

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université A. MIRA – Béjaia

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département : Sciences Alimentaires
Spécialité : Qualité des produits et sécurité alimentaire

Mémoire de Fin de Cycle

En vue de l'obtention du Diplôme de Master
Spécialité : Qualité des produits et Sécurité Alimentaire

Thème

*Analyse physico-chimique de l'eau de process au niveau de
l'unité d'osmose inverse*

The logo for Cevital, featuring the word "ceVital" in a stylized font. The "ce" is in blue, "V" is in yellow, and "ital" is in blue.

Présenté par :

M^{elle} DJEMADI Cylia et M^{elle} OUZANE Yousra

Soutenu le : 13-08-2020

Devant le jury composé de :

| | | |
|---------------------|--------------|---|
| Mr. Chikhoun A. | Président | Université de Béjaia |
| Mme. Lehouche R. | Promoteur | Université de Béjaia |
| Melle. Mekhoukhe A. | Examineur | Université de Béjaia |
| Mme. Mancer K. | Co-promoteur | Responsable de laboratoire Cevital de Béjaia |

Année universitaire : 2019/2020

Remerciement

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

Nous remercions vont à madame LEHOUCHE R de nous avoir encadrés et orientés, ainsi que pour leur aide et leur précieux conseils tout au long de ce travail.

Nos sincères remerciements à Mr. MAAZOUZ YUCEF. Chef service de l'unité d'osmose inverse et madame MANCER K de nous avoir accueillie et intégré au sein de Cevital et pour toutes les conditions techniques mises à nos dispositions afin de réaliser ce travail.

Nos vifs remerciements s'adressent à l'ensemble du personnel de l'entreprise Cevital surtout les opérateurs de l'unité d'osmose inverse et toute l'équipe de laboratoire des eaux à l'aide et l'intérêt qu'ils ont apporté à notre travail.

Nous exprimons aussi notre remerciement à tous les membres de jury Mr Chikhouné et m^{elle} Mekhoukhe et tous les responsables, enseignants et membres du département science alimentaire.

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

Djemadi C et OuzaneY.

Dédicaces

*Je dédie ce modeste travail à mes chers parents
Aucune dédicace ne peut exprimer mon respect et
L'amour éternel pour les sacrifices que vous avez
consentis pour mon instruction et mon bien être.*

*A ma cher tante Aziza et son marie Farouk, ma grand-
mère nana Saliha et mon grand-père Ahmed.*

A mes sœur et frères

Lydia, Wissam, Feriel, Sofian, Imad et Islam

*A mon cher marie Djelloul qui m'a encouragé durant tout
mon parcours*

A mes chers copines Lydia, Chanez, Dida Cylia et Souad

A mon très cher binôme Yousra

Merci à tous.

D. Cylia

DEDICACES

*En signe de respect et de reconnaissance, je dédie ce
modeste travail à :*

Mes très chers parents que dieu me les garde.

*Mes chers frères Azouaou kousseila et ma petite
sœur Rihem.*

Ma grande mère et toute ma famille.

Mes cousins Laid Sara Farouk Maroua.

Tous mes proches Ikram Hanane Wardiya.

*Tous mes amis (es) que j'ai connu durant mon
cycle d'étude.*

*Mon binôme Cilya que je remercie pour ses aides et
sa compréhension.*

*Tous ceux qui ont contribué de près et de loin à
l'aboutissement de ce travail.*

Merci à tous, je vous aime.

C. Yousra

Table des matières

| | |
|--|-----------|
| Remerciements | |
| Dédicaces | |
| Listes des figures | |
| Listes des tableaux | |
| Listes des abréviations | |
| Introduction..... | 01 |
| Chapitre I : Synthèse bibliographique Généralités sur les eaux..... | 03 |
| 1-1-Définition de l'eau..... | 03 |
| 1-2-Cycle de l'eau..... | 03 |
| 1-2-1- Evaporation..... | 04 |
| 1-2-2- Condensation..... | 04 |
| 1-2-3- Précipitation..... | 04 |
| 1-2-4- Ruissellement..... | 04 |
| 1-2-5- Infiltration..... | 05 |
| 1-2-6- Stagnation de l'eau dans les réservoirs naturels..... | 05 |
| 1-3- Les différents types de l'eau..... | 05 |
| 1-3-1- Eaux naturelles..... | 05 |
| 1-3-2- Eaux de consommation..... | 06 |
| 1-3-3- Eaux industrielles..... | 07 |
| 1-4- Les paramètres de qualité des eaux..... | 07 |
| 1-4-1- Paramètres organoleptiques..... | 07 |
| 1-4-2- Paramètres physico-chimiques..... | 07 |

| | |
|--|-----------|
| 1-4-3- Paramètres chimiques..... | 10 |
| 1-4-4- Paramètres microbiologiques..... | 10 |
| 1-5- Conséquences de l'évolution des caractéristiques physico-chimiques de l'eau..... | 11 |
| 1-5-1- Entartrage..... | 11 |
| 1-5-2- Primage..... | 11 |
| 1-5-3- Corrosion..... | 12 |
| Chapitre II : Les procédés membranaires ou la filtration membranaire..... | 13 |
| 2-1- La membrane..... | 13 |
| 2-2- Les techniques de filtration membranaire. | 13 |
| 2-2-1- Microfiltration MF..... | 13 |
| 2-2-2- Ultrafiltration UF..... | 14 |
| 2-2-3- Nanofiltration NF..... | 14 |
| 2-2-4- Osmose inverse OI..... | 14 |
| 2-3- Mode de fonctionnement des systèmes membranaires..... | 15 |
| 2-3-1- Filtration frontale..... | 15 |
| 2-3-2- Filtration tangentielle..... | 16 |
| 2-4- La nature chimique des membranes..... | 16 |
| 2-4-1- Membranes organiques..... | 16 |
| 2-4-2- Membranes inorganiques ou minérales..... | 16 |
| 2-5- Géométrie des membranes et des modules..... | 17 |
| 2-5-1- Modules tubulaires..... | 17 |
| 2-5-2- Module fibres creuses..... | 17 |
| 2-5-3- Modules spirales..... | 18 |
| 2-5-4- Modules plans..... | 19 |
| 2-6- Technique d'osmose inverse..... | 20 |
| 2-6-1- Système d'alimentation en eau brute..... | 20 |
| 2-6-2- Système de prétraitement..... | 20 |
| 2-7- Les caractéristiques des membranes..... | 23 |

| | |
|--|-----------|
| 2- 8- Phénomènes de colmatage | 23 |
| 2-8-1- Dépôt de particules en surface | 24 |
| 2-8-2- Blocage des pores..... | 24 |
| 2-8-3- Adsorption..... | 24 |
| Chapitre III : Matériels et méthodes..... | 25 |
| 3-1- Présentation de l'organisme d'accueil..... | 25 |
| 3-1-1- Historique..... | 25 |
| 3-1-2- Activités et missions de Cevital..... | 25 |
| 3-1-3- Situation géographique..... | 26 |
| 3-1-4- Organigramme de Cevital..... | 26 |
| 3-2-Méthodologie de travail..... | 27 |
| 3-2-1- Mesure des paramètres physico-chimiques..... | 28 |
| 3-2-1-1-Méthodes électrochimiques..... | 28 |
| 3-2-1-2-Méthodes titrimétriques..... | 29 |
| 3-2-1-3- Méthodes spectrophotométriques | 33 |
| Chapitre IV : Résultats et discussions..... | 36 |
| 4-1- Analyses physico-chimiques..... | 36 |
| 4-1- 1 - Potentiels d'hydrogène (pH)..... | 37 |
| 4-1- 2 - Conductivité..... | 38 |
| 4-1- 3- Titre hydrométrique (TH)..... | 39 |
| 4-1- 4- Titre alcalimétrique (TA)..... | 40 |
| 4-1- 5- Titre alcalimétrique complet (TAC)..... | 40 |
| 4-1-6- Teneur en chlorure..... | 41 |
| 4-1- 7- Teneur en chlore..... | 41 |
| 4-1- 8- Teneur en manganèse..... | 42 |
| 4-1- 9- Teneur en aluminium..... | 42 |
| 4-1-10- Teneur en silice..... | 43 |
| 4-1- 11- Teneur en fer..... | 43 |
| Conclusion..... | 45 |

| | |
|-----------------------------|--|
| Perspectives | |
| Références bibliographiques | |
| Résumé | |

Liste des figures

| | |
|---|----|
| Figure 1 : Présentation de la molécule d'eau..... | 03 |
| Figure 2 : Cycle de l'eau..... | 04 |
| Figure 3 : Membrane sélective..... | 13 |
| Figure 4 : Principe d'osmose et d'osmose inverse..... | 15 |
| Figure 5 : Mode de filtration membranaire..... | 16 |
| Figure 6 : Module tubulaire..... | 17 |
| Figure 7 : Modules fibre creuse..... | 18 |
| Figure 8 : Structure interne d'une membrane spirale..... | 19 |
| Figure 9 : Modules plans..... | 19 |
| Figure 10 : Éléments constitutifs d'une unité d'osmose inverse..... | 20 |
| Figure 11 : Différents types de colmatage..... | 23 |
| Figure 12 : Situation géographique de l'organisme Cevital..... | 26 |
| Figure 13 : Organigramme de Cevital..... | 27 |
| Figure 14 : Variation de pH des eaux à l'entrée et à la sortie de l'unité d'osmose inverse.... | 37 |
| Figure 15 : Variation de la conductivité des eaux analysées à l'entrée et à la sortie de l'unité d'osmose inverse..... | 38 |
| Figure 16 : Variation des valeurs de TH total des eaux analysées à l'entrée et à la sortie de l'unité d'osmose inverse..... | 39 |
| Figure 17 : Evolution des valeurs de TAC des eaux analysées à l'entrée et à la sortie de l'unité d'osmose inverse..... | 40 |
| Figure 18 : Variation des teneurs de chlorure des eaux analysées à l'entrée et à la sortie de l'unité d'osmose inverse..... | 41 |
| Figure 19 : Variation des teneurs de chlore des eaux analysées à l'entrée et à la sortie de l'unité d'osmose inverse..... | 42 |
| Figure 20 : Variation des teneurs de l'aluminium des eaux analysées à l'entrée et à la sortie | |

de l'unité d'osmose inverse.....42

Figure 21 : Variation de la teneur en silice des eaux analysée à l'entrée et à la sortie de l'unité d'osmose inverse.....43

Figure 22 : Variation de la teneur en fer des eaux analysées à l'entrée et à la sortie de l'unité d'osmose inverse.....44

Liste des tableaux

Tableau I : Résultats d'analyse physico-chimique de l'eau de forage (eau d'entrée).....36

Tableau I : Résultats d'analyse physico-chimique de l'eau osmosée (eau de sortie).....37

Liste d'abréviation

CIP : Lavage sur place (cleaning in place)

EDTA : Acide Ethylène Diamine Tétra Acétique

°F : Degré Français

MES : Matière En Suspension

N.E.T: Noir Eriochrome Toluène

OI : Osmose Inverse

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

ONEMA : Office national de l'eau et des milieux aquatiques

UF : Ultrafiltration

MF : Microfiltration

NF : Nanofiltration

K : Kelvin

TA : Titre Alcalimétrique

TAC : Titre Alcalimétrique Complet

TH : Titre Hydrotimétrique (TCa + TMg)

TC : Taux de conversion

Q_p : Débit de perméat

Q₀ : Débit de la solution

R : Taux de rejet

C_p : Concentration d'une espèce dans le perméat

C₀ : Concentration d'une espèce dans la solution)

μs : micro siemens

aq : aqueux

Introduction

L'hydrosphère est le fondement de la vie et des équilibres écologiques. Elle constitue les zones du globe terrestre occupées par l'eau sous ses trois formes (solide, liquide ou gaz). Elle est d'une importance biologique et économique capitale. L'eau est à la fois un aliment, éventuellement un médicament, une matière première industrielle, énergétique et agricole, et un moyen de transport. Ses usages sont donc multiples mais, s'agissant de santé humaine, ils sont dominés par l'agriculture et l'aquaculture, l'industrie et l'artisanat, les loisirs aquatiques dont la baignade et, surtout, la fourniture collective ou individuelle d'eau potable, utilisable à des fins alimentaires (eau de boisson, cuisine) mais aussi domestiques et d'hygiène (Michel *et al.*, 2003).

Les eaux, en s'infiltrant ou en ruisselant, entraînent certains éléments provenant des roches, ce sont les minéraux qui confèrent leurs caractéristiques à l'eau (goût, odeur, couleur ...). Les plus courants sont le calcium, le magnésium, le sodium, le potassium, le fer, les sulfates, ... (Maine et Loire, 2015).

Ces eaux subissent un certain nombre de traitements avant leur livraison au robinet du consommateur (dessalement de l'eau) ou aux industries (réutilisation de l'eau) qui consomment de l'eau de pureté contrôlée dans leur chaîne de production (industries agroalimentaires, industrie pharmaceutique, etc.) ainsi pour d'autres usages notamment le nettoyage des installations (Takabait, 2012).

Pour cela, il existe différentes techniques et méthodes de traitement des eaux qui attirent de plus en plus l'attention des industriels en parlant des techniques membranaires à savoir : l'osmose inverse, la nanofiltration, l'ultrafiltration et la microfiltration.

L'osmose inverse est un de ces procédés qui permet la production d'une eau pure débarrassée d'impuretés (de tout espèces chimiques et bactériologiques) au niveau de Cevital.

Dans le cadre de la préparation de notre mémoire de fin d'études, nous avons effectué un stage au complexe agro-alimentaire Cevital. Le travail est réalisé au laboratoire de l'unité d'osmose inverse de l'entreprise et il consiste à l'analyse physico-chimique de l'eau à l'entrée et à la sortie de l'osmose inverse.

Notre étude est partagée en deux parties :

- Une partie bibliographique qui comporte deux chapitres dont le premier aborde les différents types d'eaux et leurs propriétés physico chimiques et le deuxième chapitre est consacré à la présentation des procédés membranaires et les étapes de purification utilisées dans l'osmose inverse.
- Une partie expérimentale qui traite le matériel et les méthodes d'analyses effectuées durant ce travail ainsi qu'une présentation de l'organisme d'accueil, suivie de la discussion des résultats obtenus.

Chapitre I : Généralités sur les eaux

Sur notre planète, l'eau est partout sous des formes diverses. La terre se compose de 70% d'eau, ce qui lui vaut le joli nom de « Planète bleue ». Ses eaux sont réparties à plus de 97 % d'eau salée et moins de 3 % d'eau douce plus ou moins accessible (Marillys, 2010).

1-1- Définition de l'eau

Corps liquide à la température et à la pression ordinaires, incolore, insipide, dont les molécules sont composées d'un atome d'oxygène et de deux atomes d'hydrogène (figure 1). Ce corps liquide, contenant en solution ou en suspension toutes sortes d'autres corps (sels, gaz, micro-organismes, etc.) très répandu à la surface terrestre (eau de pluie, eau de mer, eau de robinet, etc.) (Anonyme, 2019).

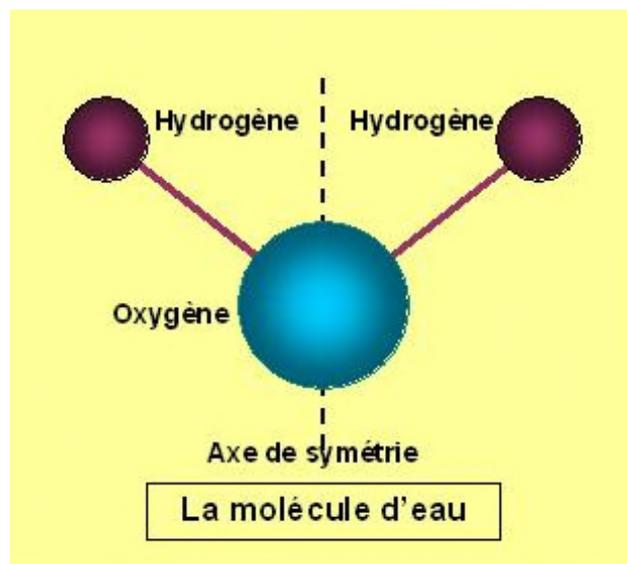


Figure N°1: Présentation de la molécule d'eau (Beaudry et Tardat,1984)

1-2- Cycle de l'eau

L'eau circule sur terre sous différentes formes : nuages, pluie, rivières et océans. Elle va passer de la mer à l'atmosphère, de l'atmosphère à la terre puis de la terre à la mer, en suivant un cycle qui se répète indéfiniment. Au sein d'un même bassin, tous les milieux aquatiques (lacs, rivières, mer, nappes souterraines...) sont interdépendants durant ce cycle (Marillys, 2010).

