



Mémoire de Master

Présenté par :

- M^{elle} BAIR Hayette
- M^r GHEMARI Fayçal

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

Spécialité : Chimie analyses

Thème :

Techniques et méthodes de traitement des eaux
primaires

Soutenu le : 30/06/2016

Devant le jury composé de :

Nom & Prénom	Département d'affiliation	Qualité
M ^r MOSTEFAOUI Toufik	physique	Président
M ^r BOUROUNA Mustapha	chimie	Examineur
M ^r BOUKERROUI Abdelhamid	chimie	Encadreur
M ^r MAZOUZ Youcef	/	invité

Remerciements

Nos profonds remerciements à dieu qui a éclairé notre chemin et qui nous a donné la foi et le courage pour réaliser ce modeste travail.

Nous tenons à remercier en premier lieu notre promoteur M^{er} BOUKEROUI A, et notre Co-promoteur M^{er} MAAZOUZ Y au niveau de l'entreprise Cevital, de nous avoir encadrés et orientés, ainsi que pour leur aide et leur précieux conseils tout au long de ce travail.

Nos remerciements s'adressent à toute l'équipe du laboratoire, et à tous les opérateurs de l'unité d'osmose.

Nous exprimons aussi notre remerciement à tous les membres du jury et tous les responsables, enseignants et membres du département de chimie.

M^{elle} : BAIR Hayette

M^{er} : GHEMARI Fayçal

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

Aux deux êtres qui illuminent ma vie :

Mon père, un guide d'une sagesse infinie ;

Ma mère, douce brise d'automne qui caresse ma vie ;

A ma chaleureuse grand-mère ;

A mes chers (es) sœurs et frères : Samia, Karima, Ouramtane, Boualem ;

A mes amies aux quelles j'adresse une attention spéciale et à tout les étudiants de fin de cycle chimie analyse promotion 2016 ;

A tout ma chère famille surtout ;

A mon binôme ainsi que sa famille ;

Enfin à tous ceux qui m'on aidé de prés ou de loin pour réaliser ce travail.

BAIR Hayette.

Dédicaces

Avec l'aide du tout Puissant, j'ai pu réaliser ce modeste travail que je dédie

A mes très chers parents, qui ont œuvré pour ma réussite, de par leur amour, leur soutien, tous les sacrifices consentis et leurs précieux conseils, pour toute leur assistance et leur présence dans ma vie. Aucune dédicace ne saura exprimer l'amour, l'estime et le respect que j'ai pour vous.

A ma grand-mère Je te remercie pour tout le soutien exemplaire et l'amour exceptionnel que tu m'as apporté depuis mon enfance et j'espère que ta bénédiction m'accompagnera toujours. Puisse Dieu, le tout puissant, te préserver et t'accorder santé, longue vie et bonheur.

A mes frères, Nassim et Djamil ainsi que leurs femmes Wahiba et Hydayette

A ma sœur Rym et son mari Kamel,

A mes adorables nièces et neveux, Youssra, Adem, Manel, Ikram, Himad

A ma petite sœur Amanda

A tonton nadir et tata mouma, qui m'ont toujours encouragé et soutenue, ainsi qu'à toute ma famille

Je vous rends hommage par ce modeste travail en guise de ma reconnaissance éternelle et de mon infini amour.

A Nesrine .Tu étais toujours là pour me soutenir, m'aider et m'écouter. Que Dieu te protège et te préserve pour moi

A ma 2em famille tous les membres de l'association de LAHNA smile

A tous mes amis(es)

A ma binôme Hayette, je l'a remercie pour sa confiance accordée tout au long de la réalisation de ce travail.

A toute la promotion MASTER II

GHEMARI Fayçal

Liste des figures

Figure N° 01 : Schéma de la molécule d'eau.....	2
Figure N° 02 : image représentant la Pluie	3
Figure N° 03 : image représentant un lac	3
Figure N° 04 : image représentant une eau souterraine	4
Figure N° 05 : image représentant une eau de mer	4
Figure N° 06 : image représentant l'état gazeux	5
Figure N° 07 : image représentant l'état liquide	5
Figure N° 08 : image représentant l'état solide	5
Figure N° 09 : Cycle de l'eau	6
Figure N° 10 : dissolution du sel en solution aqueuse NaCl.....	8
Figure N° 11 : Ionisation de la molécule d'eau	9
Figure N° 12 : Structure de Lewis de CaCO_3	12
Figure N° 13 : Structure de Lewis de HCO_3^-	12
Figure N° 14 : Structure de Lewis de NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+	13
Figure N° 15 : Structure de Lewis de SiO_2	13
Figure N° 16 : Le phénomène de l'entartrage	14
Figure N° 17 : Le phénomène de la corrosion	15
Figure N° 18 : Organigramme du complexe Cevital	18
Figure N° 19 : Représentation schématique d'un procédé membranaire	21
Figure N° 20 : Principe de l'osmose inverse	22
Figure N° 21 : structure chimique des membranes en polyamide	25

Figure N° 22 : Membrane d'OI	27
Figure N° 23 : Disposition des modules à l'intérieur d'un tube de pression	27
Figure N° 24 : Structure interne d'une membrane à spirale	28
Figure N° 25 : Détails des modules spiraux	29
Figure N°26 : Représentation d'un bout de membrane colmatée	30
Figure N° 27 : Schéma général du processus de traitement de l'eau par osmose inverse	32
Figure N° 28 : Hypochlorite de sodium	33
Figure N°29 : Fonctionnement d'un filtre à sable avec et sans agent flocculant	34
Figure N° 30 : Filtre à cartouche	36
Figures N° 31 : Variation du pH à l'entrée et à la sortie de l'unité OI	50
Figure N° 32 : Variation de la conductivité à l'entrée et à la sortie de l'unité OI	51
Figure N° 33 : Variation de TH à l'entrée et à la sortie de l'unité OI	52
Figure N° 34 : Variation de TAC à l'entrée et à la sortie de l'unité OI	54
Figure N° 35 : Variation de la teneur en chlorures à l'entrée et à la sortie de l'unité OI	55
Figure N° 36 : Variation de la teneur en chlore à l'entrée et à la sortie de l'unité OI	56
Figure N° 37 : Variation de la teneur en fer à l'entrée et à la sortie de l'unité OI	57
Figure N° 38 : Variation de la teneur en silice à l'entrée et à la sortie de l'unité OI	58
Figure N° 39 : Variation de la teneur en manganèse à l'entrée et à la sortie des filtres à sable	59

Liste des tableaux

Tableau N° 01 : Principale caractéristique de l’osmose inverse	23
Tableau N° 02 : Mesure du pH à l’entrée et à la sortie de l’unité OI.....	50
Tableau N° 03 : Mesure de conductivité à l’entrée et à la sortie de l’unité d’OI.....	51
Tableau N° 04 : Mesure de TH à l’entrée et à la sortie de l’unité OI.....	52
Tableau N° 05 : Mesure du TA à l’entrée et à la sortie de l’unité OI	53
Tableau N° 06 : Mesure de TAC à l’entrée et à la sortie de l’unité OI.....	54
Tableau N° 07 : Taux de Chlorures à l’entrée et à la sortie des osmoseurs.....	55
Tableau N° 08 : Mesure du chlore dans les différents stades de prélèvement.....	56
Tableau N° 09 : Mesure de la teneur en Fer avant injection de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ à l’entrée et à la sortie.....	57
Tableau N° 10 : Mesure de la teneur en silice avant injection de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$, à l’entrée et à la sortie.....	58
Tableau N° 11 : Mesure de la teneur en manganèse à l’entrée et à la sortie des filtres à sable.....	59

Liste des abréviations

A

°A : Angstrom.

ADE : Algérienne Des Eaux

C

CIP : Clean-in-Place

E

EDTA : Acide Ethylène Diamine Tétra Acétique.

F

°F : Degré Français.

I

i : Nombre d'ions dissociés dans le cas d'un électrolyte.

L

Log : Logarithme décimale.

M

MES : Matière En Suspension.

N

NET : Noire Erychrome Toluène.

O

OI : Osmose inverse.

\mathcal{R}

R : constante des gaz parfait.

\mathcal{T}

T : Temps.

TA : Titre alcalimétrique.

TAC : Titre alcalimétrique complet

T Ca^{2+} : Dureté Calcique.

TH : Titre hydrométrique.

T Mg : Dureté magnésienne.

TR : Taux de rétention.

\mathcal{U}

UF : Ultrafiltration.

Symbole

μm : Micromètre.

% : Pourcentage.

Sommaire

Listes des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Introduction 1

Partie théorique

Chapitre I : généralités sur les eaux

I. Définition et les différents types de l'eau 2-4

I.1. définition de l'eau 2

I.2. différents types d'eau 2-4

II. les états et les propriétés del'eau 4-15

II.1. les états de l'eau 4-5

II.2. les propriétés de l'eau 5-15

Chapitre II : Procédé de traitement de l'eau par osmose inverse

I. Présentation du complexe 16-20

I.1. Historique 16

I.2. Situation géographique 16

I.3. Principales activités de Cevital 16-17

I.4. Missions et objectifs 17

I.5. Présentation et structuration du complexe 18-20

II. Procédé de traitement de l'eau par l'osmose inverse	21-37
II.1. procédés membranaires	21
II.2. procédés d'Osmose inverse.....	21-23
II.3. Performances des membranes	24
II.4. Structure (morphologie)	25-28
II.5. La théorie de transfert membranaire.....	29
II.6. limitations de l'osmose inverse.....	29
II.7. Entartrage et colmatage	29-30
II.8. Procédure de nettoyage des membranes	31-32
II.9. unité d'osmose inverse.....	33-37

Partie pratique

Chapitre III : Analyse des eaux

I. Matériels et méthodes	38-49
I.1. Méthodes électrochimiques	38-39
I.2. Méthodes titrimétriques	39-44
I.3. Méthodes spectrophotométriques	44-49
II. Résultats et discussion	50-62
II.1. Le pH 50-51	
II.2. La conductivité	51-52
II.3. Le TH	52-53
II.4. Le TA	53
II.5. Le TAC	54
II.6. Le taux de chlorures	55

II.7. Le chlore	56-57
II.8. La teneur en fer	57-58
II.9. La teneur en silice	58-59
II.10. La teneur en manganèse.....	59-60

Conclusion.....	61
------------------------	----

Références bibliographiques

Annexes

Introduction

Introduction

L'eau aussi omniprésente que méconnue [1]. Les besoins d'une civilisation moderne en eau ne cessent d'augmenter, poussée par l'exploitation concurrentielle due au développement des techniques industrielles modernes et aux exigences d'une population de plus en plus nombreuse, l'eau devient une denrée rare et l'homme passe de l'utilisation des eaux de source et nappes, à une utilisation de plus en plus fréquente des eaux de surface. [13]

Cependant en Algérie certaines industries, grandes consommatrices d'eau, connaissent un grand manque d'alimentation en eau potable ce qui laisse celle-ci chercher des solutions qui satisferaient leurs besoins en eau sans se ruiner du coup l'installation d'une station de purification d'eau est plus que nécessaire pour que ces industries puissent utiliser des eaux de forage, l'eau de mer ou autres afin de combler ce manque d'eau et poursuivre leurs travaux.

Pour cela il existe différentes techniques et méthodes de traitement des eaux primaires, dans notre cas notre travail se déroulera au niveau de l'industrie agro-alimentaire CEVITAL qui contient une station de purification des eaux provenant d'un forage situé à Ibourassen, durant la période de notre stage notre rôle consiste à suivre le processus de traitement de ces eaux ainsi que le suivi de leur analyse physico-chimique.

Chapitre I :
Généralités sur les eaux

Chapitre I : Généralité sur les eaux

Introduction

L'eau c'est la vie [2] ; élément indispensable à notre planète, est composé d'hydrogène et d'oxygène. Par son parcours à travers la terre et le ruissellement, elle s'enrichit de gaz, sels minéraux, matières organiques. Sa composition est donc variable d'une ville et d'une région à l'autre. Cette diversité est une richesse qui fascine de tout temps.

La terre est souvent appelée la planète bleue parce-que l'eau recouvre la majorité de sa surface; environ 71%, de plus le volume d'eau sur terre est estimé a environ 1,4 milliards Km³ [3].

I. définition et différents types d'eau

I.1.Définition de l'eau

L'eau est un liquide transparent, incolore et insipide corps composé, dont les molécules sont formées de deux atomes d'hydrogène et d'un atome d'oxygène (H₂O).L'eau bout à 100°C à la pression atmosphérique et solidifié à 0°C. Sur la terre ; l'eau est la seule substance qu'on trouve dans ces trois phases à l'état naturel : solide (glace, neige) ; liquide (eau liquide) et gazeux (vapeur d'eau) [4].



Figure N° 01 : Schéma de la molécule d'eau [38]

I.2- Différents types d'eau

On trouve quatre sources principales d'eaux brutes : les eaux de pluie, les eaux de surfaces, les eaux souterraines et les eaux de mer. Les caractéristiques de chacune de ses sources reflètent l'interaction de l'eau avec le milieu environnant.

I.2.1- Eaux de pluie

Les eaux de pluie sont saturées d'oxygène et d'azote et ne contiennent aucun sel dissous comme le magnésium et le calcium, elles sont donc très douces. Dans les régions industrialisées, les eaux de pluie peuvent être contaminées par des poussières atmosphériques.



Figure N° 02 : image représentant la Pluie [17]

I.2.2- Eau de surface

On peut répartir l'eau de surface en trois catégories : eaux de rivières (partie amont), eaux de rivière (partie aval), et eaux de lac.



Figure N° 03 : image représentant un lac [18]

I.2.3- Eaux souterraines

Elles sont souvent de meilleure qualité que les eaux de surface. Leurs richesses en matière organiques dépendent du chemin suivi par les eaux d'infiltration qui alimentent les nappes souterraines. Les caractéristiques principales de ces eaux sont présentées ci-dessous

- ✓ Turbidité faible ;
- ✓ Contamination bactérienne faible ;
- ✓ Indice de couleur faible ;
- ✓ Dureté élevée ;
- ✓ Concentration élevée de fer et de manganèse.



Figure N° 04 : image représentant une eau souterraine [19]

I.2.4. Eaux de mers

Les eaux de mers sont une source d'eau brute qu'on utilise lorsqu'il n'y a pas moyen de s'approvisionner en eau douce. Les eaux de mer sont caractérisées par leur concentration en sel dissout ; c'est ce qu'on appelle salinité.

La salinité de la plupart des eaux de mer varie dans un intervalle de 33000mg/l.



Figure N° 05 : image représentant une eau de mer

II. les états et les propriétés de l'eau

II.1- Les états de l'eau

Nous connaissons l'eau sous trois différents états : gaz, liquide et solide

II.1.1- L'état gazeux

L'eau est à l'état gazeux, ou état de vapeur, dès 100° Celsius à pression normale.[16]Les molécules d'eau sont désordonnées et très espacées les unes des autres. Tels que les nuages, la vapeur d'une eau chauffée ...

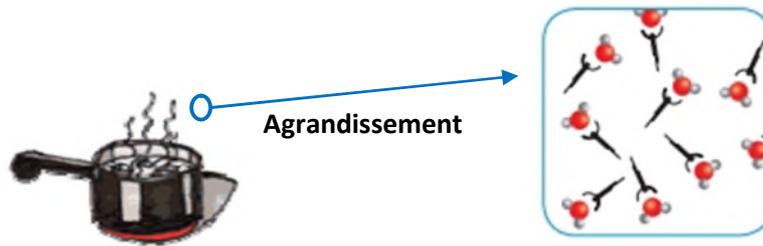


Figure N° 06 : image représentant l'état gazeux

II.1.2- L'état liquide

L'eau est à l'état liquide pour des températures oscillant entre 0° et 100° Celsius à une pression normale (1 bar).[16] Les molécules d'eau sont un peu dans tous les sens, mais proches les unes des autres, tel que l'eau de mer, de lac, de rivière....

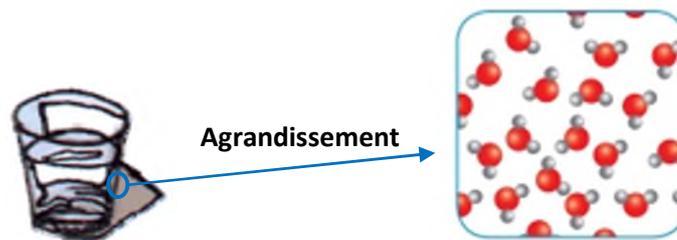


Figure N° 07 : image représentant l'état liquide

II.1.3- L'état solide

L'eau est à l'état solide si la température est inférieure ou égale à 0° Celsius.[16] Les molécules d'eau sont parfaitement organisées de façon à former quelque chose de dur et solide, tel que la glace et le verglas...

