose inverse. Thèse doctorat. Toulouse. Université de Toulouse. 213 pages.
- [25] : **Maurel A.** (2006). Technique séparatives à membranes : Considérations théoriques, Technique de l'Ingénieur, traité Génie des procédés, J2 790.
- [26] : **Berland J-M et Juery C.** (2002). Les procédés membranaires pour le traitement de l'eau, Edition Office international de l'eau, France. 71 pages.
- [27] : **Leparc J., Rapenne S., Courties C., Lebaron P., Croué J.P.** (2007). **Jacquemet V. et Turner G.**, Water quality and performance evaluation at seawater reverse osmosis plants through the use of advanced analytical tools, Desalination 203 243–255.
- [28] : **Gaid K. et Treal Y.** (2007). Le dessalement des eaux par osmose inverse : l'expérience de Véolia Water, Desalination 203 1-14.
- [29] : **Wolf P. H., Siverns S. et Monti S.** (2005). UF membranes for RO desalination pretreatment, Desalination 182 293-300.
- [30] : **Pearce G.K.** (2007). The case study of UF/MF pretreatment to RO in seawater applications, Desalination 203 286-295.
- [31] : **A. Bouchoux.** (2003). Etude de la nanofiltration pour son intégration dans le procédé de production D'acide organique, Thèse de l'université Paule Sabatier, Laboratoire de génie chimique. Toulouse.
- [32] : **Remize P.J., Laroche J.F., Leparc J. et Schrotter J.-C.** (2009). A pilot-scale comparison of granular media filtration and low-pressure membrane filtration for seawater pretreatment, Desalination and Water Treatment, 5 6-11.
- [33] : **Luo M. et Wang Z.** (2001). Complex fouling and cleaning-in-place of a reverse osmosis desalination system, Desalination 141 15-22.
- [34] : **Maurel A.** (2006), Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres et autres procédés non conventionnels d'approvisionnement en eau douce, 2<sup>e</sup> édition.
- [35] : **Fritzmann C, Löwenberg J., Wintgens T. et Melin T.** (2007). State-of-art of reverse osmosis desalination, Desalination 216 1-76.

[36] : **Bacchin P.** (1994). Formation et résistance au transfert d'un dépôt de colloïdes sur une membrane d'ultrafiltration, Thèse de l'université Paul Sabatier, Toulouse.

[37]: **Mosset A., Bonnelye V., Petry M. et Sanz M. A.** (2008). The sensitivity of SDI analysis: from RO feed water to raw water, Desalination 222) 17-23.

[38]: **Yiantsios S. G., Sioutopoulos D. et Karabelas A. J.** (2005). Colloidal fouling of RO membranes: an overview of key issues and efforts to develop improved prediction techniques, Desalination 183 257-272.

[39]: **Schippers J. C. et Verdouw J.** (1980). The modified fouling index, a method of determining the fouling characteristics of water, Desalination 32 137-148.

[40]: **Berne F.** (1991). Traitement des eaux, épuration des eaux résiduaires de Raffinage et conditionnement des eaux de réfrigération. Edition Ecole nationale Supérieure du pétrole et des Moteurs, France. 306 pages.

[42] : **Khirani S., Ben Aim R. et Manero M.-H.** (2006). Improving the measurement of the Modified Fouling Index using nanofiltration membranes (NF-MFI), Desalination, 191 1-7.

[43]: **Guiraud JP.** (1998). Microbiologie alimentaire. Edition Dunod, France. 652 Pages.

[44] : **Daufin G., Rene F., Aimar P.** (1998). Les séparations par membrane dans les procédés de l'industrie alimentaire Éditions Lavoisier TEC and DOC, Paris, Chap 7.

[45] : Planification et réalisation produits sûrs\7.2 PRP\ **Manuels opératoires & enregistrement\Energie\MNENG-01 Manuel Opérateur Unité d'osmose inverse.docx.**

## Présentation générale

# ceVital



Créée en 1998, Cevital Agroalimentaire, société par actions au capital de 25 milliards de DA, est la plus jeune et la plus importante des entreprises d'un groupe familial diversifié, fondé en 1971, et implantée à l'extrême du port de Bejaia. Elle a réalisé un chiffre d'affaire (CA) de 146 milliards DA en 2009, soit 2/3 du CA du groupe. Sa croissance est en moyenne de 50 % par an depuis sa première année d'exploitation (1999). Elle a un objectif de CA pour 2015 : 7 milliards de dollars.