La figure après présente les étapes de cycle de l'eau.

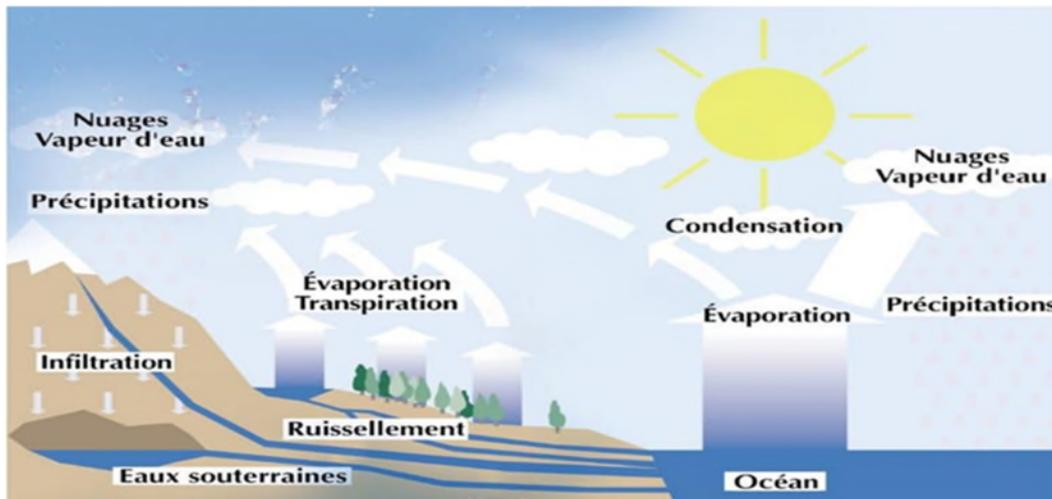


Figure N°2: Cycle de l'eau (Marillys, 2010).

Le cycle de l'eau se décompose en plusieurs étapes :

1-2-1- Evaporation

Sous l'action du soleil, une partie de l'eau de mer s'évapore pour former des nuages. Avec les vents, ces nuages arrivent au dessus des continents où ils s'ajoutent à ceux déjà formés (ONEMA, 2012).

1-2-2- Précipitation

Lorsqu'il pleut, qu'il neige ou qu'il grêle sur ces mêmes continents, une partie de l'eau de ces précipitations repart plus ou moins rapidement dans l'atmosphère, soit en s'évaporant directement, soit du fait de la transpiration des végétaux et des animaux (ONEMA, 2012).

1-2-3- Ruissellement

Une deuxième partie, en ruisselant sur le sol, rejoint assez vite les rivières et les fleuves puis la mer (ONEMA, 2012).

1-2-4- Infiltration

Quant au reste, il s'infiltre dans le sol et il est stocké en partie dans des nappes. Cette eau finira aussi par retourner à la mer, par le biais des cours d'eau que ces nappes alimentent. C'est ce mouvement perpétuel de l'eau sous tous ses états qu'on appelle le grand cycle de l'eau. Les activités humaines peuvent parfois perturber ce cycle et provoquer ou amplifier des phénomènes de pénuries ou d'inondation (ONEMA, 2012).

1-3- Les différents types de l'eau

La classification des eaux diffère d'une référence à une autre, quelques unes les classifient suivant l'origine ; quelques auteurs parlent même des eaux de pluies, certains autres s'intéressent à l'utilisation des eaux (Salghi, 2017).

1-3-1- Eaux naturelles

1-3-1-1- Eaux souterraines

De point de vue hydrogéologique les couches aquifères se divisent en :

- **Nappes phréatiques ou alluviales** : Peu profondes et alimentées directement par les précipitations pluvieuses ou les écoulements d'eau en dessus ;
- **Nappes captives** : Plus profondes que les premières et séparées de la surface par une couche imperméable, l'alimentation de ces nappes est assurée par l'infiltration sur leurs bordures.

La nature du terrain sous lequel se trouvent ces eaux est un déterminant de leurs compositions chimiques, cependant elles sont appelées aussi les eaux propres car elles répondent, en général, aux normes de potabilité. Ces eaux sont moins sensibles aux pollutions accidentelle et elles perdent totalement leur pureté originale dans le cas de contamination par des polluants.

Quand une eau souterraine contient une concentration en certains minéraux dépassant les normes de potabilité, mais elle représente des propriétés thérapeutiques on la distribue en bouteilles avec parfois un traitement bien défini, ces eaux sont dites eaux minérales (Salghi, 2017) .

1-3-1-2- Eaux de surface

Ce type des eaux englobe toutes les eaux circulantes ou stockées à la surface des continents (rivières, lacs, étangs, barrages,...). La composition chimique des eaux de surface dépend de la nature des terrains traversés par ces eaux durant leurs parcours dans l'ensemble des bassins versants. Ces eaux sont le siège, dans la plupart des cas, d'un développement d'une vie microbienne à cause des déchets rejetés dedans et de l'importante surface de contact avec le milieu extérieur. C'est à cause de ça que ces eaux sont rarement potables sans aucun traitement (Salghi, 2017).

1-3-1-3- Eaux des mers et océans

Les mers et les océans constituent d'énormes réservoirs d'eau, elles représentent près de 97,4% du volume d'eau existant actuellement sur notre planète, le reste est la part des eaux continentales (eaux souterraines et superficielles). Les eaux de mers sont caractérisées par une grande salinité, elles sont dénommées aussi « eaux saumâtres », ce qui rend leur utilisation difficile, notamment le coût très élevé pour leur traitement (Salghi, 2017).

1-3-2- Eaux de consommation

Ce sont les eaux destinées à la consommation domestique, elles ont connues une énorme croissance suite au développement démographique et à l'amélioration des conditions de vie des populations. La consommation domestique en eau varie de quelques litres par jour dans les pays sans adduction publique et à faible confort ménager jusqu'à plusieurs centaines de litres dans les pays très développés. Même si ce n'est qu'une petite quantité qui va être bu, jamais ces eaux ne sont distribuées qu'après traitement, trois facteurs déterminent le choix d'un traitement:

- La quantité : La source doit couvrir la demande, en toute circonstance.
- La qualité : La qualité de l'eau brute dont on dispose doit être compatible avec la législation en vigueur.
- L'économie : Le coût d'investissement et de fonctionnement du procédé de traitement relatif à chacune des ressources disponibles est déterminant lors de la prise d'une décision (Salghi, 2017).

1-3-3- Eaux industrielles

La qualité et la quantité des eaux utilisées dans l'industrie sont très variables, elles dépendent du type de l'entreprise productrice et de sa taille. Une eau qui va entrer dans un cycle de refroidissement d'une chaudière est moins exigeante que l'eau utilisée dans l'industrie électronique (Salghi, 2017).

1-4- Les paramètres de qualité des eaux

1-4-1- Paramètres organoleptiques

1-4-1-1- La couleur

La coloration d'une eau est due aux substances dissoutes et/ou aux substances en suspension, ces substances sont le plus souvent d'origine naturelle « végétal, minéral et organique ». Elle varie pour les eaux naturelles de jaune pâle au brun rougeâtre selon la nature et la concentration de la matière colorante (Tardart, 1994).

1-1-2- L'odeur

L'odeur est l'ensemble des sensations perçues par l'organe olfactif en flairant certaines substances volatiles. En effet, leur présence dans l'eau est un signe de pollution ou de la présence de matières organiques en décomposition comme les alcools, le dioxyde de soufre, le chlore (Tardart, 1994).

1-4-1-3- Le goût et la saveur

C'est l'ensemble des sensations gustatives, olfactives et de sensibilité chimique commune perçues lorsque l'aliment ou la boisson est dans la bouche ; on distingue des saveurs : acide, amère, sucrée, salée. Quant au goût, on rencontre des goûts : métallique, chloré, de terre, etc (Tardart, 1994).

1-4-2- Paramètres physico-chimiques

1-4-2-1- Température

Il est primordial de connaître la température d'une eau. En effet, elle joue un rôle très important dans la solubilité des sels et surtout des gaz et la détermination du pH. La mesure de la température est très utile pour les études immuno-écologiques et le calcul des échanges. Elle agit aussi comme un facteur physiologique agissant sur le métabolisme de croissance des micro-organismes vivant dans l'eau (Salghi, 2017).

1-4-2-2- pH

Le pH mesure la concentration des ions H^+ dans l'eau. Ce paramètre caractérise un grand nombre d'équilibre physico-chimique. La valeur du pH altère la croissance et la reproduction des micro-organismes existants dans une eau, la plupart des bactéries peuvent croître dans une gamme de pH comprise entre 5 et 9, l'optimum est situé entre 6,5 et 8,5, des valeurs de pH inférieures à 5 ou supérieures à 8,5 affectent la croissance et la survie des micro-organismes aquatiques selon l'organisation mondiale de la santé (OMS) (Salghi, 2017).

1-4-2-3- Conductivité

La mesure de la conductivité de l'eau nous permet d'apprécier la quantité des sels dissous dans l'eau (chlorures, sulfates, calcium, sodium, magnésium...). Elle est plus importante lorsque la température de l'eau augmente. La conductivité électrique d'une eau usée dépend essentiellement de la qualité de l'eau potable utilisée et du régime alimentaire de la population et des activités industrielles (Salghi, 2017).

1-4-2-4- La teneur en matières en suspension (MES)

Les matières en suspension comprennent toutes les matières minérales ou organiques qui ne se solubilisent pas dans l'eau. Elles incluent les argiles, les sables, les matières organiques et minérales de faible dimension et les microorganismes. La quantité de matières en suspension varie notamment selon les saisons et le régime d'écoulement des eaux. Ces matières affectent la transparence de l'eau et diminuent la pénétration de la lumière (Desjardins, 1988).

1-4-2-5- La teneur en chlore

La chloration par le chlore est le procédé de désinfection le plus répandu pour le traitement de l'eau car il sert à la destruction des microorganismes et réagit avec des molécules organiques afin de les dégrader (Desjardins, 1988).

Le chlore (Cl_2) et les produits chlorés (hypochlorite de sodium ou eau de javel, hypochlorite de calcium) se dissocient immédiatement dans l'eau, en :

- acide hypochloreux HOCl ;
- ion hypochlorite Cl^- .

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

La proportion des deux composés (HClO et ClO^-) dépend essentiellement de la valeur du pH de l'eau, pour des pH inférieur à 4, la forme gazeuse est la seule présente, alors qu'à pH compris entre 4 et 6, le chlore est presque entièrement sous forme d'acide hypochloreux. Pour des pH compris entre 6 et 9, le pourcentage d'acide hypochloreux diminue rapidement au profit de l'ion hypochlorite, qui demeure la seule entité présente au-delà de pH 10,5 (Desjardins, 1988).

1-4-2-6- La teneur en silice (SiO₂)

La silice peut exister dans les eaux sous deux états différents : soluble et colloïdal. La silice soluble dans les eaux naturelles est majoritairement sous forme d'hydroxyde de silice (SiOH₄), 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 (Tardart, 1994).

1-4-2-7- La teneur en 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 (OMS, 2003).

1-4-2-8- La teneur en chlorure

Les chlorures sont toujours présents dans l'eau, mais en proportion variable. Leur concentration est de l'ordre de quelques mg.l⁻¹ dans les eaux naturelles de surface alors qu'elle est de l'ordre de 20 g.l⁻¹(Cl⁻) dans les eaux marines. Ainsi, les eaux provenant des régions sédimentaires sont très riches en chlorures par rapport aux régions granitiques. Par ailleurs, le taux de chlorure augmente avec le degré de minéralisation d'une eau (Tardart, 1994).

1-4-2-9- La teneur en aluminium

L'aluminium est l'un des métaux les plus utilisés, et aussi l'un des composés les plus abondants dans l'écorce terrestre. La forme soluble dans l'eau de l'aluminium, c'est-à-dire les ions, est la plus nocive. En général, on trouve ces ions aluminium en combinaison avec d'autres ions, par exemple sous forme de chlorure d'aluminium. L'aluminium est quasiment insoluble dans l'eau à des pH supérieurs à 6. En revanche, sa solubilité croît rapidement en milieu acide (Rodier *et al.*, 2009).

1-4-2-10- La teneur en manganèse

Le manganèse est présent dans la plus part des sols et sédiments, il existe aussi dans les roches métamorphiques. Le minerai le plus abondant est la pyrolusite MnO₂, utilisé dans les processus industriels des filtres à sables. Dans une eau sans oxygène, il est rapidement dessous

sous forme de sels manganeux (Mn^{2+}) et peut se trouver dans les eaux de puits profonds à une concentration aussi élevée que 2 à 3 mg/l (Kemmer, 1984).

1-4-3- Paramètres chimiques

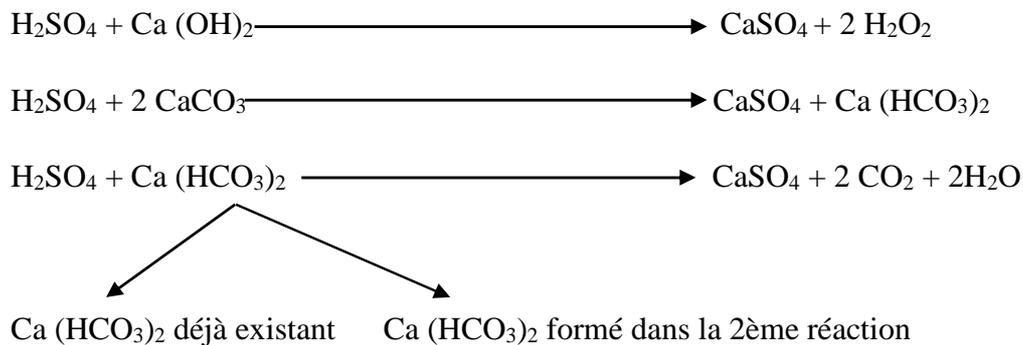
1-4-3-1- Titre hydrotimétrique (TH)

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 calcique (ou TH calcique), qui ne mesure que la teneur en ions calcium, est parfois distingué du titre hydrotimétrique magnésien (ou TH magnésien), qui ne mesure que la teneur en ions magnésium. Le TH se mesure par méthode volumétrique (Tharreau, 2009).

1-4-3-2- Titre alcalimétrique complet (TAC)

Le titre alcalimétrique complet (TAC) rend compte de la concentration d'une eau en ions carbonate CO_3^{-2} et en ions hydrogénocarbonate HCO_3^{-2} . On peut alors écrire :

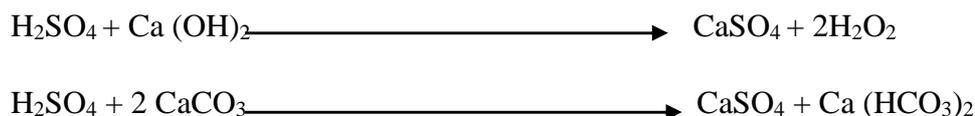
$$TAC = [OH^-] + [CO_3^{-2}] + [HCO_3^-] \text{ (Dore, 1989).}$$



1-4-3-3- Titre alcalimétrique simple (TA) :

Ce titre mesure la totalité des bases libres, une des deux valences des ions carbonate et une des trois valences des ions orthophosphate. On peut ainsi écrire :

$$TA = [OH^-] + [CO_3^{-2}]/2 + [PO_4^{-3}]/3 \text{ (Tharreau, 2009).}$$



1-4-4- Paramètres microbiologiques

Un grand nombre de micro-organismes peuvent proliférer dans l'eau, dans les aliments et dans le milieu naturel grâce aux conditions favorables que leur crée l'homme, l'eau sert

d'habitat naturel ou un simple moyen de transport. Les principaux organismes pathogènes qui se multiplient ou qui sont transportés dans l'eau sont : les bactéries (les coliformes totaux et fécaux, les Streptocoques fécaux, les Clostridium sulfito-réducteurs et les Staphylocoques pathogènes), les virus (les Rotavirus, les calcivirus Norwalk et hépatite E), les parasites protozoaires, les champignons (Acremonium, Alternaria, Aspergillus et les Penicilium) et les algues (les Chlorophycées, les Diatomophycées et les Cyanophycées). La grande majorité de ces microorganismes nocifs, susceptibles d'engendrer des infections humaines redoutables, diffusent dans l'environnement hydrique par l'intermédiaire de souillures fécales humaines ou animales (Thebault, 1978).