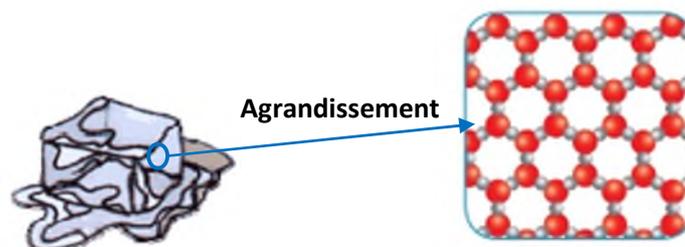


Figure N° 08 : image représentant l'état solide

Il faut noter que l'on peut passer d'un état à l'autre ce qu'on appelle le cycle de l'eau comme présenté ci dessous :

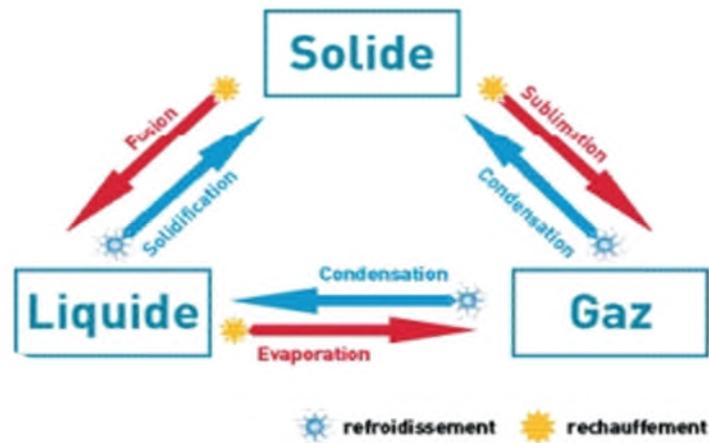


Figure N° 09 : Cycle de l'eau [16]

II.2- Propriétés de l'eau

L'eau est complexe, anormale, mystérieuse, inexpliquée, exotique, exceptionnelle, particulière, et c'est aussi un élément rebelle, souple, labile, et versatile au regard des autres liquides ; elle se contracte quand on la chauffe, devient moins visqueuse quand on la comprime et sa densité diminue en passant de l'état liquide à l'état solide.

II.2.1- Propriétés physiques

🚩 Masse volumique

La masse volumique varie avec la température et la pression, elle passe par un maximum à environ 4°C. Cette propriété entraîne diverses conséquences, aussi bien dans la nature que dans la station de traitement. L'eau est considérée comme un fluide incompressible. Mais, en fait, c'est un fluide légèrement élastique [5].

$$\text{Masse volumique } (\rho) = \frac{\text{masse } (m)}{\text{Volume } (V)}$$

$$\left(\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}\right) \quad \quad \quad (\text{Kg}) \quad (\text{m}^3)$$

✚ Caractéristiques thermiques

L'importance de la propriété thermique comme la chaleur massique et les enthalpies fait que les grandes étendues d'eau à la surface de la terre constituent de véritables volants thermiques. C'est également la raison de l'utilisation de l'eau comme fluide caloporteur [5].

✚ viscosité

C'est la propriété que présente un fluide (liquide ou gaz) d'opposer une résistance aux divers mouvements soit internes (exemple : turbulence), soit globaux (exemple : écoulement).

✚ Tension superficielle

Elle caractérise une propriété des interfaces (surface limitant deux phases). Elle est définie comme une force de traction qui s'exerce à la surface du liquide en tendant toujours à réduire le plus possible l'étendue de cette surface. La tension superficielle diminue avec l'augmentation de la température, et aussi l'addition de sels dissous augmente généralement la tension superficielle. Il existe d'autres corps qui la diminuent, ils sont appelés tensioactifs (exemple : détergents) [5].

✚ La température

La température de l'eau, est un facteur qui agit sur la densité, la viscosité, la solubilité des gaz dans l'eau, la dissociation des sels dissous, de même que sur les réactions chimiques et biochimiques, le développement et la croissance des organismes vivant dans l'eau et particulièrement les microorganismes [6].

✚ Matière en suspension(MES)

Ce paramètre englobe tous les éléments en suspension dans l'eau dont la taille permet leur rétention sur un filtre de porosité donnée ou entre leur rassemblement, sous forme de culot, par centrifugation. Il n'existe pas de relation générale entre turbidité et MES, mais une telle corrélation peut être établie empiriquement pour chaque type d'eau [7].

II.2.2- Caractères organoleptiques de l'eau

🚩 Couleur

Pour l'eau potable, le degré de couleur maximale acceptable est de 15 UCV. Elle peut être due à certaines impuretés minérales (fer) mais également à certaines matières organiques acides humiques. Elle doit être éliminée pour rendre l'eau agréable à boire [6].

🚩 Gouts et odeurs :

La plupart des eaux, qu'elles soient traitées ou non traitées, dégagent une odeur plus ou moins perceptible et ont une certaine saveur. Ces deux propriétés, purement organoleptiques, sont extrêmement subjectives et il n'existe aucun appareil pour les mesurer. Selon les physiologistes, il n'existe que quatre saveurs fondamentales : salée, sucrée, aigre, et amère [6].

🚩 Turbidité

En relation avec la mesure des matières en suspension, elle donne une première indication sur la teneur en matières colloïdales, d'origine minérale ou organique, qui troublent l'eau (c'est donc une notion opposée à celle de limpidité) [8].

II.2.3- Caractères chimiques

🚩 L'eau solvant

Le pouvoir solvatant de l'eau provoque l'altération de divers liens entre les atomes (dissociation) et dans les molécules (ionisation) et du corps à dissoudre pour les remplacer par de nouveaux liens avec ses molécules propres (hydratation). Une solvation complète est un courant électrique.

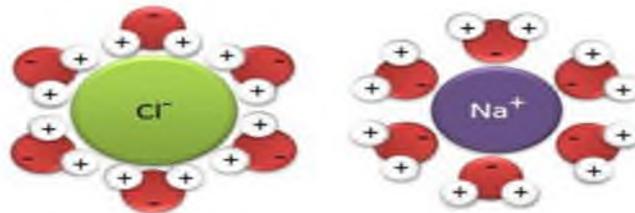


Figure N° 10 : dissolution du sel en solution aqueuse NaCl

✚ Ionisation

Un composé minéral dissous dans l'eau se dissocie plus ou moins avec l'apparition d'ions chargés négativement (anions) et positivement (cation). Le corps dissous est appelé électrolyte ; il transporte le courant électrique.

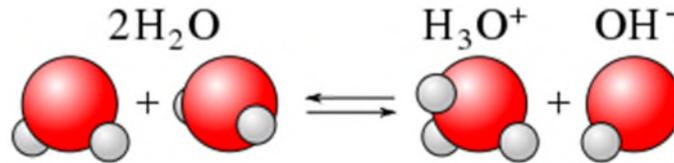


Figure N° 11 : Ionisation de la molécule d'eau [21]

✚ Oxydoréduction

Les phénomènes d'oxydoréduction présentent une grande importance dans toutes les technologies de l'eau. L'eau elle-même peut participer, suivant des conditions expérimentales et selon certaines réactions chimiques comme un donneur d'électrons (elle est réductrice) ou un accepteur d'électrons (elle est oxydante).

II.2.4-Caractéristiques physico-chimiques

✚ Potentiel d'hydrogène (pH)

Le pH correspond à la concentration d'ions hydrogène. Il mesure l'acidité ou la basicité d'une eau. Le pH interfère avec d'autres paramètres de la qualité dans les complexes réactions chimiques : dureté, alcalinité, turbidité, conductivité [9]. 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).

On peut définir le pH d'une solution par la relation :

$$\text{pH} = - \log [\text{H}_3\text{O}^+]$$

Le pH est une grandeur sans dimension. La concentration des ions oxonium s'exprime en mol.l^{-1} .

On peut aussi écrire la relation :

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-\text{pH}}$$

✚ Conductivité

L'eau est légèrement conductrice. La conductivité est une grandeur qui permet d'évaluer la concentration en ions d'une solution, en effet toute espèce solvée chargée est susceptible de transporter du courant électrique au sein d'une solution, elle est exprimée généralement en Micro siemens par centimètre ($\mu\text{S}/\text{cm}$) à 20°C [10]. La conductivité de l'eau la plus pure que l'on ait obtenue est de 4,8 micro siemens par mètre à 20°C . Elle augmente lorsque des sels sont dissous dans l'eau et elle varie en fonction de la température.

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

✚ Titres

Pour les ions majeurs, qui constituent l'essentiel des composés d'une eau naturelle, les titres (exprimé en $\text{meq} \cdot \text{l}^{-1}$ ou °F) regroupent un ensemble d'ions.

✓ Titre hydrotimétrique (TH)

Appelé aussi dureté totale, le titre hydrotimétrique mesure l'ensemble des ions alcalinoterreux, c'est-à-dire essentiellement les ions calcium et magnésium (Ca^{2+} et Mg^{2+}). Le titre hydrotimétrique (ou TH calcique), qui ne mesure que la teneur en ion calcium, est parfois distingué du titre hydrotimétrique magnésium (ou TH magnésium), qui ne mesure que la teneur en ion magnésium.

Le TH mesure par méthode volumétrique.

✓ Titre alcalimétrique complet (TAC)

On prend en compte la concentration d'une eau en ions carbonate CO_3^{2-} et des ions hydrogencarbonate HCO_3^- [12], ce titre mesure l'ensemble des anions suivants :

- Hydroxyde des bases libre OH^- ;
- carbonate CO_3^{2-} .
- Hydrogencarbonate HCO_3^- ;
- Hydrogénosilicate HSiO_3^- ; ainsi que deux des trois valences des ions ortho phosphate (PO_4^{3-}).

On peut alors écrire :

$$\text{TAC} = [\text{OH}^-] + [\text{CO}_3^{2-}] + [\text{HCO}_3^-] + [\text{HSiO}_3^-] + (2 \cdot [\text{PO}_4^{3-}]) / 3$$

✓ Titre alcalimétrique simple (TA)

Ce titre mesure la totalité des bases libres, une des deux valences des ions carbonates et une des trois valences des ions ortho phosphate.

On peut ainsi écrire :

$$TA = [\text{OH}^-] + ([\text{CO}_3^{2-}]/2) + ([\text{PO}_4^{3-}])/3$$

✚ 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, argile, 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 du traitement d'ionisation [11].

✚ Solubilité des gaz dans l'eau

L'eau contient toujours des gaz dissout dont les concentrations dépendent notamment de la température ainsi que de la composition et de la pression de l'atmosphère gazeuse avec laquelle elle est en contact. La loi d'HENRY appliquée à la solubilité des gaz dans l'eau pure, prévoit que la concentration dissoute d'un composé gazeux dans l'eau est directement proportionnelle à la pression partielle de ce composé dans la phase gazeuse au contact de l'eau [11].

✚ Cation et anions

Les eaux douces, qu'elles soient d'origine souterraines ou superficielles sont plus ou moins minéralisées par des sels naturels. Il est souvent très important de connaître précisément cette minéralisation en plus de l'indication donnée par les paramètres globaux de type « titre » et « potentiel ». Par ailleurs, certains des cations et anions minéraux naturels présents dans les eaux sont considérés comme indésirables ou toxiques selon l'usage auquel l'eau douce est destinée (domestique, agricole, industriel, santé, tourisme, refroidissement...) [11].

✓ Le Calcium (Ca^{2+})

L'ion calcium est le composé principal de la dureté de l'eau, il se trouve en générale à une concentration de 5-500mg/l exprimé en CaCO_3 (2-200mg en Ca^{2+}) [12].

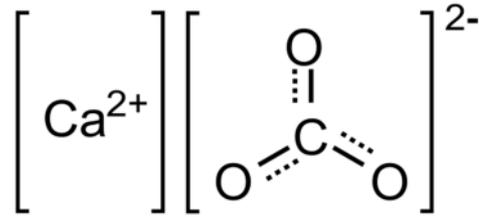


Figure N° 12 : Structure de Lewis de CaCO₃[38]

✓ **Le Magnésium (Mg²⁺)**

La dureté magnésienne de l'eau représente ordinairement le tiers de la dureté totale, les deux tiers restants correspondent à la dureté calcique, sa valeur est de 10 à 50mg/l (environ 40-200mg/l en CaCO₃) [12].

✓ **Les Bicarbonates (HCO₃⁻)**

L'ion de bicarbonates est le principal constituant de la plupart des eaux courantes. On le trouve souvent à une concentration de 5-500mg/l exprimée en CaCO₃ [12].

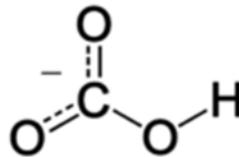


Figure N°13 : Structure de Lewis de HCO₃⁻[38]

✓ **Le Chlore (Cl⁻)**

Puisque tous les sels du chlore sont très solubles dans l'eau, le chlore est fréquent dans la réserve d'eau douce à un taux de 10 à 100 mg/l [12].

✓ **Les nitrates et les nitrites**

Ces paramètres sont des indicateurs pertinents de la dégradation de ressources utilisées pour la production d'eau potable. La présence de nitrate dans l'eau d'alimentation peut avoir plusieurs origines :

- Une origine liée aux activités humaines (rejets industriels, agricoles et urbains) ;
- Une origine naturelle dans la mesure où les nitrates résultent des transformations de l'azote dans les eaux et les sols (cycle de l'azote).[14]

Le nitrate (NO_3^-) et les nitrites (NO_2^-) sont des ions présents de façon naturelle dans l'environnement. Ils sont le résultat d'une fonction de l'ion ammonium (NH_4^+), présente dans l'eau et le sol, qui oxydé en nitrite par les bactéries du genre « Nitrosomonas », puis en nitrates par les bactéries du genre « Nitrobacter ». Les nitrates sont très solubles dans l'eau, ils peuvent être à l'origine de la formation de nitrites et de nitrosamines, responsables de deux phénomènes potentiellement pathologiques.[15]

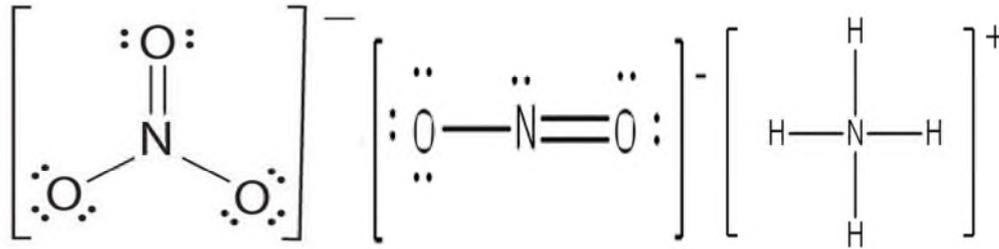


Figure N°14 : Structure de Lewis de (NO_3^-) (NO_2^-) (NH_4^+) [38]

✓ La silice (SiO_2)

La silice peut exister dans les eaux sous deux états différentes : soluble et colloïdal. La silice soluble dans les eaux naturelles est majoritairement sous forme d'hydroxyde de silice (SiOH_4), elle tend à se polymériser et à donner des colloïdales Les silicates sont peu solubles dans l'eau et se présentent à des pH élevés, supérieures à 10. Leur teneur dans l'eau varie de 1 à 50 mg/l [14].

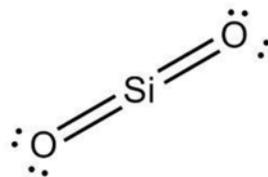


Figure N° 15 : Structure de Lewis de (SiO_2) [38]

✓ Le Fer

Le fer est l'un des métaux les plus abondants dans la croûte terrestre. Il se trouve dans l'eau douce naturelle à des niveaux allant de 0,5 à 50 mg/litre. Le fer peut également être présent dans l'eau de boisson à la suite de l'utilisation de coagulants de fer ou de la corrosion de l'acier et des tuyaux en fonte pendant la distribution de l'eau. Le fer présent dans l'eau potable est un élément essentiel dans la nutrition humaine. [15]

II.2.5- Conséquences de l'évolution des caractéristiques physico-chimiques de l'eau

Les principales conséquences de cette évolution sont :

- L'entartrage ;
- Le primage ;
- La corrosion.

✚ l'entartrage :

Le phénomène d'entartrage se traduit par dépôts de plus en plus épais des composés insolubles dans le récipient et dans les conduites, le dépôt peut être constitué d'un grand nombre de composés insolubles, on trouve souvent :

- Le carbonate de calcium ;
- Le sulfate de calcium ;
- L'hydroxyde de calcium ;
- Le silicate de calcium et de magnésium ;
- Les oxydes de fer ;
- Le phosphate de calcium et de magnésium.

