

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université A. MIRA – BEJAIA



Faculté de Technologie
Département de Génie des Procédés



MEMOIRE DE FIN DE CYCLE

En vue de l'obtention du diplôme de Master en Génie des Procédés

Option

Génie chimique

Thème

Analyses physico-chimiques des eaux issues du processus d'osmose inverse – déionisation de l'entreprise agroalimentaire CEVITAL

Présenté par:

M^{elle} LAHBAS Zoulikha

M^{elle} HARFOUCHE Salima

Membres du jury:

M^{me} K. IKKOUR

Maître de conférences

Examinatrice

M^{me} N. BRINIS

Maître de conférences

Examinatrice

M^{me} H. TIGHIDET

Maître de conférences

Encadreur

2021-2022

Remerciements

Nous commencerons par remercier et rendre grâce à Dieu le tout puissant pour nous avoir donné le courage et la volonté de mener à bon terme ce travail.

Nous tenons à remercier vivement et chaleureusement notre promotrice Madame H. TIGHIDET, encadreur de ce mémoire, pour nous avoir soutenu tous le long du travail, en lui témoignant notre reconnaissance pour son caractère sérieux, sa patience et ses conseils.

Nous remercions les membres du jury pour nous faire l'honneur d'examiner notre travail, notamment Dr. K. IKKOUR et Dr. N. BRINIS.

Nos vifs remerciements vont également à toute l'équipe du laboratoire de production au niveau de CEVITAL pour leur sympathie et leur suivi.

Nous remercions le chef du département de Génie chimique et tous les enseignants.

Un grand merci à tous ceux et celles ayant contribué de près comme de loin à l'aboutissement de ce modeste travail.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail

*A mes 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 sera exprimer l'amour, l'estime et le respect que j'ai pour vous.*

*A mon mari **Walid** pour ces conseils et son encouragement ;*

*A mes chers frères, **Abdenour** et **Salim** ;*

*A ma chère sœur **Djamila** et son mari ;*

*A mes adorables nouveaux **Aylane** et **Zakaria** ;*

*A celle avec qui j'ai partagé ce travail : **ZOULIKHA** et toute sa famille ;*

A mes cousines, mes copines, mes voisines ;

Et à toutes les personnes qui m'ont aidé de près ou de loin à réaliser ce travail.

H. Salima

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail

A mes 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 sera exprimer l'amour, l'estime et le respect que j'ai pour vous.

A mes chers frères, Djamel et Farid et Sofiane ;

A ma chère sœur Fairouz et son mari et Ses enfants céline et syphax ;

A celle avec qui j'ai partagé ce travail : Salima et toute sa famille ;

A mes cousines, mes copines, mes voisines ;

Et à toutes les personnes qui m'ont aidé de près ou de loin à réaliser ce travail.