1-5- Conséquences de l'évolution des caractéristiques physico-chimiques de l'eau

Les principales conséquences de cette évolution sont : l'entartrage, le primage et la corrosion.

1-5-1- 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, le sulfate et 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 (Gadoum et Hamichi, 2002).

1-5-2- 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 varie aussi en fonction des caractéristiques de la chaudière et des conditions d'exploitation.

Les facteurs favorisant le primage sont :

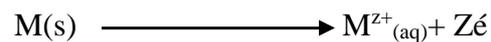
- Une hauteur d'eau ;
- Une pression de marche élevée ;
- La composition de l'eau de chaudières.

Le primage augmente du fait des éléments suivants ;

- Sels dissous ;
- Soude libre ;
- Particules solides en suspension (Gadoum et Hamichi, 2002).

1-5-3- La corrosion

La corrosion est une réaction d'oxydoréduction qui se produit entre 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 solution aqueuse (Miomandre, 2005).

Chapitre II : Les procédés membranaires ou la filtration membranaire

2-1- La membrane

Une membrane (figure 3) est une barrière qui contrôle le transport des espèces chimiques entre deux phases fluides qu'elles séparent. La séparation des polluants est essentiellement fondée sur leur affinité pour la membrane, sur la taille et/ou sur la charge électrique des molécules et ions (Crini et Batod, 2007).

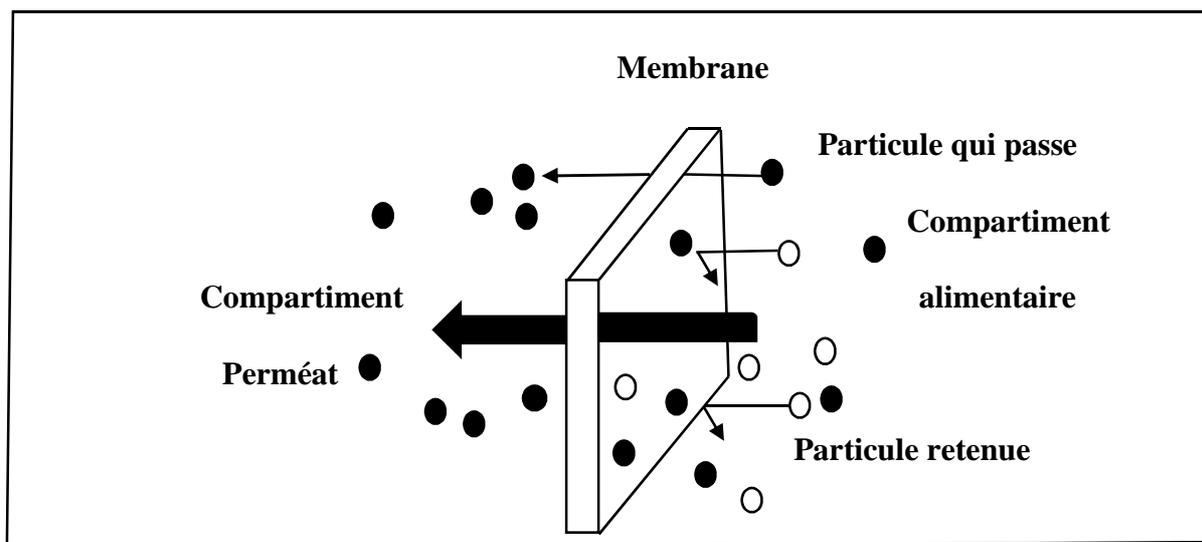


Figure N°3 : Membrane sélective (Wegner *et al.*, 2010).

2-2- Les techniques de filtration membranaire

Ces procédés sont des opérations unitaires de séparation en phase liquide au moyen de membrane semi-perméable. Suivant la porosité des membranes utilisées, on distingue les techniques de séparation suivante : microfiltration (MF), ultrafiltration (UF), nanofiltration (NF) et osmose inverse (OI) (Wegner *et al.*, 2010).

2-2-1- Microfiltration (MF)

Ce procédé de séparation solide-liquide met en œuvre des membranes dont les diamètres de pores sont compris entre 0,1 et 10 μ m. Il permet donc la rétention des particules en suspension, des bactéries et indirectement des colloïdes et de certains ions après fixation de ces derniers sur des plus grosses particules obtenues par complexation, précipitation ou floculation (Berland et Juery, 2002).

2-2-2- Ultrafiltration (UF)

C'est une technique de séparation physique basée sur le transfert partiel d'un mélange en phase liquide à travers une membrane semi perméable. L'ultrafiltration utilise des membranes microporeuses dont les diamètres de pores sont compris entre 1 et 100 nm. De telles membranes laissent passer les petites molécules (eau, sels) et arrêtent les molécules de masse molaire élevée (polymères, protéines, colloïdes) (Berland et Juery, 2002 ; Crini et Batod, 2007).

2-2-3- Nanofiltration (NF)

Cette technique se situe entre l'osmose inverse et l'ultrafiltration. Elle permet la séparation de composants ayant une taille en solution voisine de celle du nanomètre (soit 10 Å) d'où son nom. Les sels ionisés monovalents et les composés organiques non ionisés de masse molaire inférieure, à environ 200 - 250 g/mol, ne sont pas retenus par ce type de membrane (Berland et Juery, 2002).

2-2-4- Osmose inverse (OI)

On appelle l'osmose le transfert de solvant (eau) à travers une membrane semi-perméable sous l'action d'un gradient de concentration.

Soit un système de deux compartiments séparés par une membrane semi-perméable et contenant deux solutions de concentrations différentes (figure 4). Le phénomène d'osmose va se traduire par un écoulement d'eau dirigé de la solution diluée vers la solution concentrée. Si on essaie d'empêcher ce flux d'eau en appliquant une pression sur la solution concentrée, la quantité d'eau transférée par osmose va diminuer. Il arrivera un moment où la pression appliquée sera telle que le flux d'eau s'annulera, cette pression d'équilibre est appelée la pression osmotique. Une augmentation de la pression au-delà de la pression osmotique va se traduire par un flux d'eau dirigé en sens inverse du flux osmotique, c'est-à-dire de la solution concentrée vers la solution diluée : c'est le phénomène d'osmose inverse (Tristan, 2014).

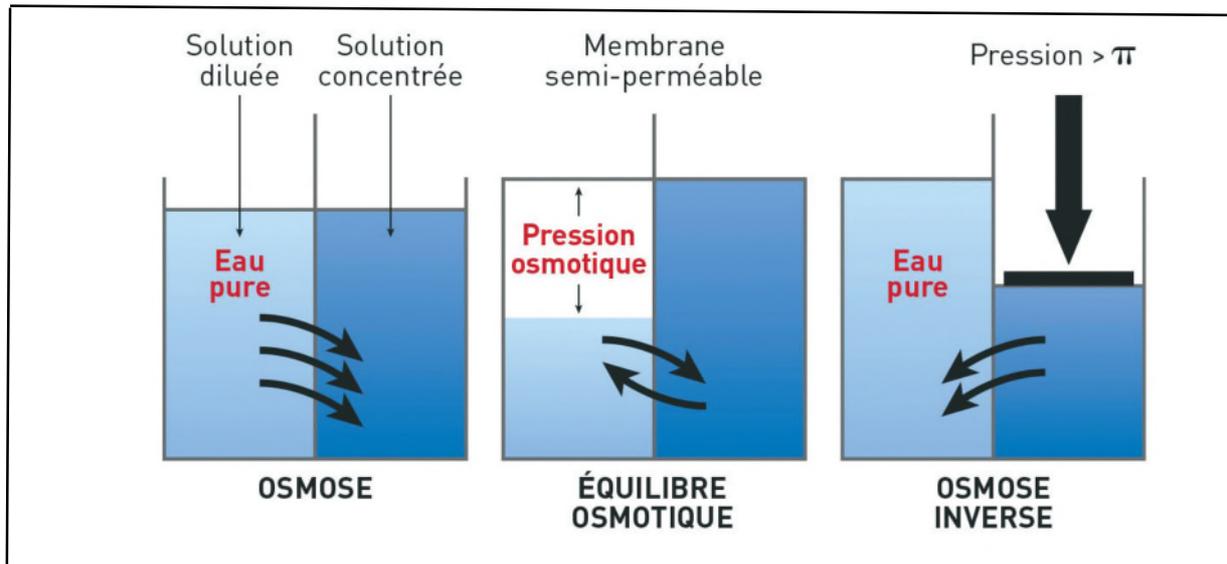


Figure N°4 : Principe d'osmose et d'osmose inverse (Carl et Serge, 2018).

➤ Pression osmotique

Pour les solutions suffisamment diluées, la pression osmotique, notée π , peut être calculée par la loi de Van't Hoff (Tristan, 2014) :

$$\pi = i \times C \times R \times T$$

i = le nombre d'ion dissociés dans le cas d'un électrolyte,

C = la concentration en sels en mol.m^{-3} ,

R = la constante des gaz parfaits $R = 8,314 \text{ J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$,

T = la température absolue de la solution en kelvin.

2-3- Mode de fonctionnement des systèmes membranaires

Il existe deux modes de filtration membranaires selon la direction de l'écoulement de la solution d'alimentation par rapport à la surface de la membrane.

2-3-1- Filtration frontale

C'est l'écoulement de la solution d'alimentation perpendiculairement à la surface de la membrane (figure 5(a)), on distingue trois courants : la solution d'alimentation, le rétentat (concentrat) et le perméat (filtrat) (Elkhabbaz, 2008).

2-3-2-Filtration tangentielle

Dans ce mode de filtration, il s'agit d'écoulement de la solution d'alimentation en parallèle à la surface de la membrane (figure 5(b)), deux courants sont distingués : la solution d'alimentation, le rétentat (concentrat) et le perméat (Elkhabbaz, 2008).

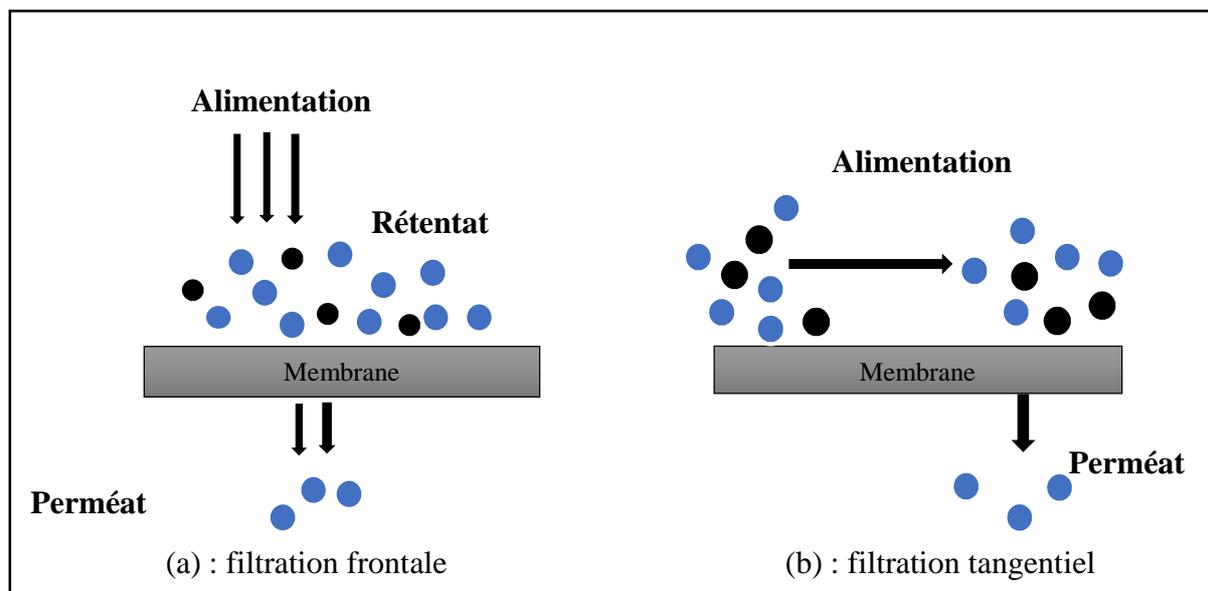


Figure N°5 : Mode de filtration membranaire (Elkhababaze, 2008).

2-4- La nature chimique des membranes

2-4-1- Les membranes organiques

Elles sont fabriquées à base de polymères organiques (acétate de cellulose, poly-sulfones, pol-yamides, etc.). Les qualités de ces matériaux leur confèrent une grande adaptabilité aux différentes applications. Les membranes d'ultrafiltration et de microfiltration sont constituées de membranes organiques (Metaiche, 2014).

2-4-2- Les membranes inorganiques ou minérales

Ces membranes se sont diffusées plus tardivement que les membranes organiques. Elles sont composées de corps entièrement minéraux (matières céramiques, métal fritté, verre). Leur arrivée a permis de travailler dans des conditions extrêmes de température et d'agression chimique, ce qui a ouvert de nouvelles voies dans la séparation par membrane (Metaiche, 2014).

2-5- Géométrie des membranes et des modules

Les membranes doivent être menées dans des supports appelés modules. Il existe quatre types de modules (module tubulaire, module fibre creuse, module spirale et module planaire), qui ont pour objectif d'obtenir un régime d'écoulement favorable et d'éviter les sections de passage trop faibles qui augmentent le colmatage. Ils permettent aussi un nettoyage facile et efficace sans démontage, et d'avoir également une bonne résistance à la pression (Crini et Batod, 2007).

2-5-1- Modules tubulaires

Un module tubulaire contient plusieurs tubes qui peuvent être en série ou en parallèle. L'eau à traiter circule à l'intérieur des tubes et le perméat est recueilli à l'extérieur des tubes. Les tubes constituent des canaux d'écoulement tangentiel. C'est le seul type de module qui peut être nettoyé mécaniquement avec un système de balles de mousse qui raclent les parois des tubes. Ces modules peuvent être de type monocanal ou multicanaux (figure 6) et sont souvent de nature minérale. Dans le cas de membranes tubulaires multicanaux, les tubes sont regroupés en parallèle dans un module. Le perméat est récupéré à l'extérieur des tubes, dans l'enveloppe du module. Ces systèmes sont moins sensibles au colmatage mais coûtent cher et peuvent être encombrants (Alain, 1988).

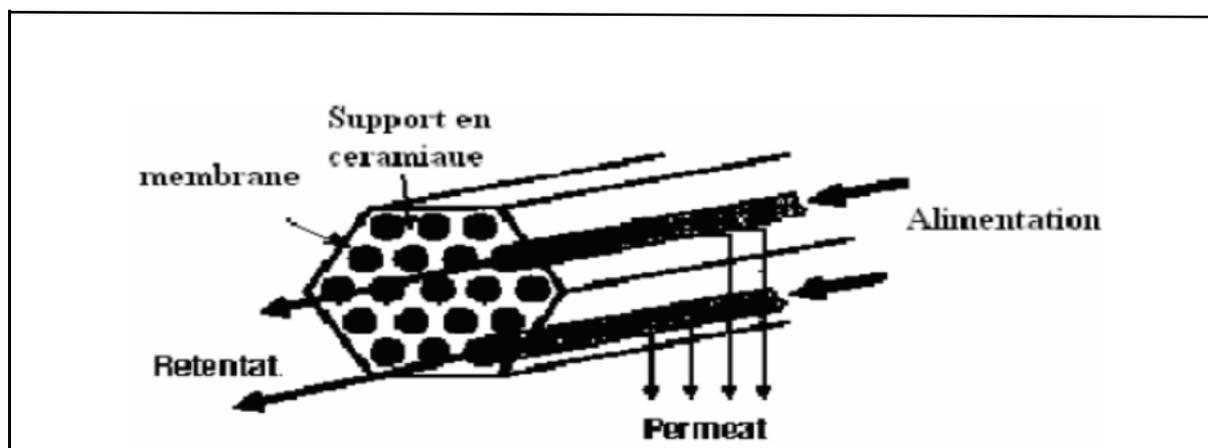


Figure N°6 : Module tubulaire (Berland et Jurey, 2002).

2-5-2- Module fibres creuses

Les fibres creuses sont assemblées en parallèle (figure 7) suivant deux configurations :

- **Configuration Intérieur-Extérieur (figure 7 schéma a)** : comme c'est le cas pour les modules tubulaires, l'eau à traiter circule à l'intérieur des fibres et le perméat est

recupéré à l'extérieur des fibres. Il y a un écoulement tangentiel canalisé à l'intérieur des fibres. (Berland et Juery, 2002).