L'entartrage peut se manifester à l'intérieur des chaudières, lors de l'utilisation particulières de l'eau, sur les réseaux de distribution dans les circuits de chauffage, de refroidissement et plus précisément dans les échangeurs de température, la Figure N°16 met en évidence la détérioration des conduites d'eau par entartrage [30].



Figure N°16 :Le phénomène de l'entartrage [40].

✚ Le primage

Le primage qui affecte uniquement les chaudières est l'entraînement d'eau et de matières minérales par la vapeur, ce phénomène est d'autant plus dangereux quand :

- L'eau des chaudières à une salinité plus élevée ;
- Le poids des gouttelettes contenues dans la vapeur est élevé.

Il est en fonction des caractéristiques de la chaudière et des conditions d'exploitation.

Les facteurs favorisant le primage sont :

- Une hauteur d'eau ;
- Une pression de marche élevée ;

De la composition de l'eau des chaudières, le primage augmente du fait des éléments suivants :

- Sels dissout ;
- Soude libre ;
- Particules solides en suspension [30].

🚩 La corrosion

La corrosion est une réaction d'oxydoréduction qui produit un métal et son environnement lorsque ce dernier contient des agents oxydants. dans cette réaction le métal M s'oxyde en une espèce dissoute $M^{Z+}_{(aq)}$.



La corrosion est dite sèche lorsque les agents oxydants sont en phase gazeuse (par exemple la corrosion par le dioxygène de l'air) et humide lorsque les agents oxydants sont en solutions aqueuses. La Figure N°17 nous montre la dégradation d'un métal par des ions corrosifs [33].



Figure N°17 : Le phénomène de la corrosion [39].

Chapitre II :

Procédé de traitement de l'eau par osmose inverse

I- Présentation du complexe Cevital

I.1. Historique

Cevital est une société par action, parmi les entreprises algériennes qui ont vu le jour dès l'entrée de notre pays en économie du marché. Elle a été créée sur des fonds privés en 1998. Cevital contribue largement au développement de l'industrie agroalimentaire nationale. Elle vise à satisfaire le marché national et exporter le surplus, en offrant une large gamme de produits de qualité.

En effet les besoins du marché national sont de 1200T/J d'huile, l'équivalent de 12 litre par personne et par an. Les capacités actuelles de Cevital sont de 1800T/J, avec un excédent commercial est de 600T/J.

Les nouvelles données économiques nationales dans le marché de l'agroalimentaire, font que les meilleures unités sont celles qui maîtrisent de façon optimale les couts, les charges et celles qui offrent le meilleur rapport qualité/prix. Ceci est nécessaire, pour s'imposer sur le marché au service des sociétés telles que CARREFOUR et AUCHAN (en France), ROYAL(en Suisse) et autre sociétés spécialisées dans l'import-export en Ukraine en Russie. Ces produits Cevital se vendent dans différents villes africaines (Tunis, Niamey, Bamako...) [34].

I.2. Situation géographique

Cevital est implanté au niveau du nouveau quai du port de Bejaia à 3Km du sud-ouest de cette ville, à proximité de la RN 26.

Cette situation géographique de l'entreprise lui a beaucoup profité, étant donné qu'elle lui confère l'avantage de proximité économique. En effet elle se trouve proche du port et de l'aéroport. [34]

I.3. Principales activités de Cevital

Lancé en Mai 1998, le complexe Cevital a débuté son activité par le conditionnement d'huile en Décembre 1998.

En Février 1998, des travaux de génie civil de la raffinerie d'huile ont débuté. Cette dernière est devenue fonctionnelle en Aout 1999.

L'ensemble des activités de Cevital est concentré sur la production et la commercialisation des huiles, de margarine et de sucre il se présente comme suit :

- Raffinage des huiles (1800 tonnes / jour) ;
- Conditionnement d'huile (1400 tonnes / jour) ;
- Fabrication de margarine (600 tonnes / jour) ;
- Fabrication d'emballage (PET) : Poly-éthylène-Téréphtalate (9600 unités / heure) ;
- Raffinage de sucre (2000 tonne / jour et 3500 tonnes / jour) ;
- Stockage de céréales (120000 tonnes) ;
- Cogénération (une capacité de production arrive jusqu'à 64 MW) ;
- Minoterie et savonnerie en cours d'étude.[34].

I.4. Missions et objectifs

L'entreprise a pour mission principale le développement et la production ainsi que d'assurer la qualité et le conditionnement des huile, des margarines et du sucre à des prix nettement plus compétitifs et ce dans le but de satisfaire le client et de le fidéliser [35].

I.5. Présentation et structuration du complexe :

Le diagramme présenté dans la Figure N°18 donne une vue générale sur les différents organes constituant le complexe Cevital.

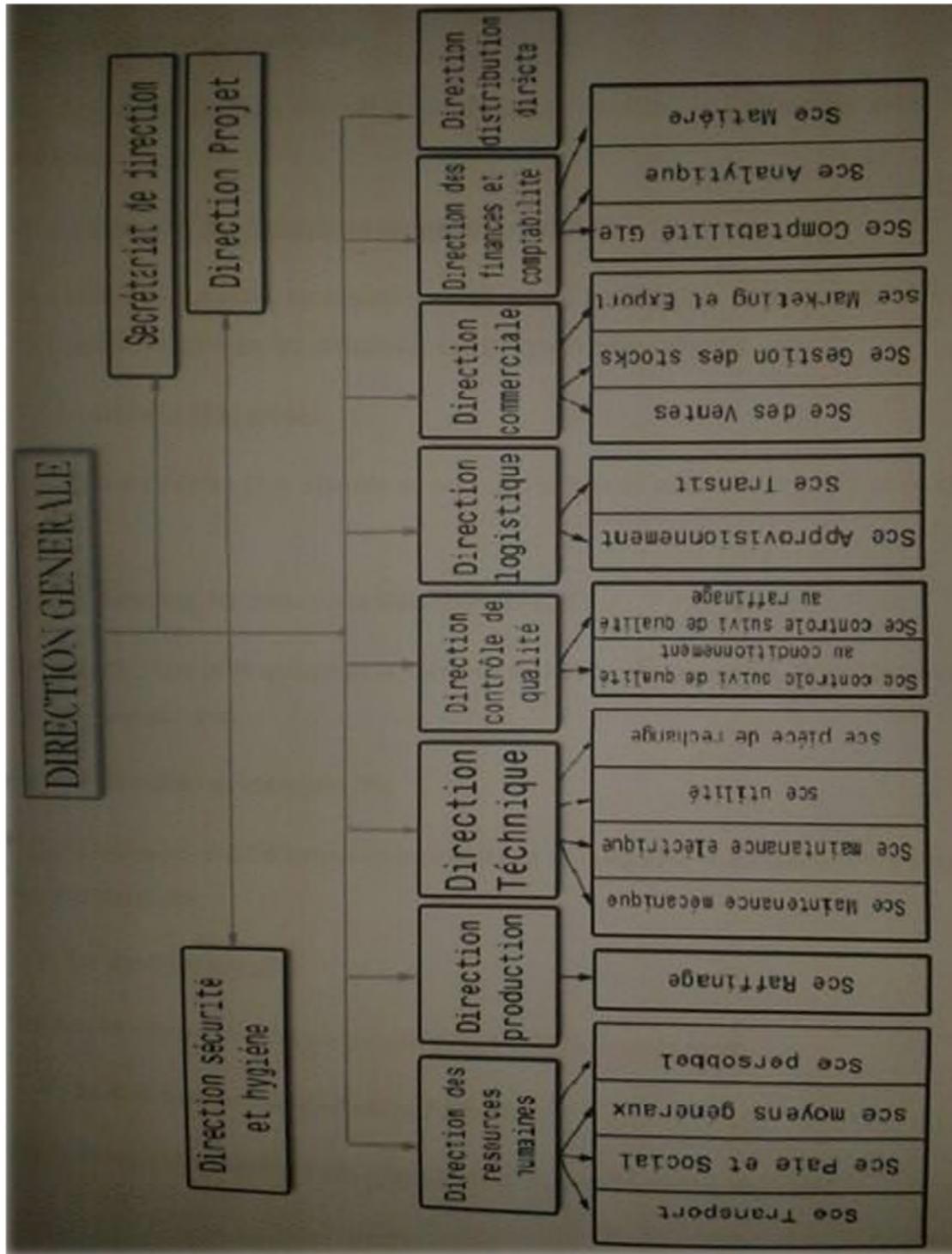


Figure N°18 : Organigramme du complexe Cevital [37].

➤ **La direction logistique**

Celle-ci s'occupe essentiellement de l'approvisionnement, de l'expédition, du transit et de l'emmagasiner de toutes matières et marchandises achetées et du transport (locales, étrangères), assurant ainsi à l'entreprise une production constante et à moindre coût.

➤ **La direction commerciale**

Son objectif est de faire connaître les différents produits de l'entreprise avant leur commercialisation.

➤ **La direction des finances et de la comptabilité (D.F.C)**

Elle contrôle les emplois, les ressources ainsi que la présentation de documents officiels tels que : Le bilan fiscal, le tableau des comptes et des différents bilans annuels...

➤ **Hygiène et sécurité**

Elle maintient l'ordre et la sécurité au sein de l'entreprise ainsi que la prévention et la surveillance.

➤ **La direction des ressources humaines (D.R.H.)**

Son objectif étant principalement le suivi de la carrière du personnel, le traitement des salaires, le recrutement...

➤ **La direction de la margarinerie**

Celle-ci s'occupe essentiellement de la production de margarine et à son actif un service maintenance et méthodes.

➤ **La direction des silos**

Ils servent au stockage et à expédier les graines qui seront utilisées pour la production.

➤ **La direction du conditionnement d'huile**

La direction du conditionnement d'huile s'occupe de la mise en bouteilles de l'huile.

➤ **La direction de raffinerie d'huile**

Son but est de produire l'huile qui sera distribué vers les différentes villes d'Algérie, celle-ci compte un bureau de méthodes, de maintenance et d'utilités.

➤ **La direction de la raffinerie de sucre**

Son objectif est de fabriquer et de produire du sucre, qui nécessite une grande quantité en vapeur d'eau déminéralisée, cette dernière est produite dans l'unité osmose inverse (qui fait toujours partie de ce même service, cette unité a été conçue en 2002).

➤ **La direction du projet**

Cette direction s'occupe de la réalisation et de la construction de nouveaux domaines pour l'expansion du complexe.

➤ **La direction marketing**

➤ **La direction énergie électrique**

Son but est de maintenir le bon fonctionnement du réseau électrique ou autres équipements et machines du complexe.

➤ **Les laboratoires**

Ils servent à contrôler et à analyser les matières premières et les produits finis avant leur commercialisation [35].

II. Procédé de traitement de l'eau par l'osmose inverse

II.1- Procédés membranaires

Un procédé est une méthode, une technique utilisée pour la réalisation d'une tâche.

Un procédé de séparation est une technique ou une technologie permettant de transformer un mélange de substances en deux ou plusieurs composants distincts. Les buts de ce type de procédé peuvent être divers:

- Purification: les impuretés doivent être extraites du composé d'intérêt
- Concentration: élimination d'une partie du solvant
- Fractionnement: séparation d'un mélange complexe en plusieurs mélanges différents.

Il y a plusieurs procédés membranaires tel que ; l'osmose inverse, la nanofiltration, la microfiltration et l'ultrafiltration. [24]

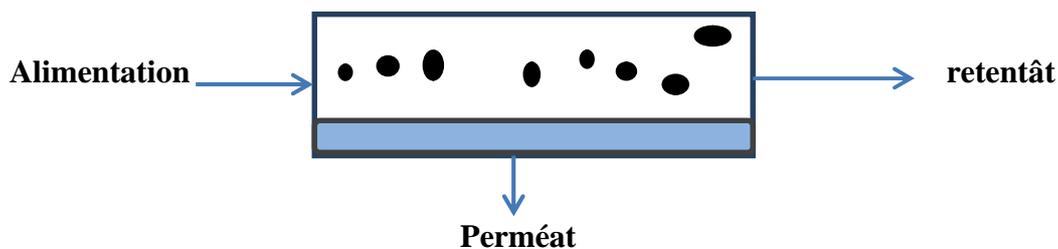


Figure N° 19 : Représentation schématique d'un procédé membranaire

Dans notre étude on va juste exposer de l'osmose inverse, car c'est le procédé utilisé au niveau de l'industrie agroalimentaire de CEVITAL.

II.2- procédés d'Osmose inverse

L'osmose inverse utilise des membranes denses qui laissent passer le solvant (l'eau) en arrêtant tous les sels.

Cette technique est utilisée pour :

- Le dessalement des eaux de mer ;
- Le dessalement des eaux saumâtres ;
- La production d'eau ultra pure ;
- La concentration de solutions (concentration de jus de fruits par exemple) ;
- La production d'eau de process.

Le phénomène d'osmose est un phénomène qui tend à équilibrer la concentration en solutés de part et d'autre d'une membrane semi-perméable. Le phénomène d'osmose est un phénomène naturel courant, notamment à travers les membranes cellulaires.

La membrane semi-perméable laissera passer le solvant (le soluté ne passe pas) pour équilibrer la concentration. La différence de concentration crée une pression, appelée Pression osmotique. [29] Pour inverser le passage du solvant et augmenter la différence de concentration, il faut appliquer une pression supérieure à la pression osmotique.

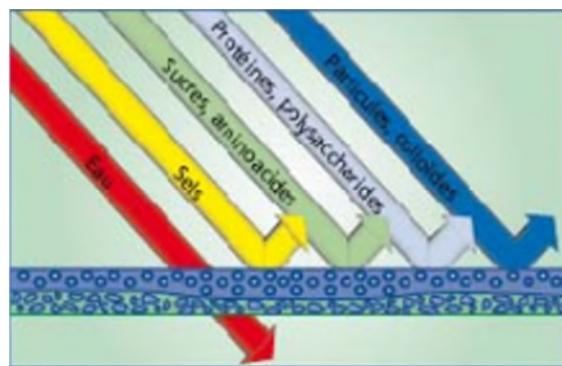
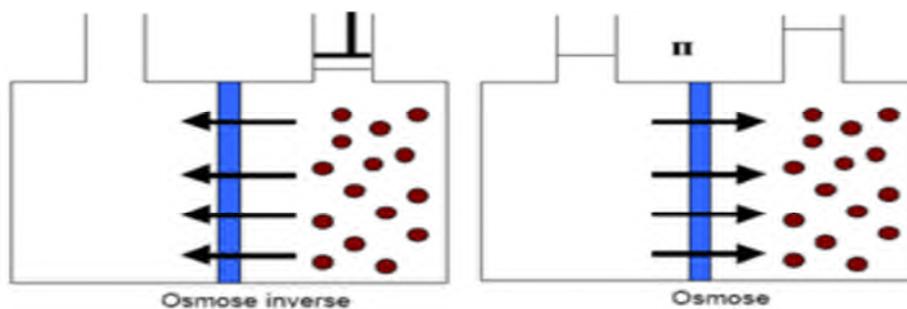


Figure N° 20 : Principe de l'osmose inverse[24]

II.2.1- Pression osmotique

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 semi-perméable sélective et contenant deux solutions de concentration différentes. Le solvant (généralement l'eau) s'écoule à travers la membrane du 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'appliquée à ce qui est appelé la pression osmotique. Si on applique une

pression supérieure à la pression osmotique, l'eau va traverser la membrane dans le sens inverse du flux osmotique, c'est le phénomène d'osmose inverse [17].

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

$$P = i * C * R * T$$

Avec :

P : pression osmotique (bar)

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

C : concentration molaire (mol.L⁻¹)

R : constante des gaz parfaits (0.082 L.bar.1k⁻¹)

T : température absolue (k) [17]

2.2- Principales caractéristiques de l'osmose inverse :

Tableau N° 01 : principales caractéristiques de l'osmose inverse [22]

	Osmose Inverse (OI) (RO)
Caractéristique de la membrane	dense
Mode de transfert de masse	Solution/Diffusion
Diamètre de pores	< 0.001µm
Perméation de	Solvant
Rétention de	Ions monovalents
Pression d'opération	20 à 80 bar
Débit de perméation	10 à 60 l/h/m ²
Applications	-concentration de lactosérum de sang de blanc d'œuf. - dé-alcoolisation des vins et bières. - dessalement de l'eau

II.3- Performance des membranes

II.3.1-Perméabilité

Elle représente le flux volumique ou massique traversant les membranes par unité de surface membranaire.

II.3.2-Résistance

Vis-à-vis de la pression, de la température et des agents chimiques, nous notons que la sélectivité et la perméabilité dépendent directement de la pression et de la température. Une membrane, est utilisée toujours dans les limites bien définies de P, T, et pH.