Cevital Agroalimentaire offre des produits de qualité supérieure à des prix compétitifs, grâce à son savoir-faire, ses unités de production ultramodernes, son contrôle strict de qualité, et son réseau de distribution performant. Elle couvre les besoins nationaux et a permis à faire passer l'Algérie du stade d'importateur à celui d'exportateur pour les huiles et les margarines et le sucre.



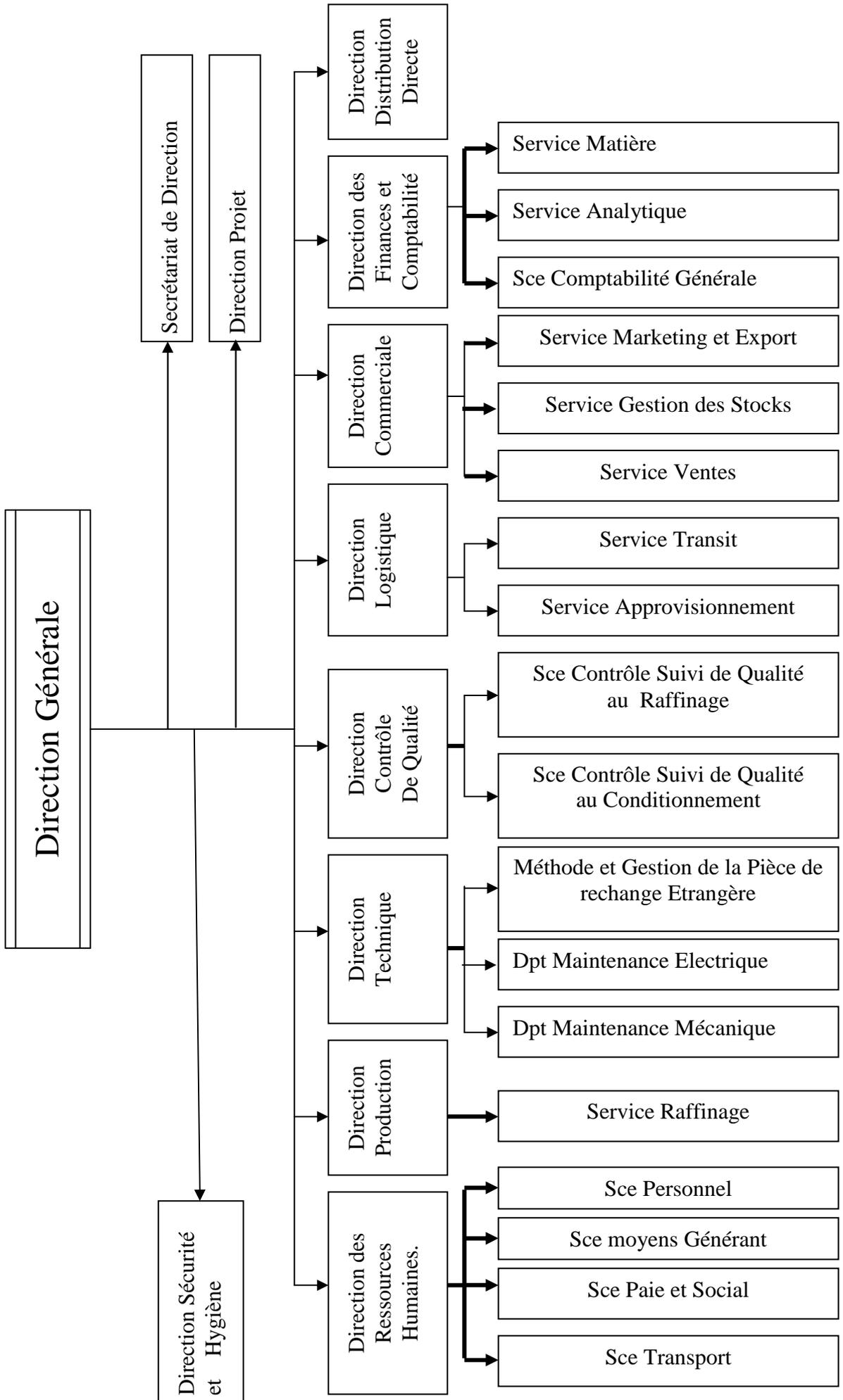
Pour s'imposer sur le marché, Cevital négocie avec de grandes sociétés commerciales en France, et en Suisse, et autres sociétés spécialisées dans l'import-export en Ukraine, en Russie, et en Libye.