- **Configuration Extérieur-Intérieur (Figure 7 schéma b et c)** : l'eau circule à l'extérieur des fibres et le perméat est récupéré à l'intérieur des fibres. L'écoulement entre les fibres est libre (Berland et Juery, 2002).

Dans les deux cas, les membranes sont assemblées en faisceaux et leurs extrémités sont noyées dans des bouchons de colle qui isolent le perméat de l'eau à traiter (Berland et Juery, 2002).

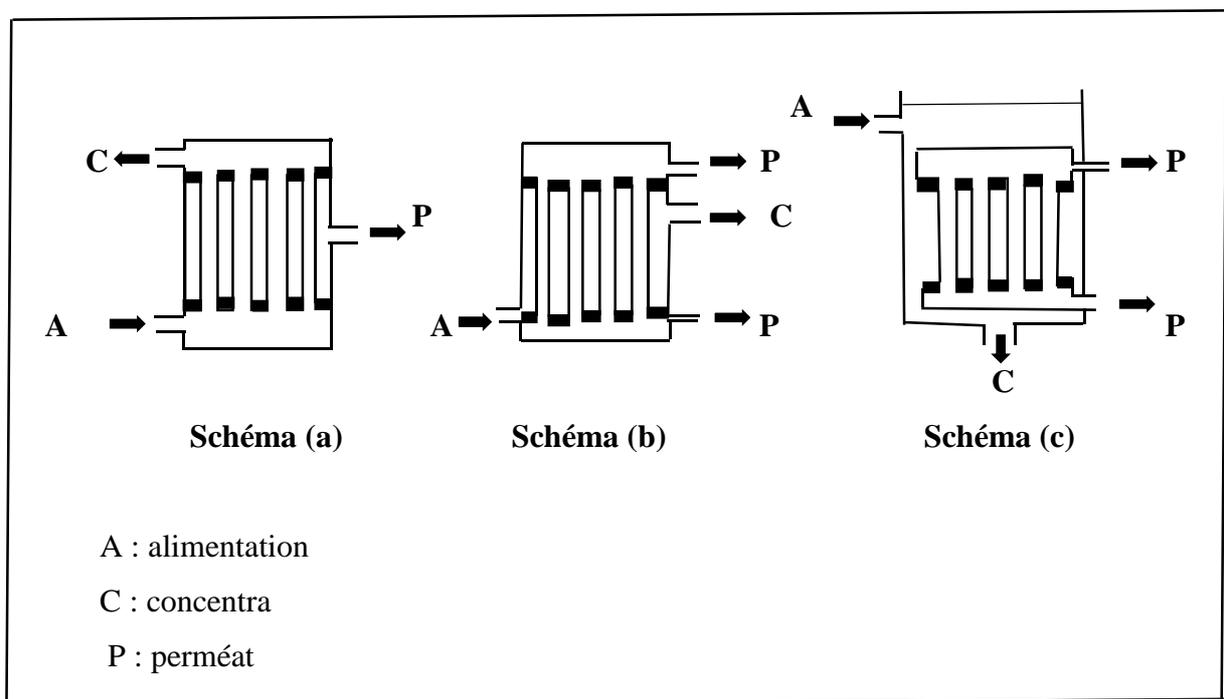


Figure N°7 : Module fibre creuse (Berland et Jurey, 2002).

2-5-3- Modules spirales

Dans les modules spirales (figure 8), une membrane plane est enroulée sur elle-même autour d'un tube poreux qui recueille le filtrat. On obtient, ainsi, un cylindre multicouche dans lequel le perméat s'écoule selon un chemin en spirale vers le tube poreux tandis que la puissance s'écoule axialement dans les canaux selon un chemin en spirale vers le tube poreux (Aptel et Buckley, 1996).

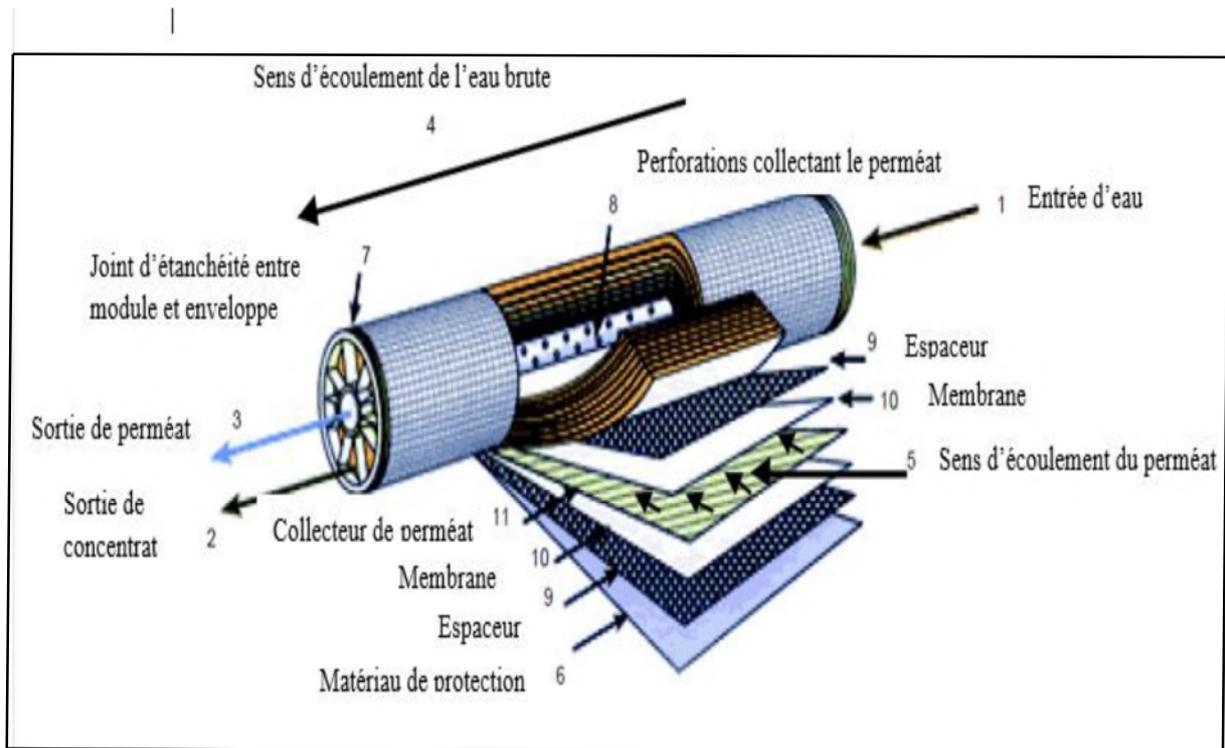


Figure N°8 : Structure interne d'une membrane spirale (Berland et Jurey, 2002).

2-5-4- Modules plans

Les modules plans (figure 9) sont les plus anciens et les plus simples. Ces membranes sont empilées en mille-feuilles séparées par des cadres intermédiaires qui assurent la circulation des fluides (Wegner *et al.*, 2010).

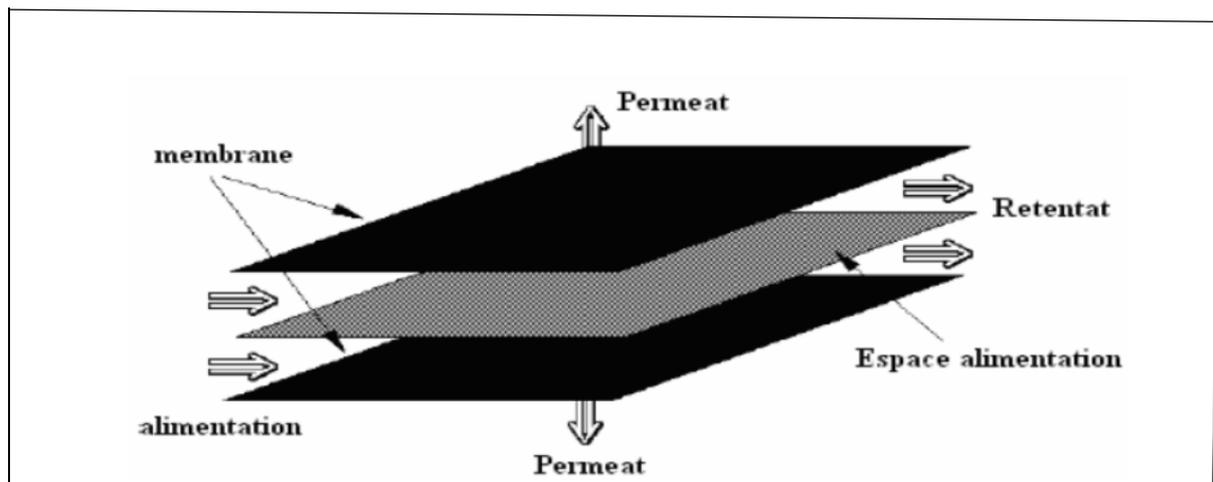


Figure N°9 : Modules plans (Aptel et Buckley, 1996).

2-6- Technique d'osmose inverse

Le traitement des eaux par le procédé d'osmose inverse (figure 10) se divise en divers sous-systèmes :

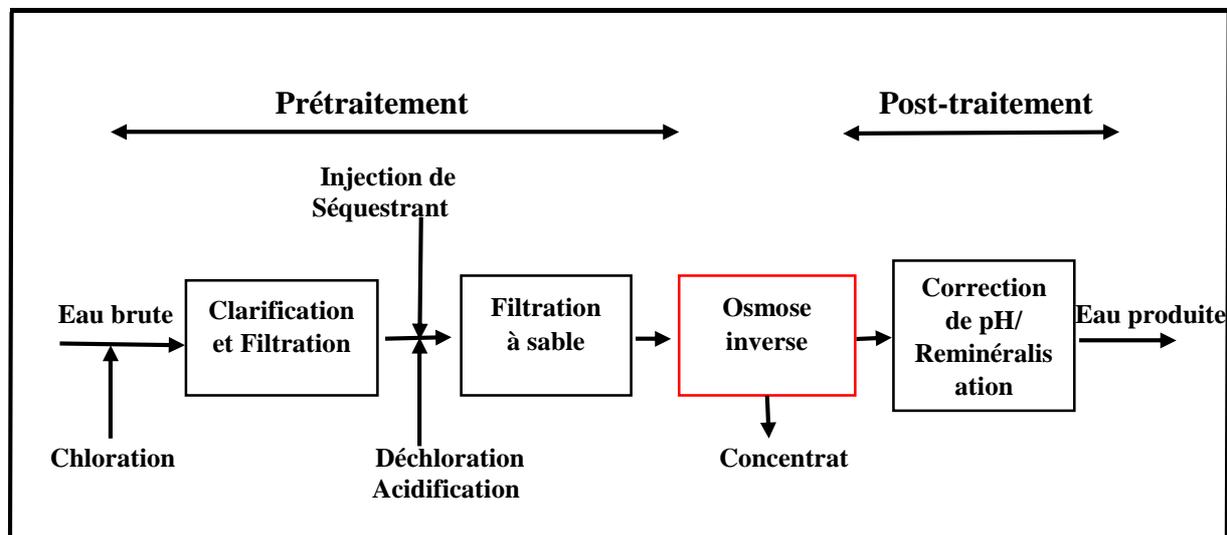


Figure N°10 : Éléments constitutifs d'une unité d'osmose inverse (Dahmani, 2016).

2-6-1- Système d'alimentation en eau brute

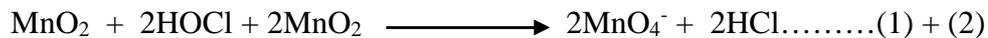
L'unité d'osmose inverse (OI) est alimentée de l'eau brute, l'eau est pompée puis acheminée vers un bassin de pré-décantation à ce niveau, de l'hypochlorite de sodium est dosé favorisant l'oxydation des ions ferreux et la formation de l'hydroxyde de fer capable de se précipiter (Elkhebbaz, 2008).

2-6-2- Système de prétraitement

Les unités d'osmose inverse utilisent un procédé de prétraitement conventionnel qui consiste en des prétraitements physiques et chimiques. Les prétraitements physiques incluent les filtres à cartouche, la filtration à sable et la filtration membranaire. Les prétraitements chimiques consistent en l'addition d'inhibiteurs d'entartrage, de coagulants, de désinfectants et de polyélectrolytes (Elkhebbaz, 2008).

2-6-2-1- Stérilisation et régénération du dioxyde de manganèse (Chloration)

La chloration est nécessaire pour la croissance biologique qui cause le bio-colmatage de la membrane, et elle permet aussi la régénération du dioxyde de manganèse par réaction catalytique.



Le chlore est ajouté sous la forme d'hypochlorite de sodium (NaOCl) ou de gaz dichlore (Cl₂) qui est hydrolysé sous la forme d'acide hypochloreux (HOCl) selon les formules suivantes.



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



La somme du Cl₂, NaOCl, HOCl et OCl⁻ constitue le chlore résiduel libre. Une concentration en chlore résiduel libre de 0,5 à 1,0 mg/l doit être maintenue le long de la filière de prétraitement pour empêcher le bio-colmatage de la membrane (Takabait, 2012).

2-6-2-2- Préfiltration avec des filtres à sables

Il est nécessaire de retenir toutes les particules de dimension supérieure à 10 à 50µm selon le type de module d'osmose inverse, ceci est réalisé à l'aide d'une préfiltration grossière puis d'une filtration sur sable pour éliminer les matières en suspension les plus grosses (Tristan, 2014).

Le nettoyage d'un filtre à sable se fait par le contre lavage (lavage contre-courant) pendant 15min en faisant passer de l'eau filtrée en sens inverse de la filtration, les impuretés sont évacuées à l'extérieure par le courant d'eau, ensuite l'eau filtrée est stockée dans un réservoir intermédiaire (Léopol, 2003).

2-6-2-3- Déchloration

La déchloration doit être effectuée avant l'osmose inverse et avant la filtration à cartouche, du métabisulfite de sodium (Na₂S₂O₅) est dosé pour neutraliser le chlore libre car ce dernier peut oxyder les parois superficielles des membranes en polyamides.

Dans l'eau, il produit du bisulfite de sodium selon la réaction suivante :



Le bisulfite de sodium réduit l'acide hypochloreux suivant la réaction ci-dessous :



2-6-2-4- Dosage de produit séquestrant

Avant la filtration à cartouche, une quantité de produit séquestrant est dosée dans l'eau d'alimentation pour disperser les carbonates de calcium, les sulfates de calcium, les sulfates de baryume etc. Il retarde aussi leur précipitation ainsi les membranes s'entassent moins rapidement et le nombre de CIP (lavage sur place) diminue (Ztouche et Bouakaz, 2012).

2-6-2-5- Dosage de produit biocide

Ils sont nécessaires pour éviter toute prolifération bactérienne et formation des biofilms, il est prévu de doser une fois par semaine pendant 30min un produit biocide comme les pesticides et les antiparasitaires (Ztouche et Bouakkaz, 2012).

2-6-2-6- Filtration à cartouche

Le dispositif constitué d'une enveloppe de pression contenant une ou plusieurs cartouches avec un orifice d'arrivée d'eau à filtrer et un orifice de sortie d'eau filtrée, permet de retenir les particules de taille de l'ordre de quelque dizaine de μm qui n'ont pas été retenues par le filtre à sable (Tristan, 2014).

2-6-2-7- Décolmatage à contre-courant (contre lavage)

C'est un rinçage, lavage à contre-courant : c'est une opération qui consiste à inverser pendant un bref instant le sens de passage de perméat dans une installation de séparation par membrane et d'améliorer le flux de perméat (Annik et Michéle, 1994).

2-6-2-8- Procédé d'osmose inverse

Après la filtration à cartouche, une pompe à haute pression permet d'injecter l'eau provenant des filtres dans des modules d'osmose inverse dans lesquels se trouve les membranes, de plus, un phénomène de polarisation intervient, ce qui augmente la concentration de la solution salée, puisque la majorité des molécules sont retenues d'un seul côté de la membrane. De ce fait, la pression osmotique augmente. Dans ces modules, l'eau est séparée en eau déminéralisée et concentrée (Tristan, 2014).

2-6-2-9- Lavage sur place (CIP) :

Lorsque la pression d'exercice sur les membranes diminue de 10% pour les mêmes conditions d'exercice, il est nécessaire de laver les membranes avec un produit acide ou basique (Annik et Michéle, 1994).