II.3.3-Durée de vie

Chaque membrane a une durée de vie, au-delà de laquelle, la membrane ne sera pas performante (chute de rendement et de performance, dégradation de l'état.

II.3.4-Taux de conversion

L'écoulement du fluide à filtre peut être continu et tangentiel.

La fraction du débit de liquide qui traverse la membrane est appelée le taux de conversion de l'opération de séparation.

II.3.5-Sélectivité

La sélectivité d'une membrane est, en général, définie par le taux de rejet (appelé aussi le taux de rétention) de l'espace (sel, particule, macromolécule) que la membrane est censé retenir.

Une membrane retient des solutés selon :

- ✓ Leur taille : c'est l'effet stérique qui résulte de la structure « tamisé » de matériaux
- ✓ Leur charge : une membrane peut être chargée, générant ainsi des interactions électrostatiques avec des composés chargés.
- ✓ Leur hydratation : dans le cas du petit soluté le cortège d'eau d'hydratation qui l'entoure peut participer à la rétention.

II.4. Structure (morphologie)

- ✓ Les membranes isotropes, ont des propriétés structurales constantes sur toute leur épaisseur.
- ✓ Les membranes anisotropes, leur structure composites varient de la surface membrane vers l'intérieur.
- ✓ Les membranes liquides.

II.4.1- Membranes du type polyamide

Compte tenu des inconvénients de l'acétate de cellulose, des membranes de type poly (amide/imide) ont été développées, principalement pour les applications en osmose inverse. [32]

Il existe plusieurs types de polymères caractérisés par une liaison amide (-CONH-) dans la chaîne comme le montre la figure N° 21 :

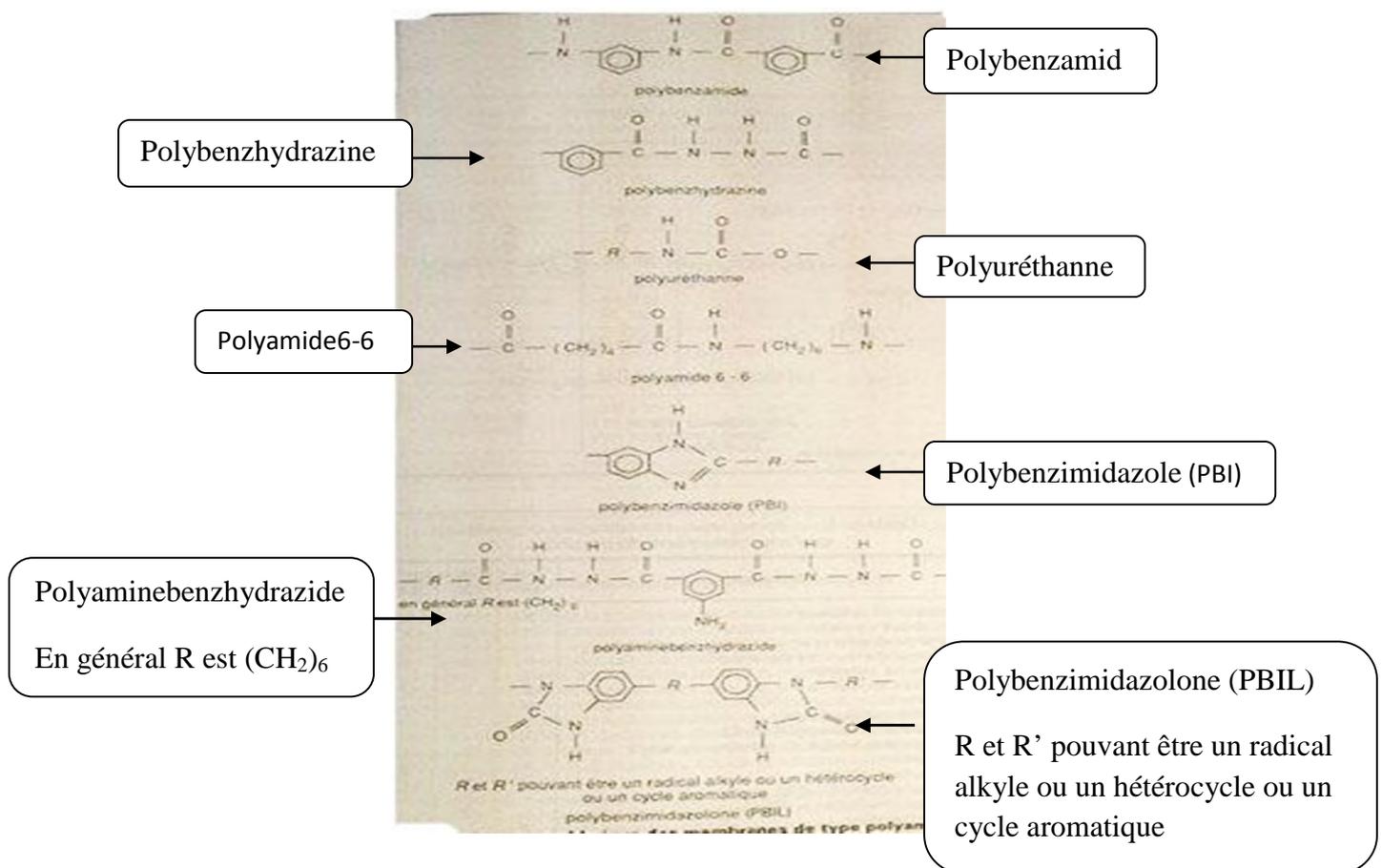


Figure N° 21 : structure chimique des membranes de type polyamide.[32]

✚ Avantages

Par rapport aux membranes en acétate de cellulose :

- Meilleure stabilité chimique,
- Meilleure stabilité thermique,
- Meilleure résistance mécanique. [32]

✚ Inconvénients

- Très grande sensibilité aux oxydants, en particulier au chlore ;
- Faible perméabilité ;
- Problèmes d'adsorption, en particulier de protéines par suite du caractère moins hydrophile que l'acétate de cellulose. [32]

II.4.2- Géométrie des membranes et des modules

Le module supportant les membranes, 4 grandes types de modules sont commercialisés :

- Les modules tubulaires ;
- Les modules fibres creuses ;
- Les modules plans ;
- Les modules spiralés.

Au niveau de l'industrie agroalimentaire CEVITAL, ils utilisent les modules spiralés car ils sont plus appropriés pour l'OI.

✚ Modules spiralés

Au sein des modules spiralés, une membrane plane et enroulée sur elle-même autour d'un tube poreux qui recueille le filtrat, On obtient ainsi un cylindre multicouche ou le perméat s'écoule selon un chemin spiralé vers le tube poreux tandis que l'alimentation circule axialement dans les canaux. [23]

Membrane composée d'un matériau organique. Elles sont utilisées pour la nanofiltration. Les modules sont composés d'un tube sur le-quel sont enroulées successivement une membrane, une grille fine, une autre membrane et une grille plus grossière. Les membranes doivent donc être suffisamment flexibles pour être enroulées. Le retentât circule à travers les grilles moins fines tandis que les filtrats vont aller jusqu'à la grille plus fine ou ils passeraient dans le creux central du tube [23].

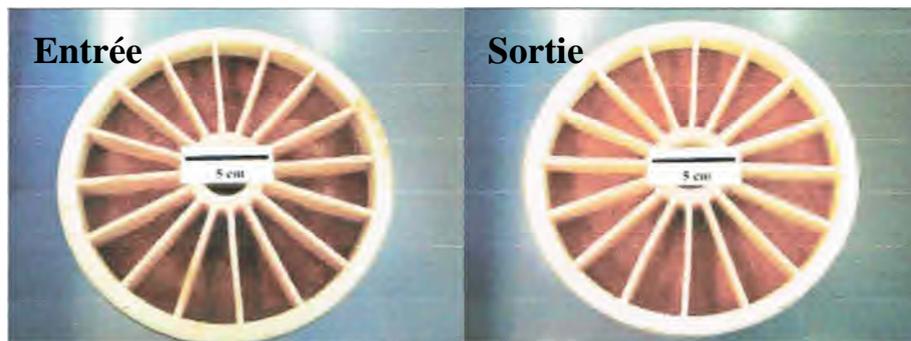


Figure N° 22 : membrane d'OI [31]

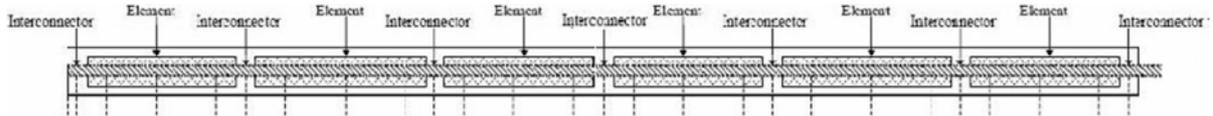


Figure N° 23 : Disposition des modules à l'intérieur d'un tube de pression [24]

➤ **Avantages**

- Capacité élevée : 300 à 1000 m²/m³
- Faible volume mort ;
- Coût d'investissement relativement faible ;
- Possibilité pour l'utilisateur de changer lui-même les membranes.

➤ **Inconvénients**

- Sensibilité relativement élevée au colmatage par suite de la faible distance entre membranes, et surtout de la présence d'espaceurs ;
- Difficulté de nettoyage [32].

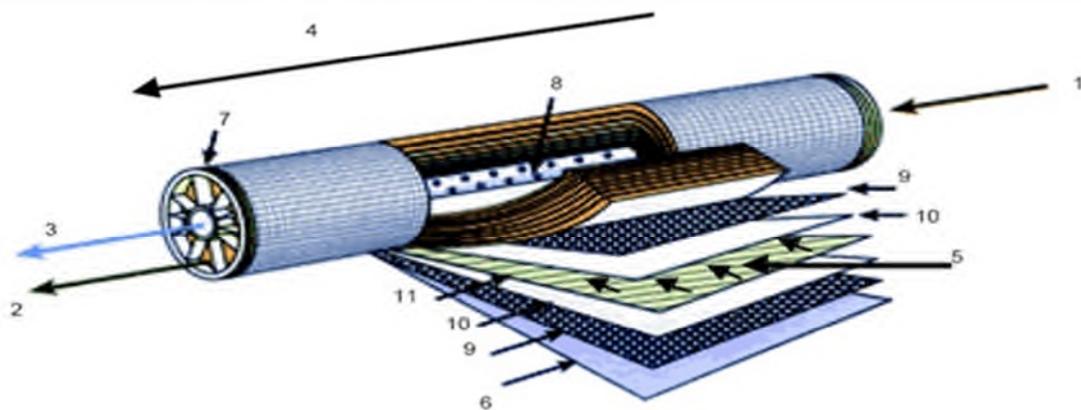
✚ Le choix d'un module :

Le choix d'un module se fait sur la base des critères suivants :

- le régime d'écoulement permettant de minimiser les phénomènes de polarisation de la concentration en régime laminaire et turbulent.
- la compacité (exprimée par le rapport de la surface filtrante au volume de module).
- la facilité de démontage et de remplacement (en cas de nécessité).
- la facilité de nettoyage.
- l'adaptation au produit à traiter (nécessité du prétraitement). [25]

✚ Constitution et assemblage en module

Les membranes sont le plus souvent fabriquées en acétate de cellulose ou en polymérie de synthèse (polyamides, poly sulfones), les membranes sont caractérisées par leurs qualités de stabilité chimique (pH, oxydants, dichlore...) de stabilité thermique (importante facture pour les utilisations biologiques ou il y a une stérilisation en autoclave), de stabilité microbiologique (dégradation bactérienne pour les membranes en acétate de cellulose), et de résistance mécanique. [26]



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

Figure N° 24 : structure interne d'une membrane à spirale [28].

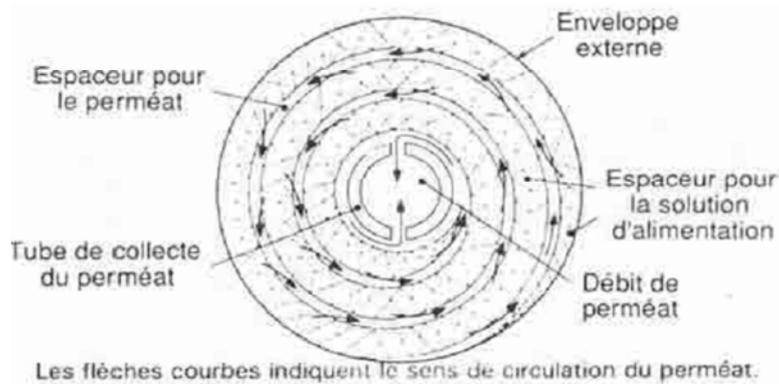


Figure N° 25 : Détails des modules spiraux [24]

II.5- La théorie de transfert membranaire

Les procédés de filtration membranaire mettent en œuvre un fluide composé de particules, des colloïdes macromoléculaires et d'électrolytes. L'accumulation de la matière et sa rétention au voisinage de la membrane ou la concentration élevée est alors très complexe et donc très difficile à simuler et à prédire. Il est cependant utile de connaître le principal ion permettant de décrire ces phénomènes afin de bien comprendre les phénomènes mis en jeu. [27]

II.6- limitations de l'osmose inverse

Le colmatage est l'ensemble des mécanismes qui limitent le flux à travers une membrane. Dans le cas de l'osmose inverse, le phénomène de colmatage peut être classifié en trois catégories :

- La précipitation des composés inorganiques sur la membrane (l'entartrage) ;
- La formation du dépôt par des particules ou des matières organiques sur la membrane ;
- Les formations de biofilm sur la membrane (le bio-colmatage) [17].

II.7- Entartrage et colmatage

Les principaux problèmes que l'on rencontre dans le dessalement de l'eau de mer sont les problèmes d'entartrage et de colmatage des surfaces d'échange [17].



Figure N°26 : représentation d'un bout de membrane colmater [31]

✚ Problèmes d'entartrage

L'entartrage est un problème de sels minéraux qui a tendance à se former sur les surfaces d'échange. Les dépôts sont constitués principalement par carbonate de calcium (CaCO_3), de l'hydroxyde de magnésium ($\text{Mg}(\text{OH})_2$) et de sulfate de calcium (CaSO_4). Pour qu'il y ait dépôt de tartre sur une surface d'échange, deux conditions principales doivent être réunies :

- Une condition thermodynamique : il faut que la limite de solubilité soit dépassée, c'est à dire qu'il y ait sursaturation.
- Une condition cinétique : il faut que la vitesse de déposition soit suffisamment rapide [17].

✚ colmatage par dépôt

Le fonctionnement d'un procédé de filtration membranaire est conditionné par le colmatage qui est le phénomène qui s'oppose à la filtration. En effet, au cours de l'utilisation, la matière retenue par la membrane s'accumule (phénomène de polarisation son expliquée par l'étude de transfert de la matière vers la membrane), réduisant ainsi le flux de perméation et donc de la productivité du procédé [27].

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

- a) le colmatage particulaire ou colloïdal : des colloïdes peuvent être agglomérés et adhérer à la membrane. Les colloïdes les plus courants sont des argiles de silicate d'aluminium (0.3-1 μm) et des colloïdes de fer. Les microorganismes déposés font aussi partie de ce colmatage.
- b) Le colmatage par matière organique : la dégradation de la matière organique produit une matrice de macromoléculaires appelée acide humique. Les matières organiques dans les eaux

salées sont principalement des substances humiques à des concentrations entre 0.5 et 20 mg.L⁻¹ [17].

le bio-colmatage :

Toutes les eaux de mer contiennent des microorganismes tels que des bactéries, des algues, les virus... Ces microorganismes secrètent des substances polymériques extracellulaires qui adhèrent à la surface de la membrane et provoquent la formation d'un bio-film. La première étape de la formation du biofilm est probablement l'adsorption des molécules organiques sur la surface de la membrane. Cette couche organique conditionne la surface de la membrane et améliore l'adhésion des microorganismes. L'étape suivante est donc l'adhésion des microorganismes sur la surface de la membrane conditionnée ; cette étape est suivie par l'adhésion microbienne, la croissance des cellules adhérentes et ensuite la production de polymère extracellulaire. En osmose inverse, le colmatage par bio-film est un phénomène majeur [17].

II.8- 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 [13].

II.8.1- Nettoyage chimique

Lorsque les méthodes de nettoyage ne sont pas assez efficaces pour réduire le débit (d'alimentation) à un niveau acceptable, il est nécessaire de nettoyer les membranes chimiquement.

Lors de ce procédé, on ajoute des produits chimiques, au perméat lors du rinçage vers l'arrière tels que l'acide chlorhydrique (HCl) et l'acide nitrique (HNO₃), ou des agents de désinfection, tel que le peroxyde d'hydrogène (H₂O₂). Dès que le toit est rempli avec le perméat, il faut laisser tremper avec les produits chimiques, le module est ensuite rincé et la production peut reprendre. On combine souvent les méthodes de nettoyage, par exemple on peut utiliser un rinçage « vers l'arrière », pour éliminer les contaminants des pores, suivi par rinçage « vers l'avant » ou avec de l'air [22].