L. ZOULIKHA

*Table de
matières*

Table de matières

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction générale.....1

Chapitre I : Présentation de l'entreprise CEVITAL

I.1. Présentation de la région de Bejaia.....3

I.2. Présentation du complexe agroalimentaire CEVITAL.....3

I.3. Mission et objectifs.....5

I.4. Principaux pôles de l'entreprise de Bejaia.....5

I.5. Production d'eau de process au niveau de l'entreprise.....5

 I.5.1 Source d'alimentation en eau de l'entreprise.....5

 I.5.2 Besoins en eau de l'entreprise.....6

I.6. Présentation et structuration du complexe.....7

 I.6.1 Direction générale.....7

 I.6.2 Direction logistique.....7

 I.6.3 Direction commerciale.....7

 I.6.4 Direction des finances et comptabilité (D.F.C).....7

 I.6.5. Direction des ressources humaines (D.R.H).....7

 I.6.6 Direction des silos.....8

 I.6.7 Laboratoires.....8

Chapitre II : Généralités sur les eaux

II.1. Introduction.....9

II.2. Définition de l'eau.....9

II.3. Différents types d'eaux.....10



Table de matières

Π.3.1. Eau de pluie.....	10
Π.3.2. Eau de surface.....	10
Π. 3.2.1. Eau de rivières « Partie amont »	10
Π.3.2.2. Eau de rivières « Partie avale ».....	10
Π.3.3. Eau de lac.....	11
Π.3.4. Eau de mer.....	11
Π.3.5. Eaux souterraines.....	11
Π.4. Propriétés de l'eau.....	12
Π.4.1. Propriétés organoleptique.....	12
Π.4.1.1. Turbidité.....	12
Π.4.1.2. Couleur.....	12
Π.4.1.3. Gout et saveur.....	12
Π.4.2. Propriétés physico-chimiques de l'eau.....	13
Π.4.2.1. Propriétés physiques.....	13
Π.4.2.1.1. Potentiel hydrogène PH.....	13
Π.4.2.1.2 Conductivité électrique.....	13
Π.4.2.1.3 Température.....	13
Π.4.2.1.4. Masse volumique.....	14
Π.4.2.1.5. Matières en suspension (MES).....	14
Π.4.2.2. Propriétés chimiques	14
Π.4.2.2.1. Pouvoir solvant.....	14
Π.4.2.2.2. Ionisation.....	14
Π. 4.2.2.3. Oxydation.....	14
Π.4.2.2.4. Dureté (TH).....	15

Table de matières

Π.4.2.2.5. Alcalinité.....	15
Π.4.2.2. 6. Alcalinité à la phénophtaléine (titre alcalimétrique TA).....	15
Π.4.2.2.7. Titre alcalimétrique complet TAC.....	15
Π.4.2.2.8. Solubilité des gaz dans l'eau.....	16
Π.4.4. Composition de l'eau en Cations et anions.....	16
Π.4.4.1. Calcium (Ca^{2+}).....	16
Π.4.4.2. Magnesium (Mg^{2+}).....	16
Π.4.4.3. Chlorure (Cl^-).....	16
Π.4.4.4. Silice (SiO_2).....	17
Π.4.4.5. Fer.....	17
Π.4.4.6. Chlore (Cl_2).....	17
Chapitre III : Traitement des eaux par osmose inverse	
III.1. Introduction.....	18
III.2. Définition de l'eau ultra-pure.....	18
III.3. Osmose inverse.....	18
III.3.1. Principe.....	19
III.3.2. Système d'osmose inverse.....	20
III.3.3. Utilisation de l'eau osmosée.....	20
III.3.4. Avantages et inconvénients du procédé.....	20
III.3.5. Traitement par les séparations membranes.....	21
a. Microfiltration (MF).....	23
b. Ultrafiltration (UF).....	23
c. Nanofiltration (NF).....	23
III.4. Etapes d'osmose inverse.....	24

Table de matières

III.4.1. Système de stérilisation et de régénération du dioxyde de manganèse.....	24
III.4.2. Préfiltration avec filtres à sable.....	24
III.4.3. Réservoir de stockage de l'eau filtrée.....	24
III.4.4. Groupe de déchloration.....	25
III.4.5. Groupe de dosage de produit séquestrant.....	25
III.4.6. Groupe de Dosage de produit biocides.....	25
III.4.7. Filtre à cartouche.....	25
III.4.8. Contre lavage.....	26
*Première phase.....	26
*Deuxième phase.....	26
III.4.9. Lavage sur place (CIP).....	26
III.5. Problèmes de l'osmose inverse.....	26
III.5.1. Colmatage.....	27
III.5.2. Entartrage.....	27
III.5.3. Corrosion.....	28
III.6. Contrôle de qualité de l'eau ultra-pure.....	28
III.7. Utilisation de l'eau osmosée.....	29
III.8. Electrodéionisation.....	30
III.8.1. Analyses des procédés d'électrodéionisation.....	30
III.8.2. Applications potentielles.....	30
III.9. Cogénération.....	31
Chapitre IV : Matériels et technique expérimentales	
IV.1. Introduction.....	32
IV.2. Méthodes conductimétriques.....	32