2-7- Les caractéristiques des membranes

Les membranes se caractérisent par :

-Taux de conversion (TC) : C'est la fraction du débit de liquide qui traverse la membrane (Metaiche, 2014).

-Résistance : Vis à vis de la pression, de la température et des agents chimiques. 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 pression, température et pH (Metaich, 2014).

-Sélectivité : Elle est définie par le taux de rejet R (ou taux de rétention) de l'espèce que la membrane est censée retenir (Metaiche, 2014).

-Taux de production : C'est la capacité d'un osmoseur à produire une quantité d'eau donnée en temps donné, il est exprimé en l/h, m³/h ou m³/jour (Maurel, 2006).

-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 performances, dégradation de l'état, usures...) (Metaiche, 2014).

2-8- Phénomènes de colmatage

Il peut être défini comme l'ensemble des phénomènes physiques, chimiques ou biologique dont l'effet est une diminution de flux volumique de perméat dans le temps. Le colmatage entraîne également une modification des propriétés de filtration en termes de sélectivité (Crini et Batod, 2007).

On distingue différents types de colmatage (figure 11) :

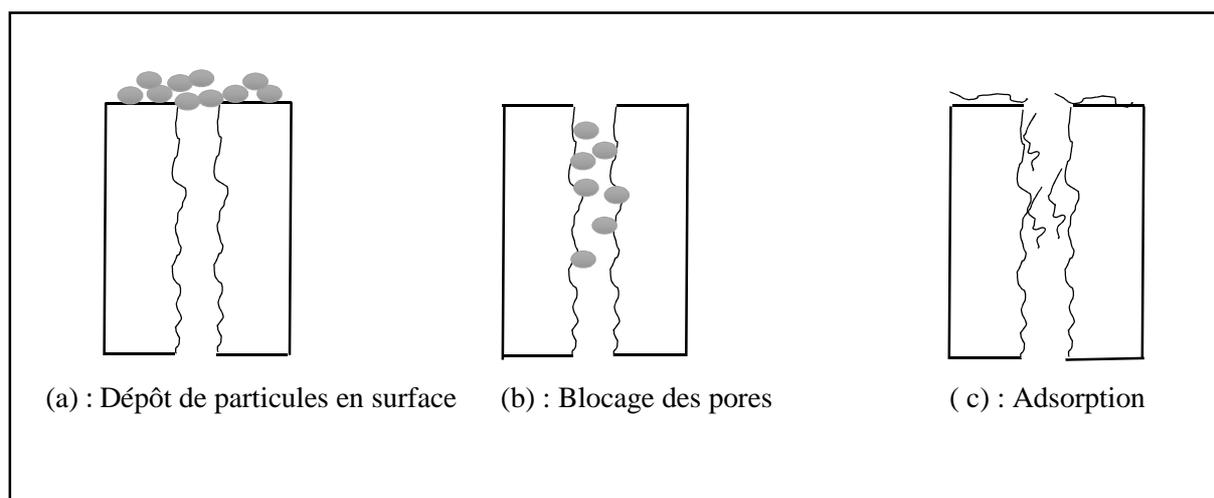


Figure N°11 : Différents types de colmatage (Crini et Batod, 2007).

2-8-1- Dépôt de particules en surface

Il s'agit d'un empilement de particules à la surface de la membrane (figure 10 (a)), ce type de colmatage, en général, est réversible c'est-à-dire peut-être éliminé par différents moyens mécaniques tels que des rinçages à l'eau (Crini et Batod, 2007).

2-8-2- Blocage des pores

Il s'agit d'une obstruction mécanique des pores conduisant à une diminution du nombre des pores disponibles de la membrane (figure 11(b)) (Crini et Batod, 2007).

2-8-3- L'adsorption

C'est un phénomène irréversible dû aux interactions physico-chimiques entre le soluté et la membrane (figure 11(c)) qui se traduit par la formation d'une ou plusieurs couches moléculaires à la surface de la membrane et/ou à l'intérieur des pores (Crini et Batod, 2007).

Chapitre III : Matériel et méthodes

3-1- Présentation de l'organisme d'accueil

3-1-1- Historique

Cevital est un complexe d'industrie agro-alimentaire. Il a été créé sur des fonds privés en mai 1998 sous forme d'une Société Par Actions (SPA) d'un capital s'élevant à 68 760 milliards de DA.

Première entreprise privée algérienne à avoir investi dans des secteurs d'activités diversifiées, elle a traversé d'importantes étapes historiques pour atteindre sa taille et sa notoriété actuelle. Grâce à la bonne qualité de ses produits et sa compétitivité, Cevital a réussi à s'imposer comme le leader du marché national. Ses principaux actionnaires sont Issaad REBRAB et ses fils.

3-1-2- Activités et missions de Cevital

Le complexe Cevital a débuté son activité par le conditionnement le 12 décembre 1998. Le 17 février 1999, les travaux de génie civil de la raffinerie ont été entamés. Elle est devenue fonctionnelle le 14 août 1999 (Bouchama et Ameure, 2009).

Les principales activités du complexe Cevital concernent la production et la commercialisation des huiles végétales, de margarine et de sucre et ses différentes activités sont :

- Raffinage des huiles avec une capacité de production de 1800 tonnes/jour ;
- Conditionnement des huiles ;
- Production de margarines avec une capacité de 600 tonnes/jour ;
- Fabrication d'emballages Polyéthylène- Téréphtalique (PET) ;
- Raffinage du sucre avec une capacité de production de 1600 tonnes/jour ;
- Stockage de céréales ;
- Eau minérale et boissons ;
- Station d'épuration des eaux usées ;
- Sucre liquide.

3-1-3- Situation géographique

Cevital se situe à l'arrière port de Bejaia à 200 ML (mètre linéaire) du quai à 3km Sud-Ouest de la ville, à proximité de la RN 26 et la RN 9. Cette situation géographique de l'entreprise

lui profite bien étant donné qu'elle lui confère l'avantage de la proximité économique. Le complexe s'étend sur une superficie de 45 000m² (le plus grand complexe privé en Algérie), il a une capacité de stockage de 182 000 tonnes/an (silos portuaire), et un terminal de déchargement portuaire de 200 000 tonnes/heure (réception de matière première). Il possède un réseau de distribution de plus de 52 000 points de vente sur tout le territoire national également.

La figure ci-dessous présente la situation géographique de l'organisme d'accueil Cevital.



Figure N°12 : Situation géographique de l'organisme Cevital (Brahmi et Bouras , 2018).

3-1-4- Organigramme de Cevital

L'organigramme suivant donne une vue générale sur les différents organes constituant le complexe Cevital :

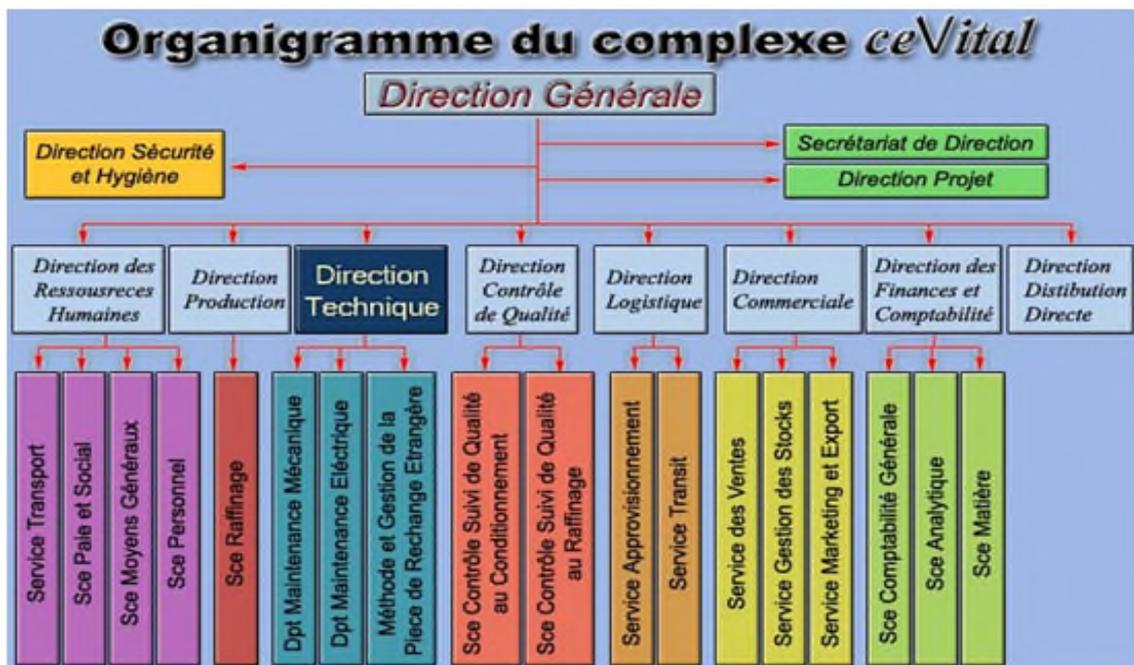


Figure N°13 : Organigramme de Cevital (Brahmi et Boudas, 2018).

3-2- Méthodologie de travail

Le travail a été réalisé au niveau du laboratoire d'unité d'osmose inverse de l'entreprise Cevital et qui consiste en un suivi de la qualité physico-chimique des eaux à l'entrée et à la sortie du traitement des eaux de processus d'osmose inverse. Au cours de notre stage, nous avons effectué 5 prélèvements (N1, N2, N3, N4, N5) du 1 mars jusqu'à 15 mars 2020.

Les prélèvements de l'eau au niveau des sites d'études (eau de forage de Ibouassen et osmose inverse, consiste à ouvrir une vanne de sortie d'eau, puis laisser couler l'eau quelques minutes, l'eau sera prélevée et mise directement dans des bouteilles en verre de 500 ml étiquetées (nom de site et la date de prélèvement). Les échantillons récupérés sont immédiatement acheminés au laboratoire d'unité osmose inverse de l'entreprise Cevital pour différentes analyses physico-chimiques.

Pour chaque échantillon un seul essai a été réalisé, les tests effectués ont porté sur trois types d'analyses à savoir :

- Méthodes électrochimiques : mesure de pH et de conductivité.
- Méthodes titrimétriques : détermination de titre hydrotimétrique total (TH), de titre alcalimétrique (TA), de titre alcalimétrique complet (TAC) et de chlorure.

- Méthodes spectrophotométriques : détermination de la teneur en chlore libre, en fer, en aluminium, en silice et en manganèse.

3-2-1- Mesure des paramètres physico-chimiques

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

3-2-1-1- Méthodes électrochimiques

❖ Mesure de potentiel d'hydrogène (pH)

✓ 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^+ (Rodier *et al.*, 2009).

✓ Mode opératoire

Prendre un bécher avec l'eau à analyser et prolonger la sonde de pH-mètre dans l'échantillon après l'avoir étalonné. La valeur correspondante lue sur l'appareil permettant de déterminer le pH.

❖ Mesure de la conductivité

✓ Principe

La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1 cm^2 de surface et séparées l'une de l'autre de 1 cm, elle est liée à la présence d'ion en solution et elle augmente avec la concentration des sels dissous et la température (Rodier *et al.*, 2009).

✓ Mode opératoire

Après avoir étalonné le conductimètre, plonger la sonde de l'appareil préalablement rincée dans un bécher avec l'eau à analyser, ensuite secouer la sonde légèrement afin d'éliminer les bulles d'air. Après stabilisation, lire les résultats sur l'appareil.

✓ Expression des résultats

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

3-2-1-2- Méthodes titrimétriques

❖ Titre hydrotimétrique total (dureté total, TH total)

✓ Définition

Le titre hydrotimétrique total (dureté total) ou le TH total est une mesure globale de la concentration en sels dissous de calcium et de magnésium dans l'eau (Alphas, 2005).

✓ Principe

Les alcalinoterreux présents dans l'eau (Mg^{+2} et Ca^{+2}) sont amenés à former un complexe par le sel disodique de l'acide éthylène diamine tétra acétique à $pH = 10$. La disparition des dernières traces d'éléments libres à doser est décelée par le virage d'un indicateur spécifique, le noir ériochrome. En milieu convenablement tamponné pour empêcher la précipitation du magnésium, la méthode permet de doser la somme des ions calcium et magnésium (Desjardins, 1997).

✓ Mode opératoire

Prendre 100 ml d'eau à analyser dans un erlenmeyer, ajouter 8 gouttes de solution tampon ammoniacal (qui sert à stabiliser le pH durant le titrage) plus 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^{+2} et Mg^{+2}). Puis titrer le mélange avec une liqueur hydrométrique d'EDTA (sel tétra sodique de l'acide éthylène diamine tétra acétique) à 0,02 N jusqu'au virage de la coloration violette vers le bleu vert.

✓ Expression des résultats

Le calcul du TH total :

$$[V_{EDTA} \times N_{EDTA} \cdot Eq_{CaCO_3}] \cdot 1000/V (^{\circ}F)$$

Où :

V_{EDTA} est le volume de titrage.

V : volume de la prise d'essai (100ml).

N : Normalité de l'EDTA (0,04N).

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

❖ Titre hydrotimétrique TH Ca⁺²

✓ Principe

Pour le dosage du calcium, on procède de la même manière que pour le titre hydrotimétrique total en changeant uniquement l'indicateur coloré (N.E.T) par du murexide. Le pH est porté à 12-13 par addition de soude pour faire précipiter les ions Mg⁺ sous formes d'hydroxydes. (Rodier *et al.*, 2009).

✓ Mode opératoire

Prendre 100 ml de l'eau à analyser dans un erlenmeyer et ajouter 25 gouttes de NaOH à 5N, en remuant délicatement ajouter une pincée de murexide (indicateur coloré) et mélanger. Une coloration rose doit alors se développer. Puis Titrer alors avec la solution d'EDTA (sel tétra sodique de l'acide éthylène diamine tétra acétique) à 0,02N jusqu'au virage du rose au violet.

✓ Expression des résultats

Le calcul du TH Ca⁺² :

$$\text{TH Ca}^{+2} (\text{°f}) = [\text{V}_{\text{EDTA}} \times \text{N}_{\text{EDTA}} \cdot \text{Eq}_{\text{CaCO}_3}] \cdot 1000 / \text{V}$$

Où :

TH Ca⁺² : Titre hydrométrique calcique.

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

V : Chute de la burette en ml.

❖ Le titre alcalimétrique (TA)

✓ Définition

C'est une mesure de la teneur d'une eau en alcalis (hydroxydes) et de la moitié de sa teneur en carbonates alcalins et alcalino-terreux, déterminée par addition de la quantité d'acide sulfurique nécessaire au virage de la phénophtaléine du rouge à l'incolore à pH 8,3. Le TA s'exprime en degrés français (Rodier *et al.*, 2009).

✓ 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 (Rodier *et al.*, 2009).

✓ Mode opératoire

Prendre 100 ml d'une eau à analyser dans un erlenmeyer, ajouter deux gouttes de phénolphthaléine (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 :

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

Où :

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

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

N : Normalité de H_2SO_4 (0,04N).

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

❖ Le titre alcalimétrique complet (TAC)

✓ Définition

C'est une teneur d'une eau en alcalis (hydroxydes), en carbonates et en bicarbonates (ou hydrogénocarbonates) alcalins et alcalino-terreux, déterminée par addition de la quantité d'acide sulfurique nécessaire au virage du méthylorange (ou hélianthine) du jaune à l'orangé à pH 4,3. Le TAC s'exprime en degrés français (Rodier *et al.*, 2009).

✓ 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 (Rodier *et al.*, 2009).

✓ Mode opératoire

Prendre le même échantillon pour l'analyse du TA et ajouter 2 gouttes d'hélianthine ou du méthyle orange. Une coloration jaune apparaît, passer au Titration avec le même acide (H_2SO_4) jusqu'au virage de la coloration jaune vers l'orange.

✓ Expression des résultats

Le calcul du TAC :

$$\text{TAC} = [V'' \times N_{\text{H}_2\text{SO}_4} \cdot \text{Eq}_{\text{CaCO}_3}] \cdot 1000/V$$

Où :

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

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

N : Normalité de H₂SO₄ (0,04N).

Eq_{CaCO₃} : 5°E et 1°E = 10 mg CaCO₃/l = 0,2 meq/l.

❖ Détermination de la teneur en chlorures

✓ Principe

Les chlorures sont dosés en milieu neutre par une solution titrée de nitrate d'argent en présence de chromate de potassium. La fin de la réaction est indiquée par l'apparition de la teinte brune rouge caractéristique du chromate d'argent (Rodier *et al.*, 2009).