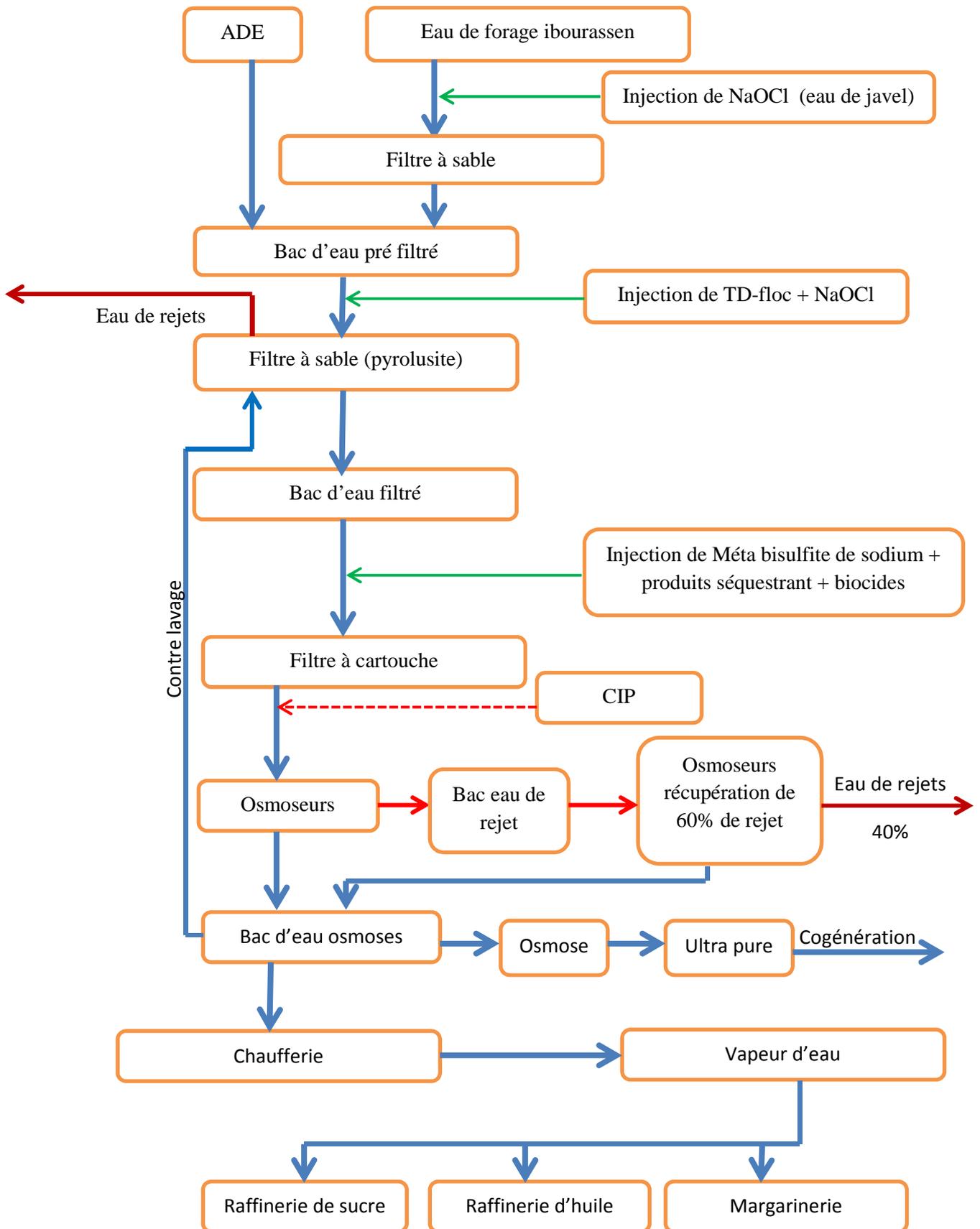


Figure N° 27 : schéma générale du Processus de traitement de l'eau par osmose inverse.

II.9- unité d'osmose inverse

L'unité d'osmose inverse au niveau de l'industrie agro-alimentaire de Cevital a une capacité de production de 500 m³/heure d'eau déminéralisée. Elle est constituée de 5 lignes séparées de 100 m³/heure chacune. L'eau brute de départ est déminéralisée à environ 98%.

II.9.1- Système d'alimentation en eau brute

L'eau brute utilisée au niveau de l'osmose inverse est une eau de forage issue d'un puits artésien situé au niveau d'IBOURRASEN. L'eau est pompée puis acheminée vers un bassin de pré-décantation. A ce niveau, de l'hypochlorite de sodium (NaOCl) est ajouté, il est utilisé avant tout pour son pouvoir désinfectant.

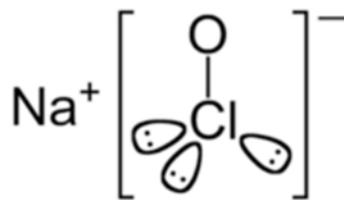
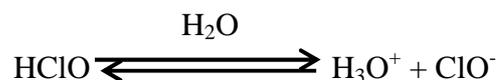


Figure N° 28: Hypochlorite de sodium [38]

(Eau de javel)

Dans l'eau, l'acide hypochloreux est dissocié en ions (H₃O⁺) et hypochlorite (ClO⁻)

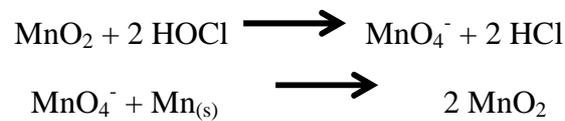


La somme des composés NaClO, HClO et ClO⁻ constitue le chlore résiduel libre. Une concentration en chlore résiduel libre comprise entre 0.5 et 1 mg/L doit être maintenue constante le long de la filière de prétraitement pour empêcher le colmatage de la membrane [36].

II.9.2- Système de prétraitement :

☒ Préfiltration avec des filtres à sable :

Pour éviter l'entassement des filtres à cartouche, 20 filtres à sable sont prévus pour retenir toutes les particules en suspension ayant un diamètre supérieur à 40 microns. A l'entrée des filtres à sable, de l'hypochlorite de sodium est dosé afin de prévenir toutes proliférations bactériennes. De même le dosage en continu du chlore permet la régénération du dioxyde de manganèse par réaction catalytique du manganèse soluble après oxydation superficielle du MnO_2 en MnO_4^- suivant la réaction :



Aux quelles correspond la réaction totale :



Pour éliminer le fer, le produit TD-FLOC est ajouté. La déferrisation, en l'absence d'une phase aération à l'amont des filtres, utilise le MnO_2 (pyrolusite) pour l'oxydation des ions ferreux et former de l'hydroxyde de fer $Fe(OH)_3$ ce composant précipite facilement une fois que le TD-floc auras agi sur les molécules de $Fe(OH)_3$ en les rassemblant pour former un grand composé qui sera retenu par le lit filtrant et éliminé par la seule opération de contre lavage .

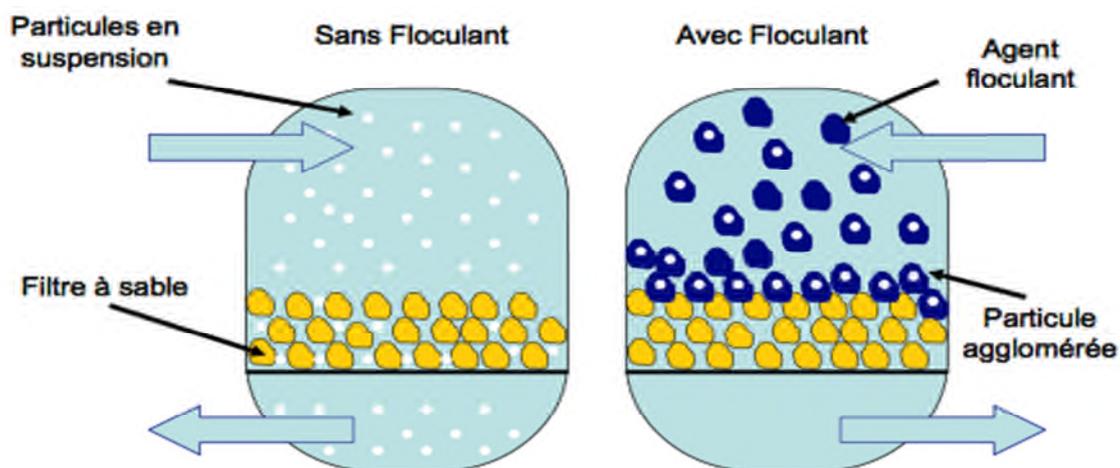


Figure N°29 : Fonctionnement d'un filtre à sable avec et sans agent flocculant.

✚ Contre lavage

Il permet de prévenir l'excessive perte de pression causée par les particules retenues dans les filtres. Le contre lavage s'effectue avec de l'eau filtrée et le lavage final avec de l'eau brute.

✚ Réservoir d'eau filtrée

L'eau filtrée est stockée dans un réservoir intermédiaire, ce qui rend indépendant la section osmose.

✚ Groupe de déchloration

Sur la ligne d'alimentation des lignes d'osmose, et avant les filtres à cartouche, du métabisulfite de sodium ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$) est dosé pour neutraliser le chlore libre. Ce dernier peut oxyder les parois superficielles des membranes en polyamide. La réaction du métabisulfite de sodium avec le chlore et l'eau est la suivante :



Le bisulfite de sodium réduit l'acide hypochloreux comme suit :



L'avantage du métabisulfite par rapport aux autres techniques (photochimie, filtres à charbon actif...) est qu'il est aussi un réducteur d'oxygène (O_2), ce qui ralentit considérablement le développement des germes sur l'osmoseur.

En théorie, il est nécessaire d'en utiliser 1,34 mg pour 1 mg de chlore résiduel. En pratique cependant, il faut en ajouter 3 mg [36].

✚ Groupe de dosage de produit séquestrant

Avant les filtres à cartouche, une quantité préétablie de produit séquestrant est dosée dans l'eau d'alimentation pour permettre la dispersion des carbonates de calcium (CaCO_3), des sulfates de calcium (CaSO_4), des sulfates de baryum (BaSO_4) etc. Il retarde ainsi leur précipitation, et de cette manière, les membranes s'entassent moins rapidement et le nombre de CIP diminue.

🚦 Groupe de dosage de produits biocides :

Il est utilisé en cas d'arrêt prolongé, pour éviter toute prolifération bactérienne et la formation de biofilm.

🚦 Filtres à cartouche :

Ils sont prévus pour éliminer toutes les particules ayant un diamètre supérieur à 5 microns.



Figure N° 30 : Filtre à cartouche

II.9.3- Système d'osmose inverse

C'est la section principale de tout le système. Il est composé de cinq lignes de 120 m³/h chacune. L'eau provenant des filtres de sécurité est envoyée aux modules R01, R02 et R03, R04, R05 par des pompes de haute pression. Dans ces modules, l'eau est séparée en eau déminéralisée (produit) et en concentré (eau de décharge). Le taux de récupération est de 72%. L'eau produite est stockée et acheminée vers les chaudières, par deux pompes centrifuges.

🚦 CIP (Cleaning In Place)

Lorsque la pression d'exercice sur les membranes augmente de 10 % pour les mêmes conditions d'exercice, il est nécessaire de laver les membranes avec un produit acide ou basique

Durant une certaine période la membrane se colmate à cause de tout ce qu'elle a pu retenir et pour éliminer ce dernier, il faut faire un lavage avec des produits basiques ou acides ou même biocides. Au niveau de l'unité d'osmose de CEVITAL, il existe différents schémas de lavage chacun d'eux correspond, à un entassement précis (faible, moyen, fort, bio-colmatage). En effet, il est très important de procéder immédiatement au lavage des membranes par des produits chimiques (C.I.P) lorsque un des paramètres opératifs (débit produit, conductibilité, pression) varie de 10 à 15%, vis-à-vis des conditions de fonctionnement (salinité eau brute, température,...etc.).

Chapitre III :
analyse des eaux

I. Matériel et méthode

I.1. Méthodes électrochimiques

I.1.1. Potentiel hydrogène (pH)

Le principe

C'est la mesure de la différence de potentiel existant entre une électrode de verre et une électrode de référence plongeant dans une même solution. Le potentiel de l'électrode est lié à l'activité des ions H^+ .

Matériels

- pH-metrehache hq40d;
- bécher ;
- solution pH 4.7 et 10.

Mode opératoire du pH-mètre

- Etalonner le pH-mètre avec deux solutions étalons de pH 7 et 10 ou 4 et 7 (selon la gamme de mesure à réaliser) ;
- remplir un bécher avec l'eau à analyser ;
- Plonger la sonde du pH-mètre dans l'échantillon ;
- Après stabilisation, lire directement le résultat sur le cadran.

I.1.2 Conductivité

Principe

La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1cm^2 de surface et séparées l'une de l'autre de 1 cm. elle est l'inverse de la résistivité électrique.

Matériels

- Conductimètre HACH HQ 40D ;
- Becher ;
- Solution conductivité $25\ \mu\text{s}/\text{cm}$, $1000\ \mu\text{s}/\text{cm}$, $1413\ \mu\text{s}/\text{cm}$.

✚ Mode opératoire

Après avoir étalonné le conductimètre :

- Plonger la sonde de l'appareil préalablement rincée dans un bécher avec l'eau à analyser ;
- Secouer la sonde légèrement afin d'éliminer les bulles d'air ;
- Attendre quelques secondes et mesurer.

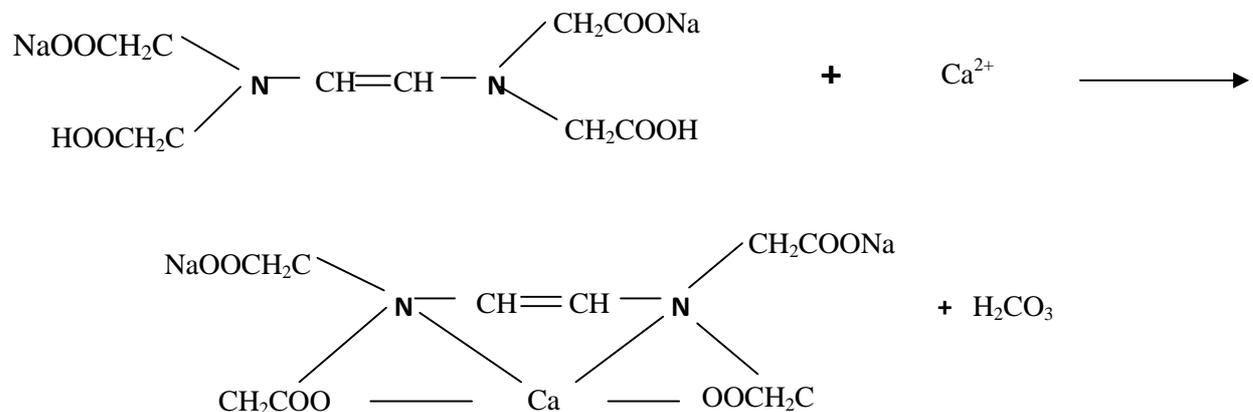
I.2. Méthodes Titrimétriques

I.2.1. Le titre hydrotimétrique total (dureté totale, TH Totale)

✚ Principe

Le THT est déterminé par dosage complexométrique en présence de sel disodique (EDTA) et du Noir Eriochrome comme indicateur coloré. Le sel disodique de l'EDTA (complexon) 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 change de couleur lorsque les dernières traces d'ions magnésium sont complexées.

Réactions chimiques:



✚ Matériels

- erlenmeyer 250 ml ;
- Fiole de 100 ml ;
- Burette graduée de 10 ml.

+ Réactifs

- EDTA (0.02 N) ;
- Solution tampon ammoniacal pH=10 ;
- Noir Eriochrome T (NET) indicateur coloré.

+ Mode opératoire

- Prendre 100 ml d'eau à analyser dans un ERLLENMEYER ;
- Ajouter 8 gouttes de solution Tampon ammoniacal (qui sert à stabiliser le pH durant le titrage) ;
- Ajouter quelques gouttes de NET. (Noir Eriochrome T) et mélanger ;
 - Si une coloration bleue apparaît, le TH est nul ($TH = 0^{\circ}f$) ;
 - Si une coloration violette apparaît (présence d'ions de Ca^{++} et Mg^{++}) ; titrer le mélange avec une liqueur hydrométrique d'EDTA (sel tétra sodique de l'acide Ethylène Diamine Tétracétique) à 0,02 N jusqu'au virage de la coloration violette vers le bleu vert.