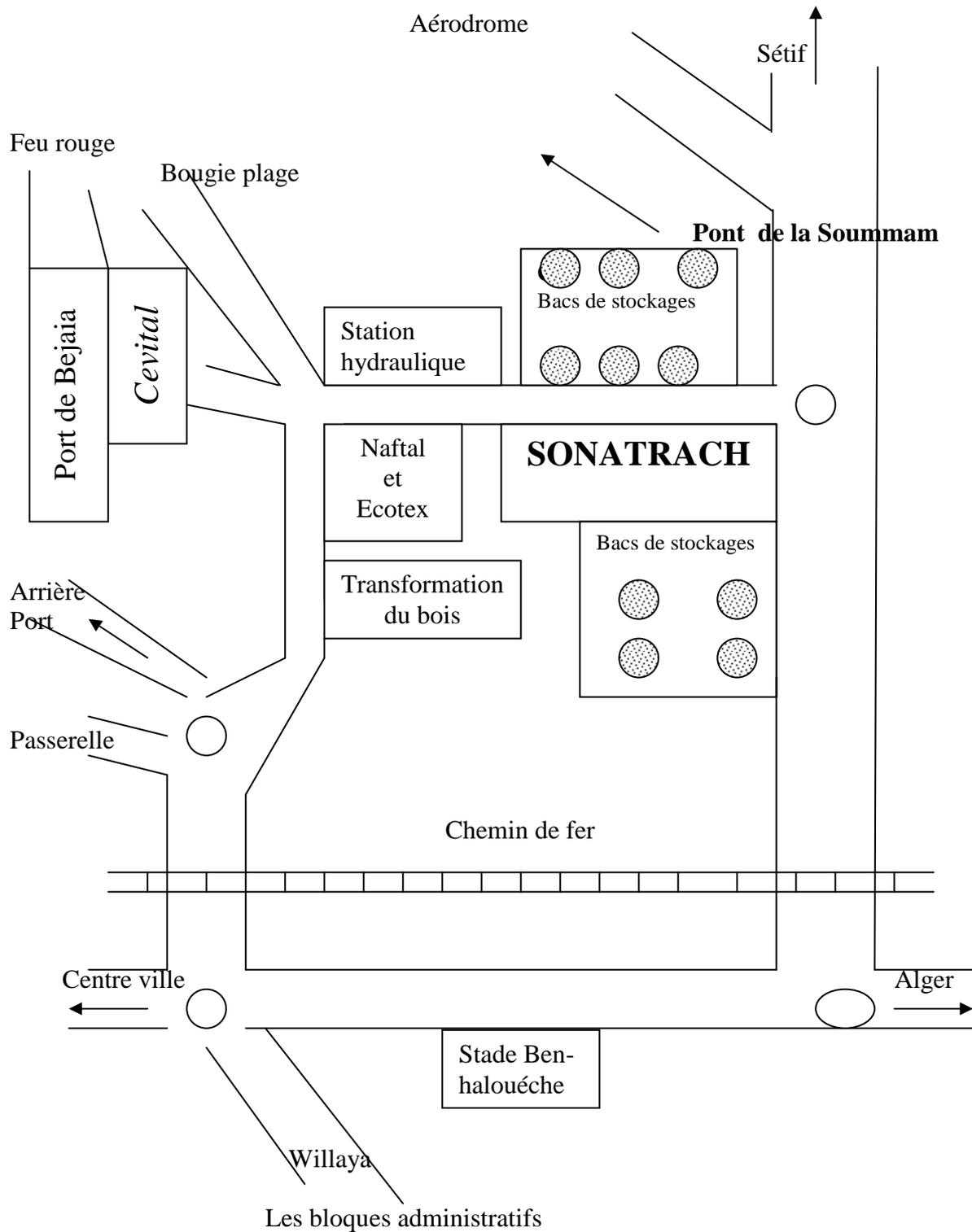
Ses produits se vendent aujourd'hui dans plusieurs villes africaines dont Lagos, Niamey, Bamako et Tunisie, Irak.

Aujourd'hui, Cevital Agroalimentaire est le plus grand complexe privé en Afrique.



*Organigramme du complexe ceVital*





*Situation Géographique*

## La composition chimique des produits de nettoyage

### *Composition chimique de TD – WASH 1*

Détergent acide utilisé pour l'entretien des systèmes d'osmose inverse.

Substance	Poids %	TLV / TWA	Symbole	Phrases R
Acide phosphorique	3 - 10	1 mg / m <sup>3</sup>	C	34
Acide nitrique	5 – 15	2 ppm	C	35

### *Composition chimique de TD – WASH 2*

Détergent acide utilisé pour l'entretien des systèmes d'osmose inverse.