✓ Mode opératoire

Dans un erlenmeyer, 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 AgNO₃ à 0,02N (le nitrate d'argent précipite les chlorures alcalins et alcalino-terreux sous forme de chlorures d'argent), 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 :

$$\text{Cl}^- = V_{\text{AgNO}_3} \times \text{Eq Cl}^- \times N_{\text{AgNO}_3}/V \text{ (°E)}$$

Où :

V_{AgNO₃} : le volume de nitrate d'argent titré.

V : 100 ml d'eau à analysée

N : Normalité de la solution nitrate d'argent et Eq Cl⁻ = 35,45 mg/l.

3-2-1-3- Méthodes spectrophotométriques

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

❖ Détermination de la teneur en fer

✓ Principe

Le fer Fe^{+2} réagit avec un dérivé de la triazine pour donner un complexe violet. La capsule NANOFIX[®] sert pour la réduction de Fe^{+3} en Fe^{+2} et pour l'ajustage du pH (Rodier *et al.*, 2009).

La teneur en fer a été déterminée en utilisant le test NANOCOLOR[®] Fer 3 Test 0-37 Art. N° 985 037 de Cevital.

✓ Mode opératoire

Mettre 4ml de l'échantillon à analyser et un NANOFIXR2 dans une cuve ronde (fermer le tube de NANOFIX immédiatement après l'addition de R2). Le blanc est préparé avec 04 ml d'eau distillée et un NANOFIX R2. Après 10 mn, réaliser la lecture à 540 nm.

R2 : est un kit chimique pour le dosage du fer.

❖ Détermination de la teneur en silice

✓ 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 (Rodier *et al.*, 2009).

La teneur en silice a été déterminée en utilisant le test NANOCOLOR[®] Silice Test 148 Art. N°918 48 de Cevital.

✓ Mode opératoire

Introduire respectivement dans une fiole de 25 ml : 20 ml d'échantillon à analyser, 1 ml 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. Après 15mn, la lecture est faite à 690 nm.

R1, R2 et R3 : sont des kits chimiques pour le dosage de la silice.

❖ Détermination de la teneur en chlore libre

✓ 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 (Rodier *et al.*, 2009).

La teneur en chlore libre a été déterminée par le test NANOCOLOR® Chlore Test 1-16.

✓ Mode opératoire

Introduire respectivement dans une fiole de 25 ml : 20 ml d'échantillon à analyser, 1 ml de R1, mélanger ensuite, une pincée de R2, mélanger ensuite, ajuster à 25 ml avec de l'eau distillée. La lecture se fait à une longueur d'onde de 540 nm après 30 secondes.

R1, R2 : sont des kits chimiques pour le dosage du chlore libre.

❖ Détermination de la teneur en manganèse

✓ Principe

Le manganèse est oxydé en permanganate à l'aide de periodate de potassium en milieu acide. Le permanganate ainsi formé est dosé spectrométriquement (Rodier *et al.*, 2009).

La teneur en manganèse a été déterminée par le test NANOCOLOR® Manganèse 10 Test 0-58 Art. N° 985 058.

✓ Mode opératoire

Dans une cuve ronde, mettre 04 ml de l'échantillon à analyser et 0,5 ml de R2, fermer, mélanger et attendre une minute. Ajouter une cuillère de mesure de R3. Le blanc est préparé avec 04 ml de l'échantillon à analyser, 0,5 ml de R2 et une cuillère de mesure de R3. Après 5 mn, la lecture se fait à une longueur d'onde de 540 nm.

R2, R3 : sont des kits chimiques pour le dosage du manganèse.

❖ Détermination de la teneur en aluminium

✓ 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 (Rodier *et al.*, 2009).

La teneur en aluminium a été déterminée par le test NANOCOLOR® Aluminium 07 Test 0-98 Art. N°985 098.

✓ Mode opératoire

Dans une cuve ronde, on introduit : 0,5 ml de R2 et R3, 04 ml de l'échantillon à analyser, 0,5 ml de R4. Ensuite, on ferme et on agite le mélange. La lecture se fait à une longueur d'onde de 540 nm après 5 mn.

R2, R3, R4 : sont des kits chimiques pour le dosage de l'aluminium.

Chapitre IV : Résultats et discussions

4-1- Analyses physico-chimiques

Les résultats des différentes analyses physico-chimiques de l'eau obtenus à l'entrée (forage) et à la sortie (osmose inverse) de l'unité d'osmose inverse, à travers les différentes étapes de traitement sont mentionnés dans les tableaux I et II.

Tableau I : Résultats d'analyses physico-chimiques de l'eau de forage (eau d'entrée).

| Paramètres Echantillons | pH | Cond ($\mu\text{s}/\text{cm}$) | TH Total ($^{\circ}\text{F}$) | TH Ca^{2+} ($^{\circ}\text{F}$) | TA ($^{\circ}\text{F}$) | TAC ($^{\circ}\text{F}$) | Cl ($^{\circ}\text{F}$) | Cl ₂ (ppm) | Mn (ppm) | Al (ppm) | SiO ₂ (ppm) | Fer (ppm) |
|----------------------------|------------|-------------------------------------|---------------------------------------|--|------------------------------|-------------------------------|------------------------------|--------------------------|-------------|-------------|---------------------------|--------------|
| N1 | 7,60 | 2423,5 | 86,7 | 56 | 00 | 28,5 | 62,1 | 0,01 | 00 | 0,03 | 5,0 | 0,66 |
| N2 | 7,55 | 2522,3 | 88,9 | 54,6 | 00 | 30,4 | 65,3 | 0,02 | 00 | 0,05 | 6,9 | 0,85 |
| N3 | 7,37 | 2256 | 79,5 | 52,9 | 0 | 25,0 | 61,2 | 0,01 | 00 | 00 | 6,7 | 0,44 |
| N4 | 7,43 | 2381,2 | 87,6 | 55,1 | 0 | 26,8 | 63,1 | 0,01 | 0,022 | 00 | 4,2 | 0,53 |
| N5 | 7,25 | 2455,1 | 85,1 | 53,7 | 00 | 27,3 | 64,2 | 0,02 | 00 | 0,03 | 5,1 | 0,64 |
| Moyenne | 7,44 | 2407,62 | 85,56 | 54,4 6 | 00 | 27,6 | 63,1 8 | 0,014 | 0,004 4 | 0,002 | 5,58 | 0,62 |
| Norme | 6,5 - 9 | <3000 | <100 | 0 | 0 | 60 | <70 | 1,5-3 | <1,2 | 0 | <12 | <3 |

➤ Cond : Conductivité

Tableau II : Résultats d'analyses physico-chimique de l'eau osmosée (eau de sortie).

| Paramètres Echantillons | pH | Cond ($\mu\text{s}/\text{cm}$) | TH Total ($^{\circ}\text{F}$) | TH Ca ²⁺ ($^{\circ}\text{F}$) | TA ($^{\circ}\text{F}$) | TAC ($^{\circ}\text{F}$) | Cl ($^{\circ}\text{F}$) | Cl ₂ (ppm) | Mn (ppm) | Al (ppm) | SiO ₂ (ppm) | Fer (ppm) |
|----------------------------|--------------|-------------------------------------|---------------------------------------|--|------------------------------|-------------------------------|------------------------------|--------------------------|-------------|-------------|---------------------------|--------------|
| N1 | 6,35 | 88,2 | 0,55 | 00 | 00 | 0,70 | 2,50 | 0,0 | 00 | 00 | 0,066 | 0,01 |
| N2 | 6,50 | 74,1 | 0,43 | 00 | 00 | 0,85 | 2,75 | 0,01 | 00 | 00 | 00 | 0,005 |
| N3 | 6,15 | 72,3 | 0,5 | 00 | 00 | 0,60 | 2,95 | 0,01 | 00 | 00 | 00 | 0,003 |
| N4 | 6,17 | 75,6 | 0,39 | 00 | 00 | 0,77 | 3,01 | 00 | 00 | 00 | 0,12 | 0,023 |
| N5 | 6,25 | 73,7 | 0,48 | 00 | 00 | 0,75 | 3,20 | 0,01 | 00 | 00 | 0,16 | 0,022 |
| Moyenne | 6,28 | 76,78 | 0,47 | 00 | 00 | 0,73 | 2,88 | 0,006 | 00 | 00 | 0,069 | 0,012 |
| Norme | 5,5 - 7,5 | < 100 | <1 | 0,00 | 0 < | < 1,5 | < 3 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | < 2 | < 0,1 |

➤ Cond : conductivité

4-1- 1 - Potentiel d'hydrogène (pH)

Les variations du pH des eaux analysées (eau d'entrée et eau de sortie) sont mentionnées dans la figure 14.

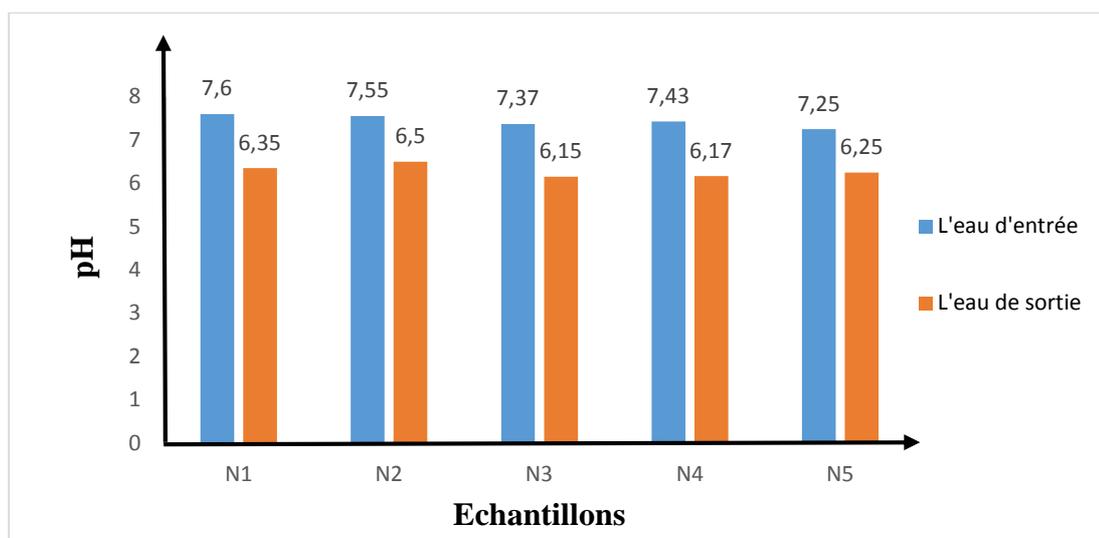


Figure N°14 : Variation de pH des eaux analysées à l'entrée et à la sortie de l'unité d'osmose inverse.

Selon les tableaux I et II, les valeurs de pH de l'eau de forage à l'entrée est relativement neutre, la valeur maximale est 7,60 et la valeur minimale est 7,25 avec une moyenne de 7,44. A la sortie des quatre osmoseurs, une diminution de pH est enregistrée, la valeur maximale est de 6,50 et la valeur minimale est de 6,15 avec une moyenne légèrement acide (6,28). En effet, on remarque que les valeurs de pH à l'entrée sont plus élevées par rapport aux pH à la sortie de l'unité d'osmose inverse, cette variation est due principalement à la déminéralisation de l'eau, ce qui montre l'efficacité des membranes d'osmose inverse à retenir les sels minéraux (l'augmentation de pH due à la présence des sels minéraux tels que Ca^{+2} , CO_3^{+2} , etc.). Les valeurs de pH obtenues sont conformes aux normes de l'entreprise Cevital ($5,5 < \text{pH} < 7,5$).

4-1-2 - La conductivité

La figure15 illustre les résultats de la conductivité des différents échantillons d'eaux analysées.

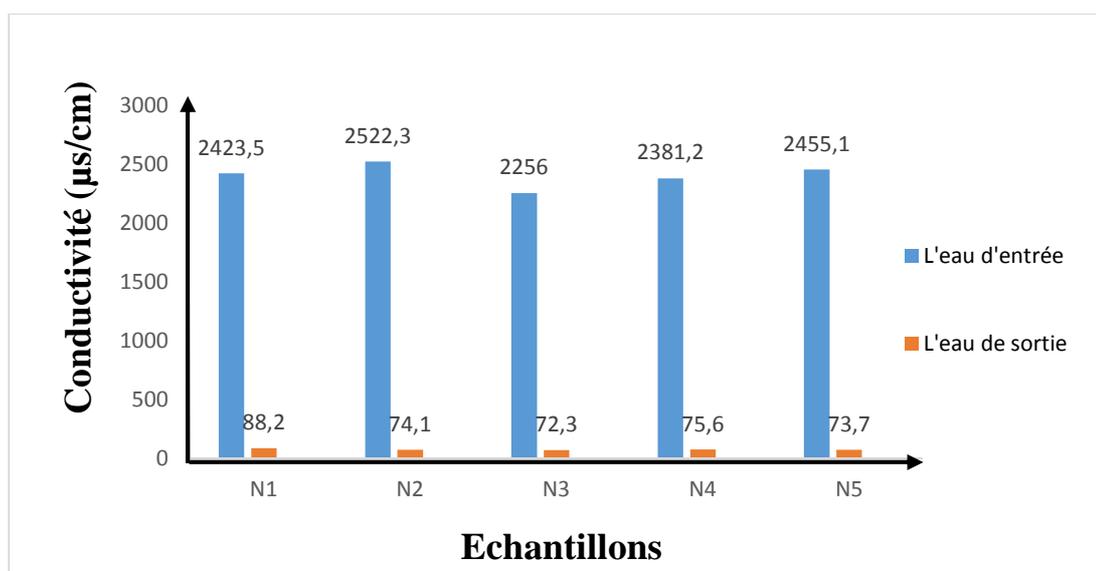


Figure N°15 : Variation de la conductivité des eaux analysées à l'entrée et à la sortie de l'unité d'osmose inverse.

Les tableaux I et II, montre une grande variation entre les valeurs de conductivité à l'entrée et à la sortie de l'unité d'osmose inverse. Les valeurs de conductivité avant la filtration membranaire sont très importantes par rapport à celles obtenues après le traitement. En effet, pour les eaux d'entrée, nous avons enregistré une valeur maximale de 2522,3µs/cm et une valeur minimale de 2256 µs/cm avec une moyenne de 2407,62 µs/cm ce qui est expliqué par une forte présence des ions minéraux dans l'eau de forage. Par contre, l'eau osmosée présente une moyenne de 76,78 µs/cm, cette diminution de la conductivité montre la capacité des

membranes danses de l'osmoseur à éliminer 97% des ions présents dans l'eau, ces ions sont retenus et évacués dans les rejets. Ces résultats obtenus sont maintenus dont l'intervalle de conformité aux normes ($<100 \mu\text{s}/\text{cm}$).

4-1- 3 –Titre hydrotimétrique total (TH)

Les mesures du TH des différentes eaux analysées sont illustrées dans la figure 16.

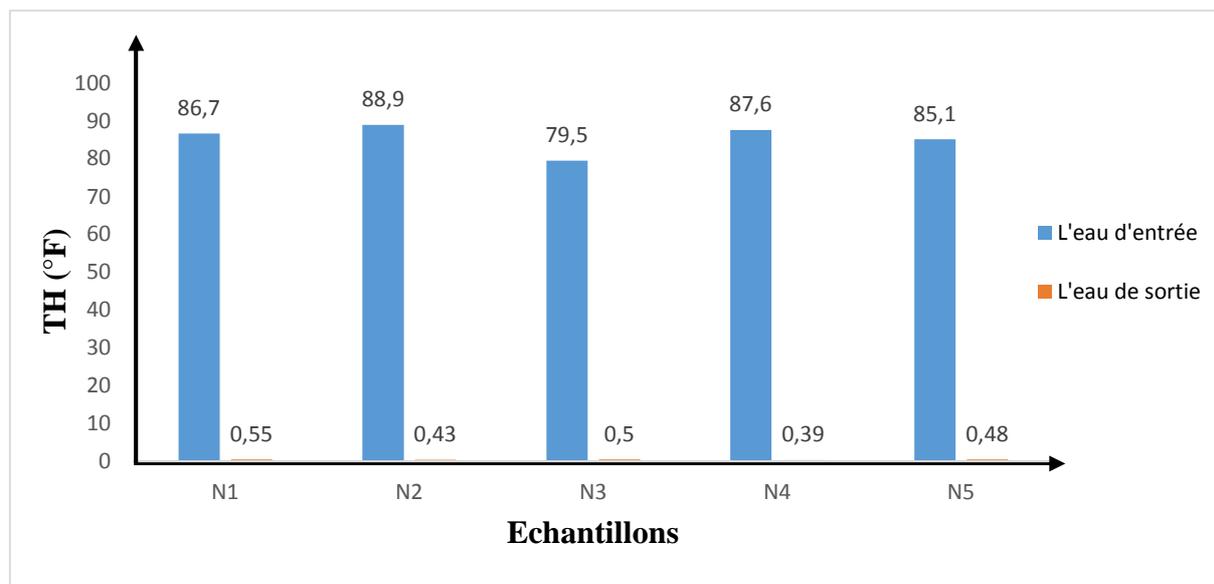


Figure N°16 : Variation des valeurs de TH total des eaux analysées à l'entrée et à la sortie de l'unité d'osmose inverse.