+ Expression des résultats

Le calcul du TH total :

$$TH \text{ total } (^{\circ}f) = V \text{ ml}$$

- * TH total : Titre hydrotimétrique total.
- * $^{\circ}F$: Degrés français ($1^{\circ}F = 10 \text{ mg/l de } CaCO_3$).
- * V : Volume, chute de la burette.

I.2.2. Titre hydrotimétrique TH Ca^{2+} **+** Réactifs

- EDTA (0.02 N) ;
- Solution de soude caustique à 5N ;
- Murexide ;
- Burette graduée de 10 ml.

+ Mode opératoire

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

- Ajouter 25 gouttes de NaOH à 5N (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 0,02N jusqu'au virage du rose au violet.

✚ Expression des résultats

Le calcul du TH Ca⁺⁺ :

$$\text{TH Ca}^{++} (\text{°F}) = V \text{ ml}$$

* TH Ca⁺⁺ : Titre hydrométrique calcique.

* °F : Degrés français (1°F = 10 mg/l de CaCO₃).

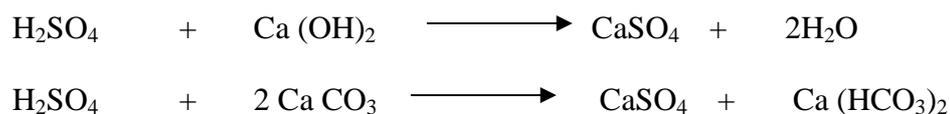
* V : Chute de la burette en ml

I.2.3. Le titre alcalimétrique (TA)

✚ Principe

Détermination du volume d'acide fort en solution diluée nécessaire pour neutraliser au niveau de pH 8.3, le volume d'eau à analyser.

✚ Réaction chimique



✚ Matériels

- erlenmeyer 250 ml ;
- Fiole de 100 ml ;
- Burette graduée de 10 ml.

✚ Réactifs

- Acide sulfurique (0.02 N) ;
- Phénolphthaléine.

Mode opératoire

- Prendre 100 ml d'une eau à analyser dans un erlenmeyer ;
- Ajouter deux gouttes de Phénolphtaléine (un indicateur de pH) et agiter ;

Si la solution reste incolore, le TA est considéré comme nul ($TA = 0$), et cela indique que le pH est inférieur à 8,3. Dans le cas où une coloration rose se forme, titrer avec une solution étalon d'acide sulfurique à 0,02 N jusqu'à la décoloration totale.

Expression des résultats

Le calcul du TA :

$$TA (^{\circ}F) = V \text{ ml}$$

* TA : Titre alcalimétrique.

* °F: Degrés français ($1^{\circ}F = 10 \text{ mg/l de CaCO}_3$).

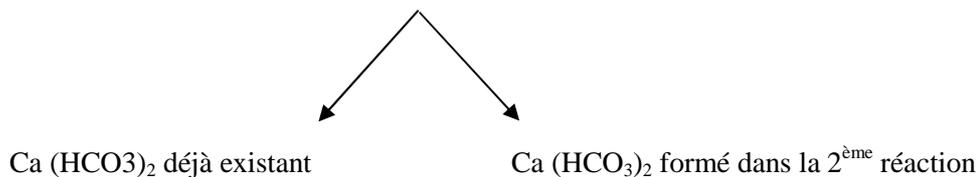
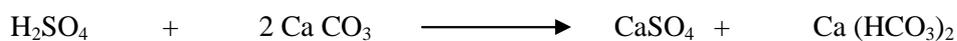
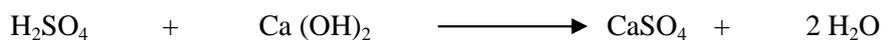
* V : Volume de la chute de la burette en ml.

I.2.4. Le titre alcalimétrique complet (TAC)

Principe

Détermination du volume d'acide fort en solution diluée nécessaire pour neutraliser au niveau de pH 8.3, le volume d'eau à analyser.

Réactions chimiques du TAC :



✚ Matériels

- erlenmeyer 250 ml.
- Fiole de 100 ml.
- Burette graduée de 10 ml.

✚ Réactifs

- Nitrate d'argent AgNO_3 (0.02N).
- Chromate de potassium K_2CrO_4 .

✚ Mode opératoire

- Dans un ERLLENMEYER, prendre un échantillon de 100 ml d'eau à analyser,
- Ajouter 5 gouttes de chromate de potassium.
Une coloration rose doit alors apparaître.
- Titrer avec la solution AgNO_3 à 0,02N (Le nitrate d'argent précipite les chlorures alcalins et alcalino-terreux sous forme de chlorures d'argent) et agiter délicatement le soluté jusqu'à l'obtention d'une teinte rouge brique signalant la fin de la réaction.

✚ Expression des résultats

Le calcul de la teneur en chlorure :

$$\text{Cl}^- (\text{°F}) = V \text{ ml}$$

V : chute de burette.

3-Méthodes spectrophotométriques

Au niveau du laboratoire des eaux, les méthodes d'analyses *NANOCOLORUV/VIS* sont appliquées pour déterminer la concentration des minéraux ci-dessous :

✚ Matériels

- Cuve rectangulaire 5 cm NANOCOLOR ;
- Pipette 1 ml, 20 ml ;
- fiole 25 ml ;
- Spectrophotomètre NANOCOLORUV/VIS.

I.3.1. Les sulfites (*NANOCOLOR® Sulfite 10 Test 0-89 Art. N° 985 089*)

Principe

Les sulfites réagissent avec un dérivé de l'acide thiodibenzoïque pour former un complexe de couleur jaune mesurable par photométrie. Cette procédure est spécifique aux sulfites.

Réactifs

- Réactif R2 NANOCOLOR.

Mode opératoire

Dans une cuve ronde, ajouter 04 ml d'échantillon à analyser et 0.2 ml de R2. Fermer, mélanger et mesurer après 5 minute.

Le blanc est préparé avec 04 ml d'eau distillée et 0.2 ml de R2.

I.3.2. Les orthophosphates : *NANOCOLOR® Orthophosphate et phosphate total 15 Test 0-80*

Principe

Les ions orthophosphates réagissent avec le molybdate d'ammonium pour donner de l'acide phosphomolybdique. Celui-ci sera réduit en bleu de molybdène.

Réactifs

- Réactifs 3 et 4 NANOCOLOR.

Mode opératoire

Après filtration de l'échantillon, ajouter dans une cuve ronde 0.5 ml de l'échantillon à analyser et un NANOFIXphosphate total R3, puis 0.2 ml de phosphate total R4. Fermer, mélanger, nettoyer et mesurer après 10 mn.

La lecture se fait à une longueur d'onde de 690 nm.

I.3.3. Phosphate total

✚ Principe

Les polyphosphates se transforment en orthophosphates après chauffage à 100°C pendant 60 minutes ou 120°C pendant 30 minutes. Les ions orthophosphates réagissent avec le molybdate d'ammonium pour donner de l'acide phosphomolybdique. Celui-ci sera réduit en bleu de molybdène.

✚ Réactifs

- Réactifs 2, 3 et 4 NANOCOLOR.

✚ Mode opératoire

Dans une cuve ronde, ajouter 0.5 ml de l'échantillon à analyser et un NANOFIX phosphate total R2. Mélanger, et placer dans un bloc chauffant à 100°C pendant une heure.

Sortir la cuve du bloc chauffant et laisser refroidir à température ambiante. Ajouter un NANOFIX phosphate total R3 puis 0.2 ml de phosphate total R4. Fermer, mélanger, nettoyer et mesurer après 10 mn. La lecture se fait à une longueur d'onde de 690 nm.

I.3.4. Le fer: NANOCOLOR® Fer 3 Test 0-37 Art. N° 985 037

✚ 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.

✚ Réactifs

- Réactifs 2 NANOCOLOR.

✚ Mode opératoire

Dans une cuve ronde, ajouter 04 ml de l'échantillon à analyser et un NANOFIX R2 (fermer le tube de NANOFIX immédiatement après l'addition de R2) et mesurer après 10 mn. Le blanc est préparé avec 04 ml d'eau distillée et un NANOFIX R2.

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

I.3.4. La silice: NANOCOLOR® Silice Test 1-48 Art. N° 918 48

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.

Réactifs

- Réactifs 1, 2 et 3 NANOCOLORUV/VIS

Mode opératoire

Introduire respectivement dans une fiole de 25 ml :

- 20 ml d'échantillon à analyser
- 1ml de R1, mélanger et attendre 3 mn ;
- 1 ml de R2, mélanger et attendre 1 mn ;
- 1 ml de R3.

Ajuster à 25 ml avec de l'eau distillée et mesurer après 15 mn après avoir transvasé dans des cuves rectangulaires.

La lecture se fait à une longueur d'onde de 690 nm.

I.3.5. Le chlore libre : NANOCOLOR® Chlore Test 1-16

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.

Réactifs

- Réactifs 1 et 2 NANOCOLOR.

Mode opératoire

Introduire respectivement dans une fiole de 25 ml :

- 20 ml d'échantillon à analyser
- 1 ml de R1, mélangé ;

- Une pincée de R2, mélangé ;
Ajuster à 25 ml avec de l'eau distillée et mesurer après 30 secondes après avoir transvasé dans des cuves rectangulaires.

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

I.3.6. Le manganèse : (NANOCOLOR® Manganèse 10 Test 0-58 Art. N° 985 058)

✚ Principe

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

✚ Matériels

- Cuve ronde NANOCOLOR;
- pipette 1 ml et 5ml ;
- Spectrophotomètre NANOCOLORUV/VIS.

✚ Réactifs

- Réactifs 2,3 NANOCOLOR.

✚ Mode opératoire

Dans une cuve ronde, ajouter 04 ml de l'échantillon à analyser et 0.5 ml de R2. Fermer, mélanger et attendre une minute, puis ajouter une cuillère de mesure de R3 et mesurer après 5 mn.

Le blanc est préparé avec 04 ml de l'échantillon à analyser, 0.5 ml de R2 et une cuillère de mesure de R3.

I.3.7. Aluminium: NANOCOLOR® Aluminum 07 Test 0-98 Art. N°985 098

✚ 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.

Réactifs

- Réactifs 2, 3 et 4 NANOCOLOR.

Mode opératoire

Dans une cuve ronde ajouter :

- 0,5 ml de R2 ;
- 0,5 ml de R3 ;
- 04 ml de l'échantillon à analyser ;
- 0,5 ml de R4 ;

Fermer et mélanger et mesurer après 5 mn.

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

II. résultats et discussion

Les analyses sont effectuées sur des échantillons d'eau de forage IBOURASSEN avant et après traitement

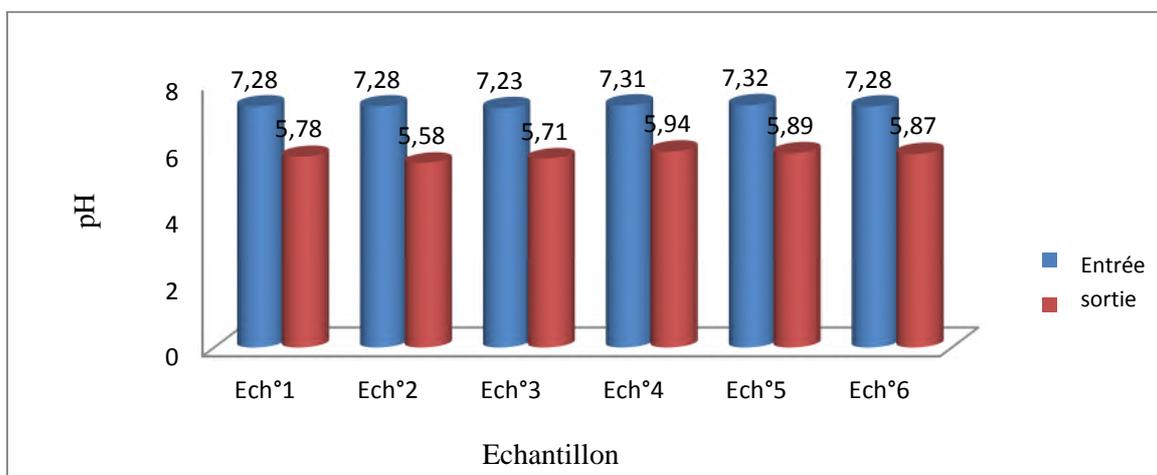
Les paramètres étudiés sont : le pH, la conductivité, TA, TAC, TH, TH Ca⁺⁺, Cl⁻, SiO₂, Cl₂, Fe, Mn, Al.

II.1. Le pH

Tableau N° 2: Mesure du pH à l'entrée et la sortie de l'unité OI.

Echantillon	Entrée pH	Sortie pH
Ech°1	7.28	5,78
Ech°2	7.28	5,58
Ech°3	7.23	5,71
Ech°4	7.31	5,94
Ech°5	7,32	5,89
Ech°6	7,28	5,87
moyenne	7.29	5.80

La figure ci-dessous résume les résultats de la variation du pH des différents échantillons analysés :



Figures N° 31 : variation du pH à l'entrée et à la sortie de l'unité OI.

La mesure du pH est une considération importante en ce qui concerne la détermination de l'action corrosive de l'eau et l'évaluation des pratiques de traitement d'eau au niveau des procédés industriels.

Le pH des eaux naturelles est lié à la nature des terrains traversés, il varie habituellement entre 4,5 et 8,3.

Les résultats en diminué légèrement la valeur du pH ce qui implique que des éléments responsables de l'augmentation du pH en était éliminer tel que Ca^{2+} , CO_3^{2-} . Le pH avant et après le traitement varie de 7,67 à 5,86 les valeurs de pH mesurées répondent aux normes.

II.2. La conductivité

Tableau N° 3 : Mesure de conductivité en à l'entrée et à la sortie de l'unité d'OI.

Echantillon	Entrée	Sortie	Rd%
Ech°1	2462.00	42.67	99.08
Ech°2	2366.67	33.93	98.89
Ech°3	2383.33	61.00	98.85
Ech°4	2473.33	63.33	98.85
Ech°5	2446.67	63.30	98.69
Ech°6	2516.67	55.23	98.74
moyenne	2438.61 $\mu\text{s}/\text{cm}$	53.24 $\mu\text{s}/\text{cm}$	98.85

La figure ci-dessous résume les résultats de la conductivité des différents échantillons analysés :

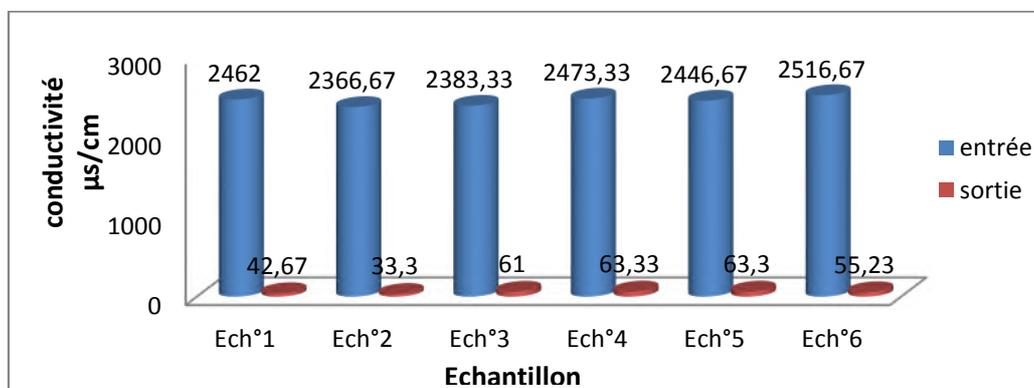


Figure N° 32 : variation de la conductivité à l'entrée et à la sortie de l'unité OI.

Avant le traitement de l'eau, la conductivité est très élevée avec une moyenne de 3438.51 $\mu\text{s}/\text{cm}$ ceci s'explique par la forte présence d'ions minéraux. Par contre l'eau osmosée présente une moyenne de 53.24 $\mu\text{s}/\text{cm}$. Ce qui nous informe sur le fait que le traitement par OI élimine la quasi-totalité des sels avec un Rd de 98.85 %

Donc le traitement par technique d'OI est très efficace pour l'élimination des sels. Les résultats obtenus sont maintenue dans l'intervalle de conformité des normes.

II.3. Le TH

Tableau N° 4 : Mesure de TH à l'entrée et la sortie de l'unité OI.