Substance	Poids %	TLV / TWA	Symbole	Phrases R
Hydroxyde de sodium	10 – 20	2 mg / m <sup>3</sup>	C	35
EDTA Sel sodique	5 – 10	-	Xi	36

### *Composition chimique de TD – WASH 3*

Détergent acide utilisé pour l'entretien des systèmes d'osmose inverse.

Substance	Poids %	TLV / TWA	Symbole	Phrases R
EDTA Sel sodique	10 – 20	-	Xi	36
Mono etanolamine	< 5	6 mg / m <sup>3</sup>	Xn	20- 36/37/38

### *Composition chimique de TD – WASH 4*

Détergent alcalin utilisé pour l'entretien des membranes.

Substance	Poids %	TLV / TWA	Symbole	Phrases R
Sodium alchilarilsulphate	< 5	-	Xi	36
Tensioactives anionique	8 – 12	-	Xn	22- 36/38
Glycotère	< 3	-	Xi	36

### Etude de la corrélation des échantillons analysés et les paramètres physico-chimiques :

	pH	Conductivité	TH total	TH Ca+2	TAC	Cl-	SiO2	Cl2	Fer	Mn	Al
pH	1										
Conductivité	0,9982166	1									
TH total	0,99585315	0,99873231	1								
TH Ca+2	0,99472342	0,99821401	0,99887721	1							
TAC	0,9926546	0,99454893	0,99722013	0,99529393	1						
Cl-	0,9918456	0,99225279	0,99486135	0,99221297	0,99894669	1					
SiO2	0,184493	0,2065533	0,17763653	0,19413973	0,11502957	0,08688513	1				
Cl2	0,8819029	0,89879282	0,89687688	0,89518937	0,89244117	0,87513975	0,37586039	1			
Fer	0,05672903	0,04906188	0,04103061	0,04879145	0,09946689	0,10781119	-0,37505228	0,13249937	1		
Mn	0,95643333	0,96773901	0,97567117	0,9765807	0,96733532	0,95783908	0,22447657	0,90101466	-0,0769454	1	
Al	0,1937833	0,19328418	0,19163092	0,21176336	0,1355505	0,12326363	0,44800189	0,00826333	-0,74538704	0,29276769	1

Le tableau ci-dessus, montre qu'il ya une corrélation parfaite entre, le pH, la conductivité, TH total, TAC, Cl<sup>-</sup> Mn. Par contre il n'ya pas de corrélation pour les teneurs en : silice ; Chlore ; le fer et l'aluminium.

### Etude de corrélation entre les 06 échantillons analysés :

	N°1	N°2	N°3	N°4	N°5	N°6
N°1	1					
N°2	1	1				
N°3	1	1	1			
N°4	1	1	1	1		
N°5	1	1	1	1	1	
N°6	1	1	1	1	1	1

Ce tableau, montre qu'il ya une corrélation parfaite pour la totalité des échantillons analysés.

### Etude de corrélation entre les résultats d'entrée et de sortie d'eau dans l'unité OI:

	Entrée	Sortie
Entrée	1	
Sortie	0,39841946	1

Les résultats des analyses de l'eau sont incompatibles entre l'entrée et la sortie d'eau dans les osmoseurs, ceci révèle l'effet de l'osmose inverse.

## RÉSUMÉ

Le travail a porté sur l'étude de la performance des osmoseurs installés au niveau de l'unité osmose inverse du complexe agroalimentaire Cevital.

Les différents paramètres physico-chimiques étudiés ont permis de constater que l'eau osmosée produite est de qualité très satisfaisante, ceci est due aux maintient permanent de l'installation de l'osmose inverse et leurs membranes d'une part, et au système de prétraitement appliqué d'une autre part.

### **Mots clés :**

Traitement conventionnel, Eau adoucie, Eau osmosée, Osmose inverse, Membranes, Paramètres physico-chimiques, Performance.

## **ABSTRACT**

The work aims the study of the performance of osmosis apparatus present in the industrial complex Cevital.

The study of various physicochemical of parameters of osmosed water produced allowed us to confirm that the quality of water is satisfactory. This is due to the mantient of reverse osmosis membranes with their one hand, and the pretreatment systeme applied on the other hand.

### **Key words:**

Conventional treatment, Softened water, Osmosed water, Membrane, Reverse osmosis, Physicochemical parameters, Performance.