Les résultats obtenus (tableaux I et II) montrent que la valeur moyenne de TH total des échantillons analysés à l'entrée de l'unité d'osmose inverse est de $85,56^\circ\text{F}$, alors que celle de l'eau traitée à la sortie de l'osmoseur est presque nul $0,47^\circ\text{F}$ et elle est inférieure à la norme recommandée ($<1^\circ\text{F}$). Cette diminution s'explique par l'élimination de la quasi-totalité des ions carbonates de calcium et de magnésium contenus dans les eaux d'entrée de forage. En effet, ces ions sont retenus par les membranes d'osmoseur, ceci confirme le bon état des membranes d'osmoseur qui empêchent le passage des ions CaCO_3 et MgCO_3 .

4-1- 4-Titre alcalimétrique (TA)

D'après les résultats mentionnés dans les tableaux I et II, le titre alcalimétrique de tous les échantillons de l'eau analysée il est nul pendant la période d'étude, car les valeurs de pH des eaux analysées comme et il a été déjà noté dans la figure14 sont inférieurs à 8,3 ce qui

explique l'absence de base forte de carbonates et d'alcalins libres dans les échantillons d'eaux analysés.

4-1- 5- Titre alcalimétrique complet (TAC)

Les résultats obtenus de l'alcalinité des différents échantillons d'eaux analysées sont mentionnés dans la figure 17.

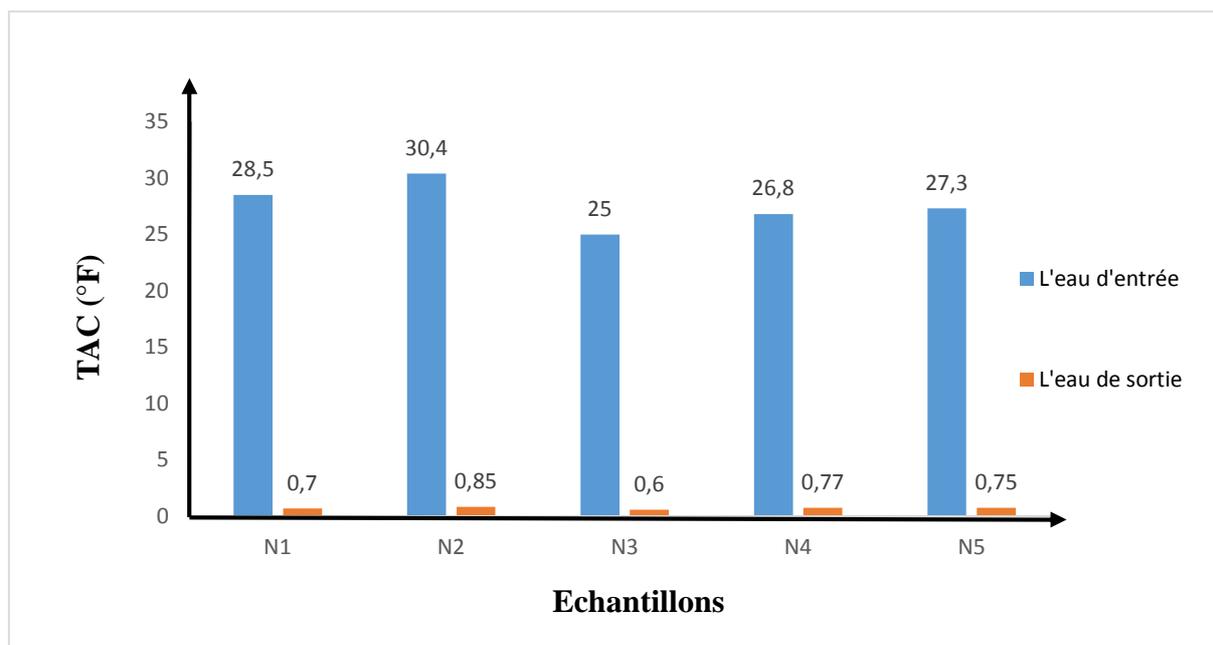


Figure N°17 : Evolution des valeurs de TAC des eaux analysées à l'entrée et à la sortie de l'unité d'osmose inverse.

Comme indiqué dans les tableaux I et II, on remarque que la valeur moyenne de TAC de l'eau de forage est 27,6°F, cette valeur est inférieure à la norme recommandée (60°F). A la sortie, on observe une diminution très importante des valeurs de TAC avec une moyenne de 0,73°F, cette diminution est due au bon fonctionnement des quatre osmoseurs à retenir 97,3% des ions carbonates et hydrogénocarbonates. Les résultats obtenus sont conformes aux normes de l'entreprise (<1,5 °F).

4-1-6- La teneur en chlorure

La figure 18 montre les teneurs en chlorure des différents échantillons d'eaux analysées.

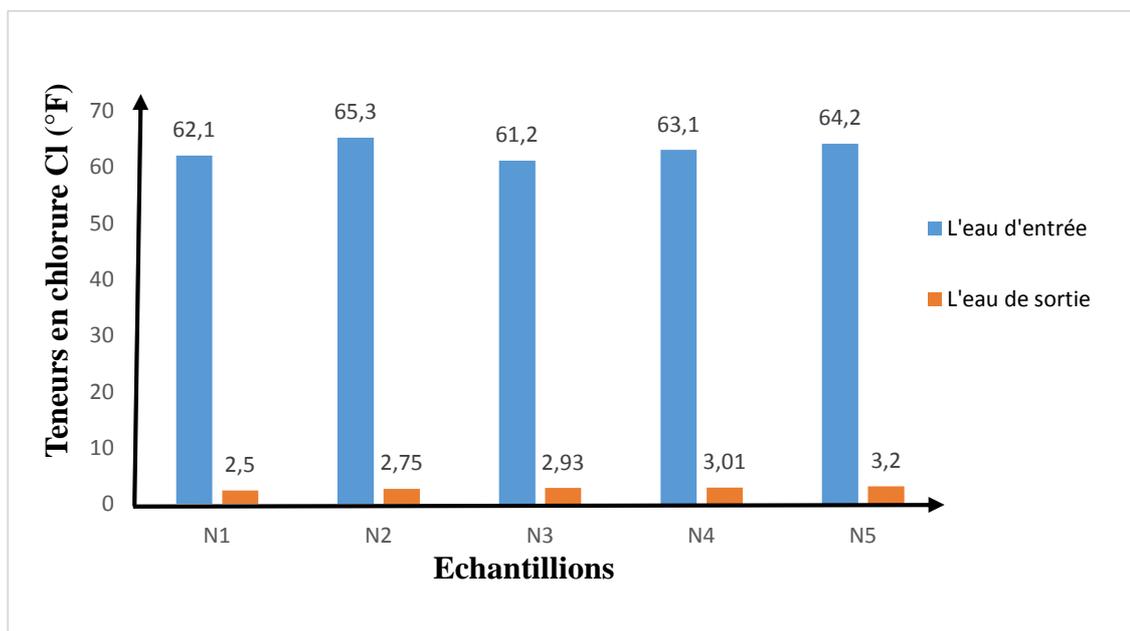


Figure N°18 : Variation des teneurs en chlorure des eaux analysées à l'entrée et à la sortie de l'unité d'osmose inverse.

Comme indiqué dans les tableaux I et II, la variation des teneurs en chlorures dans l'eau brute montre une stabilité de ce paramètre à l'entrée. Les teneurs sont élevées avec une moyenne de 63,18°F, mais qui restent toujours inférieures à la norme (<70°F). A la sortie des quatre osmoseurs, nous avons enregistré une diminution importante des teneurs en chlorure, avec une moyenne de 2,88°F qui est inférieure à la norme recommandée (<3°F). Cette diminution importante estimée à 95,5% est expliquée par l'efficacité de rétention des chlorures par les différentes membranes.

4-1-7- La teneur en chlore

Selon les tableaux I et II, les teneurs en chlore enregistrées pour les eaux brutes sont très faibles par rapport aux normes autorisées ($1,5 < Cl_2 < 3$). En effet, la valeur maximale de chlore est 0,02ppm et pour la valeur minimale est 0,01ppm avec une moyenne de 0,014ppm. A la sortie des osmoseurs, la teneur moyenne en chlore est de 0,006ppm, enregistrant ainsi une diminution de 57%. La non élimination totale du chlore (norme recommandée) pourrait être expliquée par l'accumulation de ce gaz à la surface des membranes qui accélère le processus de dégradation et réduit ainsi la durée de vie de ces membranes.

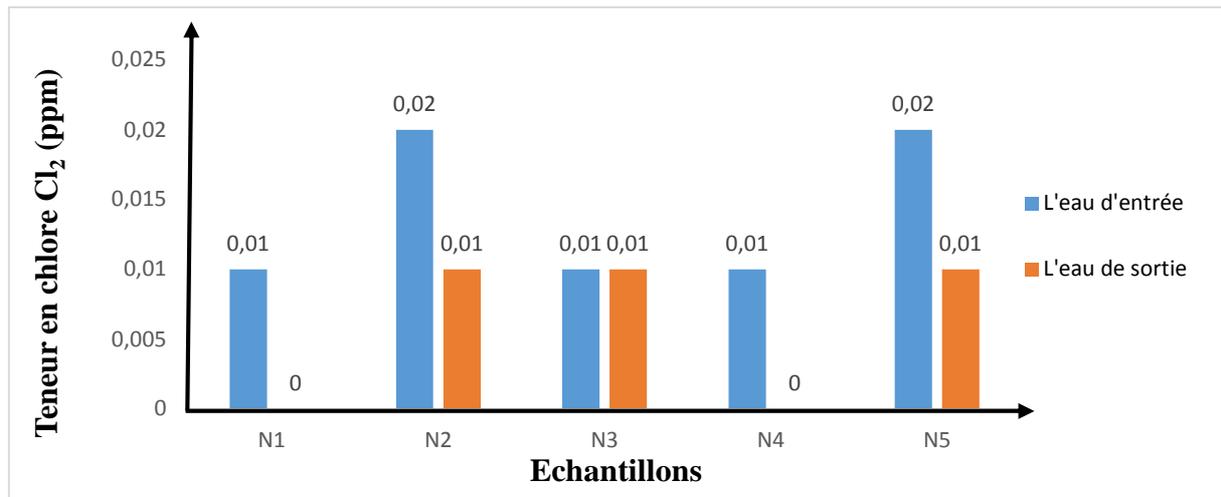


Figure N°19 : Variation des teneurs en chlore des eaux analysées à l'entrée et à la sortie de l'unité d'osmose inverse.

4-1- 8 – La teneur en manganèse

D'après les tableaux I et II, on observe qu'à l'exception d'un seul échantillon (N4 : 0,022ppm), tous les autres échantillons ont enregistré l'absence totale du manganèse (valeur nulle), ce qui nous mène à dire que les eaux de ce forage se caractérisent par de très faibles teneurs en manganèse. Les résultats obtenus sont conformes à la norme recommandée, soit pour les eaux de forage (<1,2ppm), soit pour les eaux traitées (0ppm).

4-1- 9 - La teneur en aluminium

La figure20 montre les teneurs en chlorure des différents échantillons d'eaux analysées

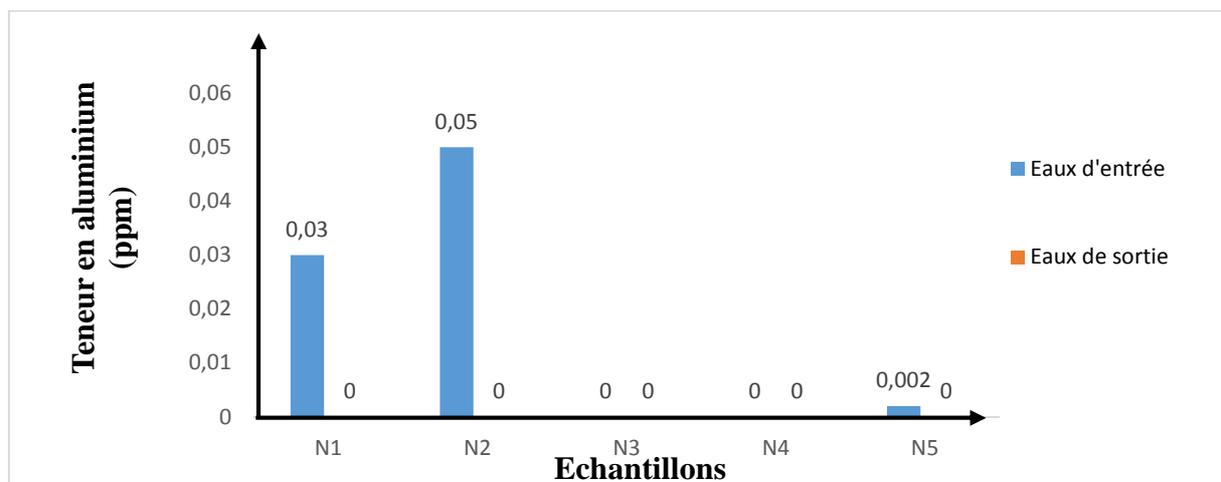


Figure N°20 : Variation de la teneur en aluminium des eaux analysées à l'entrée et à la sortie de l'unité d'osmose inverse.

D'après les tableaux I et II, la teneur en aluminium des eaux analysées à l'entrée des osmoseurs est variable. En effet, deux échantillons ont enregistré des valeurs nulles et les trois échantillons restants ont enregistré des valeurs de 0,05ppm et 0,03 ppm dépassant ainsi la norme recommandée (0ppm). A la sortie de l'unité d'osmose inverse, la teneur en aluminium est nulle pour tous les échantillons ce qui est recommandé par la norme. Ces résultats sont, donc conformes aux normes d'entreprise Cevital (0ppm).

4-1-10- La teneur en silice

La variation des teneurs en silice des différents échantillons analysés est illustrée dans la figure 21.

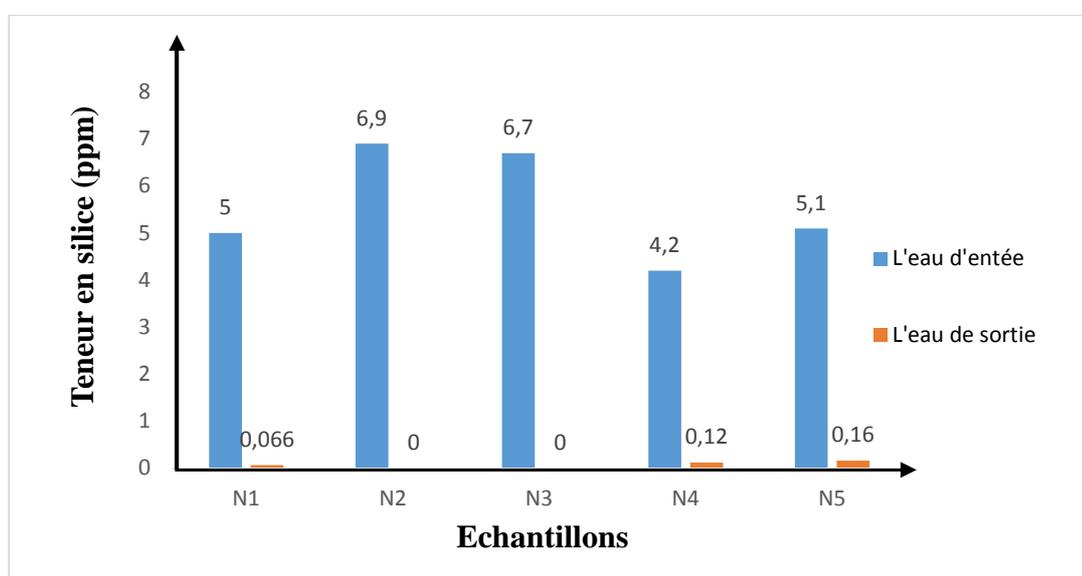


Figure N°21 : Variation de la teneur en silice des eaux analysées à l'entrée et à la sortie de l'unité d'osmose inverse.