Echantillon	Entrée (°F)	Sortie (°F)
Ech°1	88.20	0,00
Ech°2	87.20	0,00
Ech°3	89.00	0,00
Ech°4	86.07	0,00
Ech°5	88.00	0,00
Ech°6	87.80	0,00
Moyenne	87.82	0,00

La figure ci-dessous résume les résultats du TH des différents échantillons analysés :

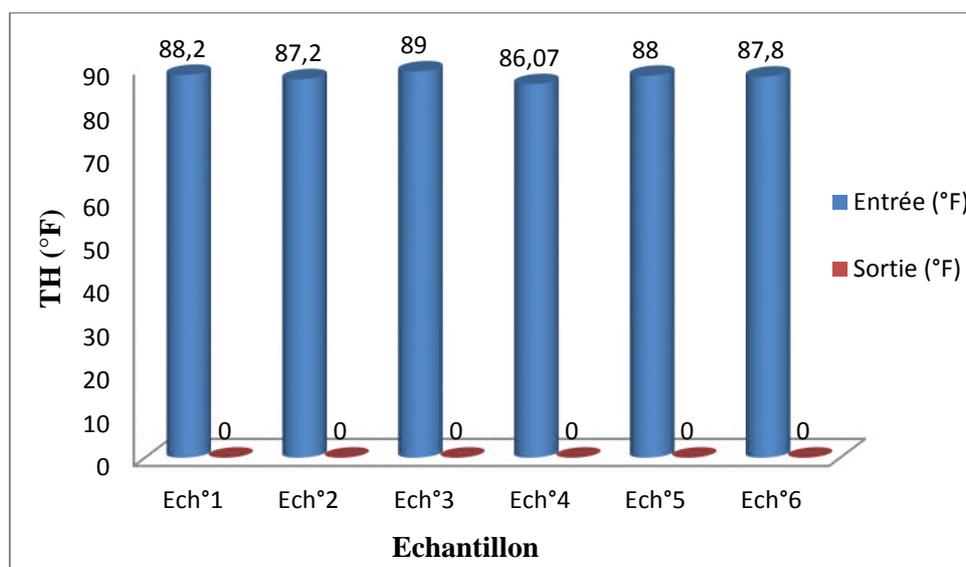


Figure N° 33 : variation de TH à l'entrée et à la sortie de l'unité OI.

D'après les résultats obtenus, on constate que la qualité de l'eau est dure mais reste conforme aux normes, cette dureté est liée à la nature des terrains traversés par l'eau que ce soit calcaire ou gypseuse, elle peut présenter un risque d'entartrage des conduites.

Par contre une fois que cette eau est traitée par la technique d'OI en remarque que la valeur du TH est nulle pour tous les échantillons analysés, les ions carbonates de calcium et carbonates de magnésium ont été complètement éliminés. Donc les membranes sont très efficaces. Les résultats obtenus du TH sont conformes aux normes.

II.4. Le TA

Tableau N° 5: mesure de TA à l'entrée et la sortie de l'unité OI.

Echantillon	Entrée (°F)	Sortie (°F)
Ech°1	00	00
Ech°2	00	00
Ech°3	00	00
Ech°4	00	00
Ech°5	00	00
Ech°6	00	00
Moyenne	00	00

Le titre alcalimétrique (TA) est nul pour tous les points de prélèvement, car le pH est inférieur à 8,3 d'où l'absence de carbonates et d'alcalins libres.

II.5. Résultats de TAC

Tableau N° 6: Mesure de TAC à l'entrée et la sortie de l'unité OI

Echantillon	Entrée (°F)	Sortie (°F)
Ech°1	28.33	0.40
Ech°2	27.67	0.43
Ech°3	27.73	0.50
Ech°4	28.47	0.50
Ech°5	27.33	0.50
Ech°6	27.93	0.47
Moyenne	27.91	0.46

La figure ci-dessous résume les résultats du TAC des différents échantillons analysés :

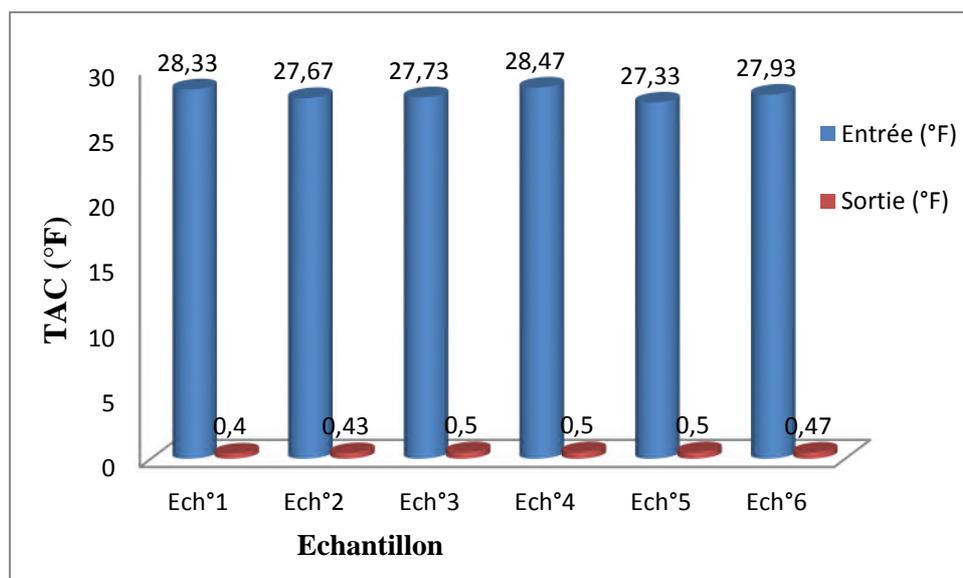


Figure N° 34 : variation de TAC à l'entrée et à la sortie de l'unité OI.

D'après les résultats, on observe une baisse importante de la valeur du TAC qui passe d'une valeur moyenne de 27.92 °F à l'entrée à une moyenne de 0,46 °F à la sortie des osmoseurs, ce qui explique l'efficacité des osmoseurs à éliminer une très grande partie des ions hydrogénocarbonates et carbonates présents dans l'eau.

En remarque que Les résultats du TAC obtenus sont conformes aux normes.

II.6. taux de chlorures

Tableau N° 7 : Taux de Chlorures à l'entrée et à la sortie des osmoseurs.

Echantillon	Entrée (°F)	Sortie (°F)	Taux de rétention
Ech°1	57.33	1.60	98.40
Ech°2	56.07	1.50	98.50
Ech°3	56.67	2.13	97.87
Ech°4	58.47	2.10	97.90
Ech°5	59.00	1.93	98.07
Ech°6	57.70	1.73	98.27
moyenne	57.54	1.83	98.17

La figure ci-dessous résume les résultats de la teneur en chlorures des différents échantillons analysés :

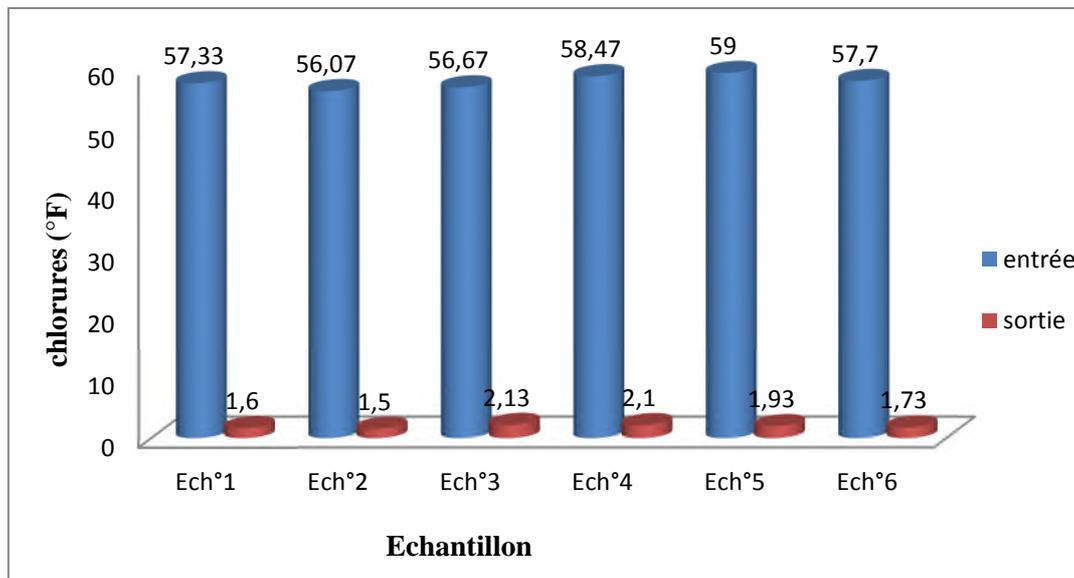


Figure N° 35 : variation de la teneur en chlorures à l'entrée et à la sortie de l'unité OI.

D'après les résultats obtenus, on constate que la différence des valeurs de la teneur en chlorures à l'entrée et à la sortie est importante, car les membranes présentent un taux de rétention de 98.17 % ce qui confirme le bon rendement et fonctionnement des membranes vis-à-vis des chlorures.

II.7. Le chlore

Tableau N° 8 : Mesure du chlore dans les différents stades de prélèvement.

paramètre Echantillon	Cl ₂ en ppm					
	A l'entrée	Avant injection de Na ₂ S ₂ O ₅	Après injection de Na ₂ S ₂ O ₅			
			Ligne1	Ligne2	Ligne3	Ligne4
Ech°1	0.03	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00
Ech°2	0.05	0.07	0.01	0.00	0.02	0.01
Ech°3	0.05	0.04	0.01	0.01	0.00	0.02
Ech°4	0.06	0.11	0.02	0.04	0.02	0.01
Ech°5	0.04	0.11	0.04	0.01	0.01	0.01
Ech°6	0.06	0.09	0.01	0.01	0.01	0.04
Moyenne	0.05	0.07	0.01	0.01	0.01	0.01

La figure ci-dessous résume les résultats du chlore aux différents stades de prélèvement des différents échantillons analysés :

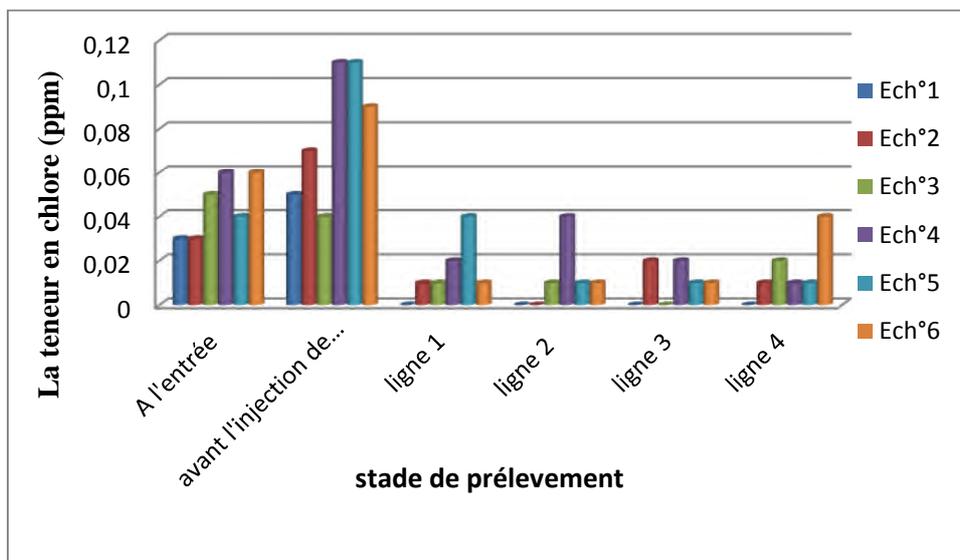


Figure N° 36 : variation de la teneur en chlore à l'entrée et à la sortie de l'unité OI.

A partir du tableau N° 8, nous observons que la concentration du chlore est faible dans l'eau brute, l'addition de métabisulfite de sodium n'a pas complètement éliminé les traces de chlore dans l'eau filtrée. Les concentrations de l'ordre de 0,01 mg/l ont été enregistrées dans l'eau osmosée, cela s'explique par l'insuffisance de déchloration ou la faible quantité de métabisulfite de sodium ajoutée. Il est important de signaler que les membranes d'OI sont très sensibles au chlore, l'accumulation de ce gaz à la surface des membranes accélère le processus de dégradation et réduit ainsi la durée de vie de celles-ci.

II.8. La teneur en fer

Tableau N° 9 : Mesure de la teneur en Fer avant injection de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ à l'entrée et à la sortie.

Paramètre Echantillon	La teneur en fer (ppm)		
	A l'entrée	Avant injections de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$	A la sortie
Ech°1	1.4	0.06	0.02
Ech°2	0.48	0.00	0.00
Ech°3	0.34	0.03	0.01
Ech°4	0.5	0.00	0.00
Ech°5	0.4	0.00	0.00
Ech°6	0.3	0.00	0.00
Moyenne	0.57	0.015	0.005

La figure ci-dessous résume les résultats de la teneur en fer des différents échantillons analysés :

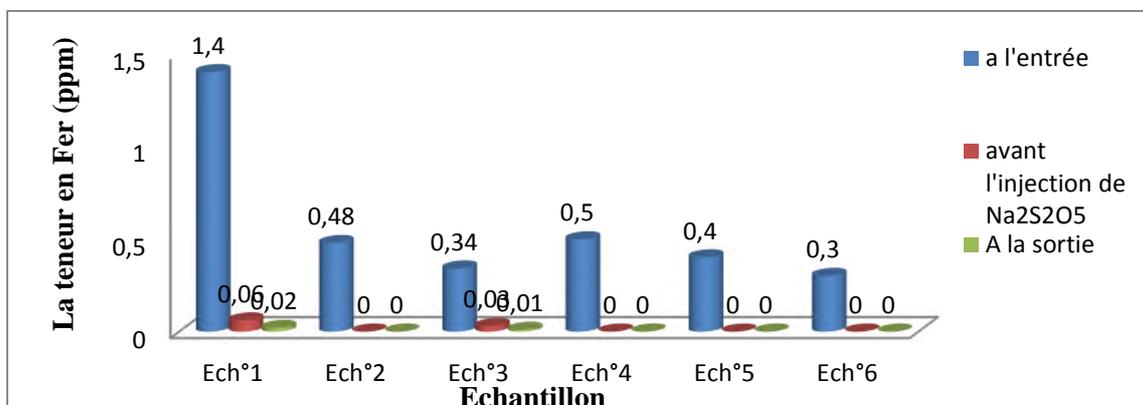


Figure N° 37 : variation de la teneur en fer à l'entrée et à la sortie de l'unité OI.

D'après la figure N° 37, on remarque que l'eau filtrée contient une faible valeur de fer 0,015 ppm, ces données confirment la précipitation attendue du fer après oxydation et floculation et sa rétention par les filtres à sable. En outre le traitement de l'eau par l'OI a permis de réduire la concentration moyenne en fer jusqu'à 0.005ppm.

II.9. La teneur en silice

Tableau N° 10 : Mesure de la teneur en silice avant injection de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$, à l'entrée et à la sortie de l'unité d'OI.

Paramètre Echantillon	La teneur en silice (ppm)	
	entrée	sortie
Ech°1	8.77	0.07
Ech°2	7.53	0.05
Ech°3	13.23	0.30
Ech°4	9.82	0.27
Ech°5	10.52	0.17
Ech°6	8.48	0.13
moyenne	9.72	0.16

La figure ci-dessous résume les résultats de la teneur en silice des différents échantillons analysés :

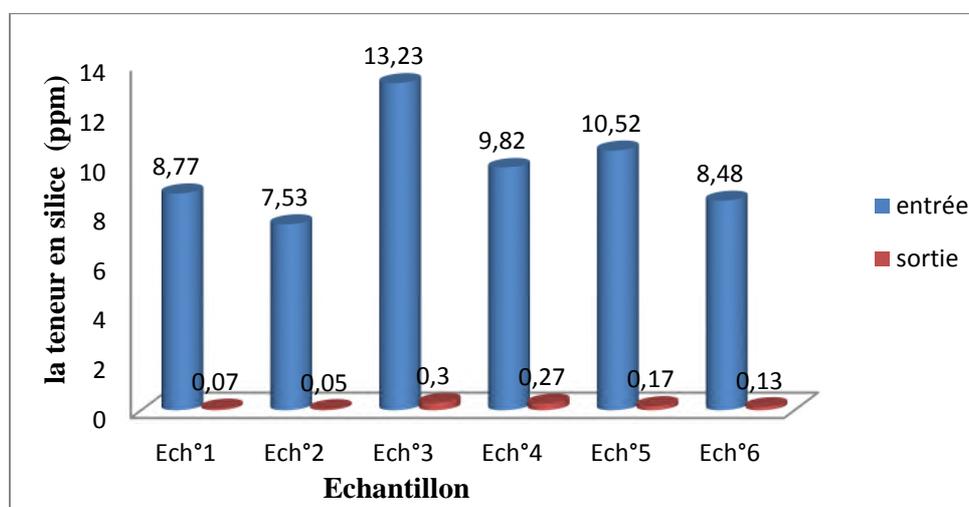


Figure N° 38 : variation de la teneur en silice à l'entrée et à la sortie de l'unité OI.