D'après les tableaux I et II, On remarque que la concentration en silice à l'entrée est variable, la valeur maximale enregistrée est 6,9 ppm et la valeur minimale est 4,2 ppm avec une moyenne de 5,58ppm. Ces valeurs enregistrées restent inférieures à la norme (<12ppm). A la sortie, on remarque que la teneur en silice est réduite à une moyenne de 0,069 ppm soit une réduction d'environ de 98,3%. Le résultat obtenu est largement inférieur à la norme recommandée (<2ppm), ceci reflète l'efficacité des membranes à retenir la silice.

4-1-11- La teneur en fer

Comme indiqué dans les tableaux I et II, les teneurs en fer à l'entrée d'unité d'osmose inverse sont faibles avec une moyenne de 0,62ppm, cette valeur est inférieure à la norme recommandée (<3ppm). Le traitement de l'eau par l'osmose inverse a permis de réduire la concentration moyenne de fer jusqu'à 0,012ppm (une réduction d'environ de 97,7%). Ces résultats sont conformes aux normes (<0,1ppm).

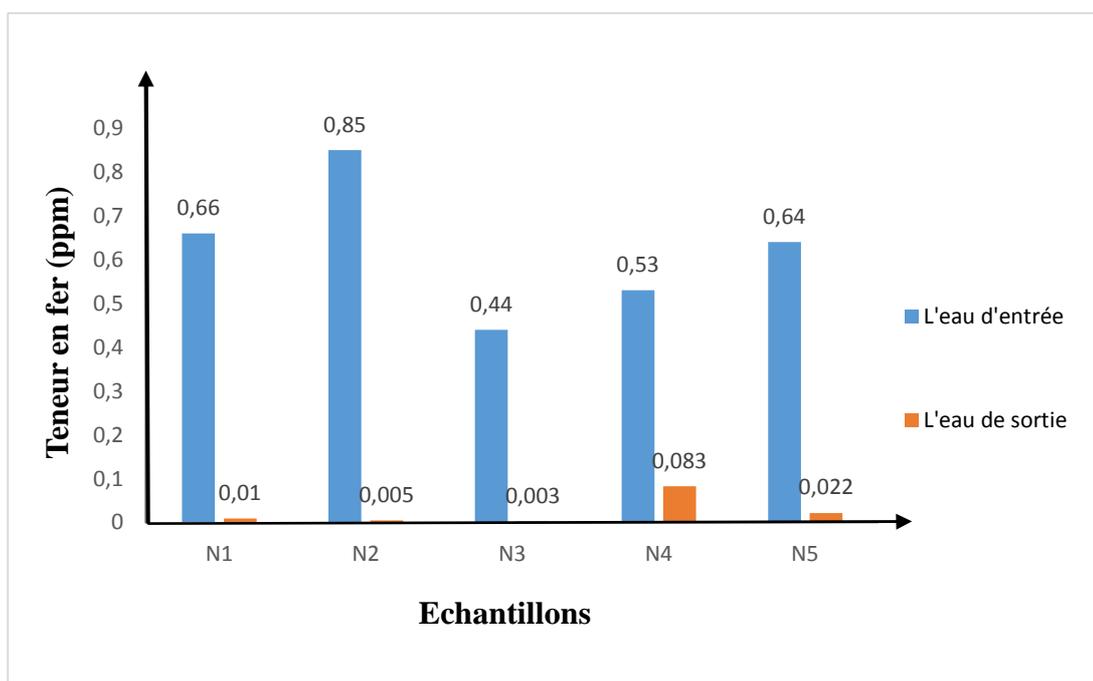


Figure N°22 : Variation de la teneur en fer des eaux analysées à l'entrée et à la sortie de l'unité d'osmose inverse.

Le complexe Cevital est l'une des usines qui consomment une grande quantité d'eau pour les besoins de son activité. L'eau traitée par plusieurs étapes successives de filtration et de purification afin d'obtenir une eau pure qui n'endommage pas leurs installations lors de son passage ou de son utilisation. Ces traitements peuvent être physiques, chimiques et physicochimiques.

Les résultats d'analyses physico-chimiques de l'eau de forage à l'entrée d'unité d'osmose inverse Cevital, nous confirment que ces eaux sont de nature neutre avec un pH moyenne ne dépassant pas 7,44, et de conductivité moyenne de l'ordre de 2407,62 μ s/cm, les titres alcalimétriques (TA, TAC, TH, THCa²⁺) de ces eaux témoignent de leurs absences en ion calcaires, les teneurs en chlore, chlorures, manganèse, aluminium de ces eaux ne dépassent pas les normes recommandées par l'entreprise Cevital. Les résultats obtenus indiquant aussi de faibles valeurs en silice et en fer à l'entrée de l'unité d'osmose inverse. A la sortie des quatre osmoseurs, tous les paramètres analysés (pH, conductivité, TA, TH, TAC, THCa²⁺, chlore, chlorures, manganèse, aluminium, fer, silice) présentent des valeurs faibles et parfois nulles avec une conformité aux normes.

D'après ces résultats obtenus par les différentes analyses physico-chimiques effectuées au cours de notre stage pratique au niveau de l'entreprise Cevital, on conclut que le traitement des eaux par le procédé d'osmose inverse produit une eau osmosée satisfaisante et de bonne qualité.

Ces résultats sont obtenus grâce à la performance des quatre osmoseurs, cette performance s'explique par :

- L'efficacité de l'osmose inverse (OI) et le bon fonctionnement des modules ;
- Le système de prétraitement appliqué ;
- L'entretien et le nettoyage permanent de l'installation.

Pour diminuer le coût de production, il est nécessaire de caractériser les sources de colmatage à long durée, en effectuant une autopsie membranaire pour assurer un prétraitement convenable adapté à la nature du phénomène qui est l'origine du colmatage.

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

- Production d'environ 8000 m³/Jour d'eau osmosée ;
- Couvrir ses besoins en eau de bonne qualité.

En vue de mieux garantir la qualité de l'eau, les différents résultats obtenus nous permettant de formuler les perspectives suivantes :

- Renforcer correctement l'équipement du laboratoire surtout pour l'analyse des métaux lourds et micro polluants organiques ;
- C'est mieux de changer les conduites qui acheminé l'eau de puits de Ibourassen vers les bacs de la station de Cevital pour éviter la formation d'entartage et la corrosion, qui provoque la diminution de diamètre de conduites ;
- Mettre au point une méthode de nettoyage des membranes de l'osmoseur inverse, avec un délai de périodicité plus rapproché (chaque 3 jours au lieu d'une semaine) ;
- Optimiser et prolonger la durée du traitement et du lavage jusqu'à quelques heures.

Références bibliographiques

Alain., M, (1988). Techniques séparatives à membranes : Considérations théoriques, Techniques de l'ingénieurs. Page123.

Alphas., F, (2005). Qualité organoleptique de l'eau de consommation produite et distribuée par l'EDMSA dans la Rille de Bamako. Thèse Doctorat en pharmacie, Université de Bamako. Pages 103-133.

Annik., B et **Michèle L**, (1994). Technique de séparation par membranes : Vocabulaire Français- anglais – allemand avec index. Page 21.

Anonyme, (2019). Edition Larousse.

Aptel., P et **Buckley.,C**, (1996). Catégorie of membrane opération, chapitre 2 du livre Water treatment Membrane processes, AWW A-Research foundation, lyonnaise des eaux, water commission of south Africa, Mc Graw-Hill, New-York.

Beaudry et **H. Tardat**. Chimie des eaux. Edition Grifan d'argile.1984.

Berland., J et **Jurey., C**, (2002). Les procédés membranaires pour le traitement L'eau.

Bouchama., K et **Amer., A**, (2009). Modalisation sous forme d'un Job Shop Multicritère flexible et l'atelier de production des huiles de Cevital-Béjaia. Mémoire d'ingénieure.

Brahmi., M et **Bouras., D**, (2018). Proposition de plans de distribution de marchandise optimaux : cas de l'entreprise Cevital. Mémoire Master, faculté des sciences exactes. Université de Béjaia. Pages 11,14,19.

Carl., O et **Serge., A**, (2018). Technologie ennemies ou complémentaires. Page 41.

Chatkaew., T, (2009). Procédés hybrides à membrane pour prétraitement d'eau de mer avant dessalement par OI. Thèse doctorat. Université de Toulouse. Page 23.

Crini., G et **Batod., M**, (2007). Traitement et épuration des eaux industrielles polluée : procédés membranaires, bio adsorption et oxydation chimique. Page 82- 83.

Dahmani., Z, (2016). Etude computationnelle de la déminéralisation des eaux par Osmose Inverse. Mémoire Master, faculté chimie physique et analytique. Université de Tlemcen.

Degrément. Memento technique de l'eau. 8 Edition. Paris. 1978.

Desjardins., R, (1988). Le traitement des eaux. Edition Ecole de polytechnique, Montréal. Pages 292.

Dore., M, (1989). Chimie des oxydants et traitement de l'eau. Edition Tec et Doc Lavoisier, France. Pages 505.

Elkhebbaz., H, (2008). Traitement des solutions modelés de lait par les membranes de nanofiltration et OI. Thèse doctorat. Rabat.

Gadoum., S et Hamichi., F, (2002). Analyse des eaux de chaudières du complexe Cevital, Mémoire D.E.U.A. Université de Bejaia. Pages 33-34.

Kemmer (1984). Manuel de l'eau Tec et Doc Lavoisier, France 930 pages.

Kharfallah., N et Mohdeb, (2007). Contrôle de fluor, sodium, potassium et les métaux lourds dans les eaux. Mémoire D.E.U.A. Bejaia.

Marillys., M, (2010). Connaissances pédagogiques sur l'eau distribuée et sur la gestion de l'eau en France, d'analyser les comportements des consommateurs et d'analyser le discours des médias.

Maine et Loire, (2015) Observatoire départemental de l'eau.

Maurel., A (2006). Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres et autres procédés non conventionnels en eau douce. 2^{ème} édition.

Metaiche., M, (2014). Technologie membranaire. Thèse doctorat, faculté des sciences st des sciences appliqué. Université de Bouira.

Miomandre., F, (2005). Electrochimique. Paris.

Michel.,G et Pierre.,G, (2003). Qualité de l'eau. Environnement et santé publique - Fondements et pratiques, Paris : Edisem. Page 333.

Léopol., R, (2003). Irrigation, guide pratique. Page 218.

OMS, (2003). Background document for preparation of WHO Guidelines for drinking- water quality. Genève. World Health organization.

ONEMA, (2002). Les agences de l'eau le cycle de l'eau.

Rodier J., et Legube, (2009). L'analyse de l'eau. Dunod (éditeur), Paris, France. 9e édition. Pages 234-293.

SALGHI., R, (2017). Chimie des eaux. Cours première année GPÉE. Ecole National des sciences Appliquées d'Agadir. Maroc. Pages 3,4,5,6,8.

Tristan., R, (2014). Chimie PC /PC* : Un accompagnement au quotidien prépare Scientifique. Page 168-169.

Tardart., M, (1994). La chimie de l'eau. Edition Griffon d'argile, Québec. 130 pages.

Tharreau., V, (2009). Techniques du traitement de l'eau dans les bâtiments. 3ème édition, Paris.

Thebault., P, (1978). « Elimination des matières organiques et des micros- polluants dans les eaux de surface ». Lorraine.

Takabait., F, (2012). Traitement de l'Eau de Forage par Osmose Inverse au Niveau du Complexe Agroalimentaire Cevital. Master mémoire, faculté des Sciences Exactes. Université de Béjaïa. Pages 1,2,3.

Wegner., J et Bauer , (2010). Science et technologie des aliments, Principes de chimie des constituants et de technologie des procédés. Page 501.

Ztouche., A et Bouakkaz., S, (2012). Etude et redimensionnement du tableau général basse tension de l'unité osmose Cevital, Mémoire d'ingénieur, Bejaïa. Pages 55.

ANNEXES

Définitions

Nappes phréatiques

La nappe phréatique est une masse d'eau contenue dans les fissures du sous-sol ; elle est accessible généralement par le puit ou par le forage. Elle alimente traditionnellement les puits et les sources en eau potable.

Produits biocide

Le mot biocide (étymologiquement : bio + cide « qui tue la vie ») désigne une large famille de substances chimiques qui regroupe les pesticides, les anti-parasitaires et les antibiotiques à usages médicaux, vétérinaires, domestiques ou industriels, les désinfectants de l'eau, de l'air, des sols, surfaces de travail, etc.

Produits séquestrants

Les séquestrants, sont, au sens chimique, des ligands qui forment des complexes chimiques avec les ions métalliques, tels que le cuivre, le fer et le nickel, qui servent comme catalyseurs dans l'oxydation des matières grasses. Les séquestrants limitent donc la disponibilité de ces cations.

Les séquestrants sont donc en quelque sorte des agents conservateurs et des antioxydants. Les séquestrants communs sont :

- Acide éthylène-diamine-tétraacétique (C₁₀H₁₆N₂O₈).
- Acétate de sodium (CH₃COONa).

Degré français :

Il est encore en usage en France pour exprimer les concentrations des principaux ions d'une eau et correspond à la concentration d'une solution N/5000.

$$1\text{meq.L-1} = 5^{\circ}\text{F}$$

Résumé

Ce travail a porté sur l'étude des analyses physico-chimiques de l'eau de process au niveau de l'unité d'osmose inverse du complexe agroalimentaire Cevital de Bejaia.

Les paramètres physico-chimiques étudiés ont permis de confirmer que l'eau osmosée obtenus à la sortie d'unité d'osmose inverse est de bon qualité, ils répondent aux exigences de l'entreprise Cevital. Ceci est expliqué par le bon fonctionnement des membranes et modules et l'efficacité de système de prétraitement appliqué.

Les résultats d'analyses physico-chimiques de l'eau de forage à l'entrée d'unité d'osmose inverse Cevital, nous confirment que ces eaux sont de nature neutre avec un pH moyenne ne dépassant pas 7.44, et de conductivité moyenne de l'ordre de 2407.62 μ s/cm, les titres alcalimétriques (TA, TAC, TH, THCa²⁺) de ces eaux témoignent de leurs absences en ion calcaires, les teneurs en chlore, chlorures, manganèse, aluminium de ces eaux ne dépassent pas les normes recommandées par l'entreprise Cevital. Les résultats obtenus indiquant aussi de faibles valeurs en silice et en fer à l'entrée de l'unité d'osmose inverse. A la sortie des quatre osmoseurs, tous les paramètres analysés (pH, conductivité, TA, TH, TAC, THCa²⁺, chlore, chlorures, manganèse, aluminium, fer, silice) présentent des valeurs faibles et parfois nulles avec une conformité aux normes.

Mots clés : Eau, osmose, osmose inverse, membrane, analyses, traitement, procédés, paramètres physico-chimiques.

Summary

This work focused on the study of physicochemical analyzes of process water at the reverse osmosis unit of the Cevital food complex in Bejaia.

The physico-chemical parameters studied have confirmed that the osmosis water obtained at the outlet of the reverse osmosis unit is of good quality, they meet the requirements of the Cevital company. This is explained by the good functioning of the membranes and modules and the efficiency of the applied pretreatment system.

The results of physico-chemical analyzes of the drilling water at the inlet of the Cevital reverse osmosis unit, confirms that these waters are neutral in nature with an average pH not exceeding 7.44, and an average conductivity of the order of 2407.62 μ s / cm, the alkalimetric titers (TA, TAC, TH, THCa²⁺) of these waters testify to their absence of calcareous ions, the chlorine, chlorides, manganese and aluminum contents of these waters do not exceed the standards recommended by Cevital. The results obtained also indicate low values of silica and iron at the inlet of the reverse osmosis unit. On leaving the four osmosis units, all the parameters analyzed (pH, conductivity, TA, TH, TAC, THCa²⁺, chlorine, chlorides, manganese, aluminum, iron, silica) show low and sometimes zero values with compliance with standards.

Key words : Water, osmosis, reverse osmosis, membrane, analyzes, treatment, processes, physico-chemical parameters.