D’après les résultats obtenus on constate que la teneur en silice de l’eau de forage a une moyenne de 9.72 ppm. Cette valeur, inférieure à 12 ppm (valeurs de conformité) montre que l’eau de forage a une teneur faible en silice, après traitement par la technique d’OI on remarque que la teneur en silice est réduite à une moyenne de 0.16 ppm. Les résultats d’analyses obtenus sont dans les normes.

II.10. La teneur en manganèse

Tableau N° 11 : Mesure de la teneur en manganèse à l’entrée et à la sortie des filtres à sable.

Paramètre Echantillon	La teneur en manganèse (ppm)	
	entrée	sortie
Ech°1	0.20	00
Ech°2	0.14	00
Ech°3	0.12	00
Ech°4	0.10	00
Ech°5	0.01	00
Ech°6	0.00	00
moyenne	0.095	00

La figure ci-dessous résume les résultats de la teneur en manganèse des différents échantillons analysés :

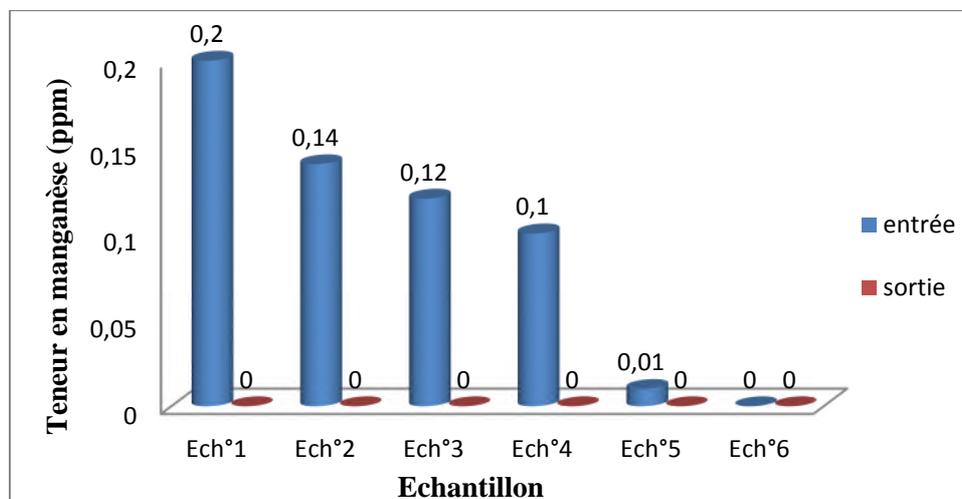


Figure N° 39 : variation de la teneur en manganèse à l’entrée et à la sortie des filtres à sable.

D'après la figure N° 39, on observe que la moyenne de la teneur en manganèse de l'eau de forage est de 0.095ppm. Cette valeur, inférieure à 1,2 ppm (valeurs de conformité) montre que l'eau de forage a une teneur faible en manganèse. Elle est nulle après le prétraitement de l'eau par les filtres à sable en pyrolusite. Les résultats des échantillons permettent de déduire que le prétraitement est efficace pour l'élimination totale de manganèse.

D'après le tableau N° 11, Les résultats obtenus sont conformes aux normes.

Conclusions

Conclusion

En se basant sur les résultats obtenus durant notre stage au niveau de l'entreprise agroalimentaire Cevital nous pouvons conclure que :

Les résultats de l'analyse physico-chimiques et spectrale effectuées montrent que la méthode de traitement par osmose inverse (OI) de l'eau de forage donne des résultats très satisfaisants et répond aux normes en vigueur. La méthode d'osmose inverse nous permet d'éliminer les bactéries, les microbes, les virus, le calcaire, le chlore, les nitrates, les métaux et tous polluants chimiques présents dans l'eau. Ce système permet une filtration de 90 à 99.9% des contaminants.

En effet, après analyse de l'eau osmosée, on trouve que la mesure du pH, de la conductivité, TA, TAC et TH sont conformes aux normes, ainsi que les teneurs en ions Cl^- , Fe^{2+} , Mn^{2+} et Al^{3+} . Ceci fait preuve de l'efficacité des membranes d'OI à éliminer les sels minéraux.

La seule anomalie rencontrée au cours de ce procédé est la présence de chlore en faible concentration, si bien qu'il corrode les matériaux. Il peut nuire facilement à la qualité de la membrane en élargissant les pores. Ce qui diminuera considérablement la capacité de rétention ce qui les rendra inutilisables.

Pour augmenter la durée de vie des membranes, il faut respecter les quantités de metabisulfite de sodium à injecter lors du prétraitement afin que le chlore soit complètement éliminé, ainsi que la durée de nettoyage des membranes, pour éviter les problèmes de colmatage et de corrosion des parois.

L'étude générale de ces résultats nous a permis de déduire la bonne qualité d'eau osmosée produite au cours du procédé.

Références bibliographiques

Références bibliographies

- [1] **E. REBONI**. Purification de l'eau dans l'industrie, UNIL, institut des sciences du sport, p 37.
- [2] **THIELBORGERP**. (2014). The right(s) to water. Ed. Springer – village. Berlin. P231.
- [3] **CLEMENT**. (1979). Larousse agricole, édition Larousse p48.
- [4] **N.KHARFALLH ET MOHDEBL**. (2007). Mémoire D.E.U.A. De fluor, de sodium, de potassium et les métaux lourds dans les eaux .Bejaia.
- [5] **B.HACHEMAOUI**. (2014). Qualité physico-chimique de l'eau de mer de souk Tlata. Mémoire master. Université de Tlemcen.
- [6] **ABDERRAZAK ATALLAH**. (2014). Procédé de dessalement et qualité physico-chimique de l'eau de mer de Hanaine. Mémoire master en biologie. Université de Tlemcen.
- [7] **THARREAU V**. (2009). Techniques du traitement de l'eau dans les bâtiments. 3^{ème} édition, Paris.
- [8] **ALPHAS M**. (2005). Qualité organoleptique de l'eau de consommation produite et distribué par l'EDMSA dans la Rille de Bamako. Doctorat en pharmacie, université de Bamako.
- [9] **SAVARY**. (2010). Guide des analyses de la qualité de l'eau. Ed. Territorial voiron. p261.
- [10] **COJAN ET RENARD M**. (2003). Sédimentologie. Edition Dunod, France p136.
- [11] **JEAN RODIER, BERNARD LEGUB, NICOLE MERLET, REGIS BRUNET**. (2009). Analyse de l'eau. 9^e édition Dunod, paris, p1600.
- [12] **KEMMLERF.N**. (1984). Manuel de l'eau, Techniques & Documentation Lavoisier. ISBN 2-85206-220-8.
- [13] Association Française de Normalisation (AFNOR). (1986). Eaux, méthodes d'essai, recueil de normes françaises. AFNOR. Paris,
- [14] **TARDART M**, (1994). La chimie de l'eau. Edition Griffon d'argile, québec. p130.

- [15] OMS (W.H.O.): WORLD HEALTH ORGANIZATION. (2003). Background document for preparation of WHO Guidelines for drinking-water quality. Genève. World Health Organization.
- [16] **FRANÇOIS ANCTIL**, (2000). L'eau et ses enjeux (archive), WCD Press releases.
- [22] **ALAIN MAUREL**, (1988). Techniques séparatives à membranes : considérations théoriques techniques de l'ingénieurs. J2 790, p 1-23.
- [23] **FERDINARD BISSON**, (1998). Bilan de trente années de recherche en écologie dans la steppe de Crau, Bouches-du-Rhône, sud-est de la France. p 510.
- [24] **Dr .M .Mahdi** (2014). Technologie membranaire,
- [25] **APTEL et BUCKLEY**, (1996). Les procédés membranaires pour le traitement de l'eau.
- [26] **YOLAINE BESSIERE**, (2005). Filtration frontale sur membrane. Génie des procédés, université Paul Sabatier, Toulouse, France.
- [27] **PATRICE BACCHIN**, (2005). Principe de base des technologies membranes, (Elsevier), 175, p 36.
- [28] **J.BERKAND ET C.JUERY**, (2002). Les procédés membranaires pour les traitements de l'eau, Edition Office international de l'eau, France.
- [29] **A. MAUREL**, (2006). Technique séparatives à membranes, ingénieur ENSIGC (école nationale supérieure d'ingénieur de génie chimique de Toulouse), France.
- [30] **S. GADOUM et F.HAMICHI**, (2002). Analyse des eaux de chaudière du complexe Cevital mémoire D.E.U.A. Bejaïa.
- [31] **M.BERTO, F.MASTRANGELO et D.ASCIONE**, (2010). T&D water technologies and développements S.N.C. Polverara, Italie.
- [32] **S.BOURDON et A.BAUDOT**, (2006). Filtration membranaire (OI, NF, UF) application diverses.
- [33] **F. MIOMANDRE**, (2005). Electrochimie : des concepts aux applications cours, travaux pratique et problèmes corrigés, p418.

- [34] **A. ZATOUCHE et BOUAKKAZ**, (2012). Etude et redimensionnement du tableau général basse tension de l'unité osmose Cevital. Mémoire l'ingénieure. Bejaia.
- [35] **S. YESSAD et A. DJEMAA**,(2009) .Protection cathodique d'une canalisation au sein du complexe Cevital. Mémoire d'ingénieur. Bejaia.
- [36] **K. GAID et Y. TREAL**, (2014). Le dessalement des eaux par osmose inverse : l'expérience de Veolia water, désaliénation p 203.
- [37] **A.BOUNCEUR et M. MAMMASSE**, (2002). Gestion optimal des silos à céréales de l'entreprise Mémoire d'ingénieur .Bejaia.
- [38] **ZUMDAHL, S.STEVEN**, (1997). Chemistry, designing clinical research Boston.p378.

WEBOGRAPHIE

- [17] consulter le :<http://www.aquavit-pluie.fr/>
- [18] consulter le : <http://www.lenntech.fr/eaux-surface/definitions.htm>
- [19] consulter le : <http://gransspeleo.free.fr/pages/lexique.htm>
- [20] consulter le : <http://www.produitsaquasante.com/la-chimie-de-leau>
- [21] consulter le : www.alloprof.qc.ca/BV/Pages/c1044.aspx
- [39] consulter le : www.pottersignal.com
- [40] consulter le : <http://www.harba.ch/detartrage/circuit-eau-chaude/>

Annexes

Annexe

Tableau I : caractéristiques physico-chimiques, de l'eau de forage après injection de NaClO.

paramètre échantillon	pH	Conduc ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	TH _t (°F)	TH Ca ⁺⁺ (°F)	TA (°F)	TAC (°F)	Cl ⁻ (°F)	SiO ₂ (ppm)	Cl ₂ (ppm)	Fe (ppm)	Mn (ppm)	Al (ppm)
Ech°1	7.28	2460.00	88.20	57.33	00	28.33	57.40	8.77	0.03	1.4	0.20	0.00
Ech°2	7.23	2383.33	87.20	56.07	00	27.67	56.93	7.53	0.05	0.48	0.14	0.00
Ech°3	7.31	2473.33	89.00	56.67	00	27.73	56.87	13.23	0.06	0.34	0.12	0.01
Ech°4	7.27	2516.67	86.07	58.47	00	28.47	58.00	9.82	0.04	0.5	0.10	0.04
Ech°5	7.38	2416.67	88.00	58.33	00	27.33	58.93	6.87	0.03	0.4	0.01	0.04
Ech°6	7.28	2586.67	87.80	59.07	00	27.93	58.30	7.44	0.01	0.3	0.00	0.04
Moyenne	7.29	2472.77	87.82	57.65	00	27.91	48.17	8.94	0.03	0.57	0.095	0.02
Norme unité	7-8	<2400 $\mu\text{s}/\text{cm}$	<85 °F	0 °F	0 °F	<40 °F	<50 °F	<12 ppm	1,5-3 Ppm	<3 ppm	<1,2 ppm	0 ppm

Tableau II: détermination de la concentration d'eau filtrée en chlore, fer et manganèse avant et après injection de Na₂S₂O₅.

Eau filtrée	Avant injection de Na ₂ S ₂ O ₅			Après injection de Na ₂ SO ₅			
Paramètre	Cl ₂	fer	Mn	Ligne 1	Ligne 2	Ligne 3	Ligne
Echantillon				Cl ₂	Cl ₂	Cl ₂	Cl ₂
Ech°1	0.05	0.06	00	0.02	0.02	0.01	0.04
Ech°2	0.07	0.00	00	0.04	0.01	0.01	0.03
Ech°3	0.04	0.03	00	0.05	0.01	0.05	0.02
Ech°4	0.11	0.00	00	00	0.02	0.02	0.01
Ech°5	0.09	0.00	00	0.02	0.03	0.01	0.01
Ech°6	0.12	0.00	00	0.01	0.04	0.01	0.01
Moyenne	0.08	0.015	00	0.02	0.02	0.02	0.02
Norme	<0,5ppm	<0,1ppm	00ppm	00ppm	00ppm	00ppm	00ppm

Annexe

Tableau III : Les résultats d'analyse physico-chimique d'eau osmoses.

Paramètre Echantillon	pH	conduc	TH total	TA	TAC	Cl ⁻	SiO ₂	Fer
Ech°1	5,76	20.32	00	00	0.40	1.27	0.04	0.01
Ech°2	5,77	24.30	00	00	0.43	1.43	0.43	0.00
Ech°3	5.74	25.57	00	00	0.50	1.50	0.09	0.02
Ech°4	5.87	25.80	00	00	0.50	1.40	0.08	0.00
Ech°5	5.84	29.37	00	00	0.50	1.50	0.08	0.00
Ech°6	5.82	28.63	00	00	0.47	1.47	0.04	0.00
moyenne	5.80	24.99	00	00	0.46	1.43	0.12	0.005
Norme	5,5-7.5	<100µs/cm	<1°F	<0°F	<1,5°F	<3°F	<4°F	<0,1ppm

Préparation des solutions pour le laboratoire des eaux :

NaOH à 1N : 40.8g de NaOH à 98% dans 1L d'eau distillée.

NaOH à 0.1 N : 4.08 g de NaOH à 98% dans 1L d'eau distillée.

HCl à 1N : 97.25g de HCl à 37.5% dans 1 L d'eau distillée.

Ou 81.72ml de HCl à 35.5% dans 1L d'eau distillée.

H₂SO₄ à 1N : 2707ml de H₂SO₄ à 96%.

KOH alcoolique à 1N : 66g de KOH à 85% dans 1L d'alcool.

Ou 65.24g de KOH à 86% dans 1L d'alcool.

EDTA à 0.02N : 3.7224g EDTA dans 1L d'eau distillée.

Na₂S₂O₃ anhydre à 1N : 158.11g dans 1L d'eau distillée.

Annexe

$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ à 1N : 248.2 g dans 1L d'eau distillée.

Nitrate d'argent 1N : 169g dans 1L d'eau distillée.

Nitrate d'argent à 0.04 N : 6.828 g dans 1 L d'eau distillée.

Méthyle orange : 1g dans 100ml d'eau distillée.

Amidon : 1g dans 100ml d'eau distillée.

Phénolphtaléine : 1g dans 100ml d'alcool.

Bleu de bromophénole : 0.2g dans 100ml d'acétone.

Noir ériochrome T : 0.4g dans 100ml d'alcool.

Chromate de potassium : 10g dans 100ml d'eau distillée.

Tampon ammoniacale : 54g NH_4Cl et 350ml NH_4OH dans 1L d'eau distillée.

Muréxide : 200g de NaCl , 0.25g de Muréxide et 0.75g de bleu de méthylène.

Résumé

Notre travail a porté sur l'étude de la technique de traitement des eaux primaire par osmose inverse de l'unité d'osmose du complexe agroalimentaire Cevital.

Nous avons pu constater à travers les différents paramètres physico-chimiques étudiés que les performances des membranes d'osmose inverse sont plus que satisfaisantes. Ceci est due au maintien permanent des membranes d'osmose d'une part, et au système de prétraitement appliqué d'une autre part.

Mots clés

Osmose inverse; Eau osmosée; Traitements; Membranes; Polyamide; Paramètres physico-chimiques.

Abstract

Our work is focused on the study of primary water technology by osmosis reverse of the osmosis unity in the industrial complex Cevital.

We have been seen through different studied physicochemical parameter that the performances of reverse osmosis limb are more than satisfying. Firstly this is due to the permanent maintenance of osmosis membrane; secondly it is due to the pretreatment applied system.

Key words

Reverse osmosis; Osmosed water; Treatments; membrane; Polyamide; Physicochemical parameters.