Table de matières

IV.2.1. Potentiel d'hydrogène PH.....	32
IV.2.1.1. Définition.....	32
IV.2.1.2. Principe.....	32
IV.2.1.3. Matériels.....	32
IV.2.1.4. Mode opératoire.....	32
IV.2.2. Conductivité.....	33
IV.2.2.1. Définition	33
IV.2.2.2. Principe.....	33
IV.2.2.3. Matériels.....	33
IV.2.2.4. Mode opératoire.....	33
IV.3. Méthodes titrimétriques (TH-TA-TAC).....	34
IV.3.1. Titre hydrotimétrique total (TH).....	34
IV. 3.1.1. Définition.....	34
IV.3.1.2. Principe.....	34
IV.3.1.3. Réaction chimique.....	34
IV.3.1.4. Matériels.....	34
IV.3.1.5. Réactifs.....	34
IV.3.1.6. Mode opératoire.....	34
IV.3.1.7. Expression des résultats.....	34
*Dureté calcique Ca^{2+}	34
*Réactifs.....	34
*Mode opératoire.....	35
*Expressions des résultats.....	35
IV.3.2. Titre alcalimétriques (TA).....	36

Table de matières

IV.3.2.1. Définition	36
IV.3.2.2. Principe.....	36
IV.3.2.3. Réaction chimique.....	36
IV. 3.2.4. Matériels.....	36
IV.3.2.5. Réactifs.....	36
IV.3.2.6. Mode opératoire.....	36
IV.3.2.7. Expressions des résultats.....	37
IV.3.3. Titre alcalimétrique complet (TAC).....	37
IV. 3.3.1. Définition.....	37
IV.3.3.2. Principe.....	37
IV.3.3.3. Réaction chimique.....	37
IV.3.3.4. Matériels.....	37
IV.3.3.5. Réactifs.....	38
IV.3.3.6. Mode opératoire.....	38
IV. 3.7. Expressions des résultats.....	38
IV.4. Dosage des chlorures.....	39
IV.4.1. Principe.....	39
IV.4.2. Réaction chimique des chlorures.....	39
IV.4.3. Matériels.....	39
IV.4.4. Réactifs	39
IV.4.5. Mode opératoire.....	39
IV.4.6. Expressions des résultats.....	40
IV.5. Méthodes spectrophotométriques.....	40
IV.5.1. Le silice.....	40

Table de matières

IV.5.1.1. Définition.....	40
IV.5.1.2. Principe.....	41
IV.5.1.3. Matériels.....	41
IV.5.1.4. Réactifs.....	41
IV.5.1.5. Mode opératoire.....	41
IV.5.2. Chlore libre.....	41
IV.5.2.1. Définition.....	41
IV.5.2.2. Principe.....	41
IV.5.2.3. Matériels.....	42
IV.5.2.4. Réactifs.....	42
IV.5.2.5. Mode opératoire.....	42
IV.5.3. Manganèse.....	42
IV.5.3.1. Définition.....	42
IV.5.3.2. Principe.....	42
IV.5.3.3. Matériels.....	42
IV.5.3.4. Réactifs.....	42
IV.5.3.5. Mode opératoire.....	43

Chapitre V : Résultats et discussion

V.1. Introduction.....	44
V.2. Potentiel d'hydrogène (pH).....	44
V.2.1. Résultats.....	44
V.2.2. Discussion.....	46
V.3. Conductivité.....	46
V.3.1. Résultats.....	46

Table de matières

V.3.2. Discussion.....	48
V.4. Titre hydrotimétrique total TH (dureté totale).....	48
V.4.1. Résultats.....	48
V.4.2. Discussion.....	50
V.5. Titre hydrotimétrique calcique TH _{ca}	50
V.5.1. Résultats.....	50
V.5.2. Discussion.....	52
V.6. Titre alcalimétrique (TA).....	52
V.6.1. Résultats.....	52
V.6.2. Discussion.....	54
V.7. Titre alcalimétrique complet (TAC).....	54
V.7.1. Résultats.....	54
V.7.2. Discussion.....	55
V.8. Teneur en chlorure Cl ⁻	56
V.8.1. Résultats.....	56
V.8.2. Discussion.....	57
V.9. Teneur en silice SiO ₂	57
V.9.1. Résultats.....	57
V.9.2. Discussion.....	58
V.10. Teneur chlore libre Cl ₂	59
V.10.1. Résultats.....	59
V.10.2. Discussion.....	60
V.11. Teneur en manganèse Mn.....	60
V.11.1. Résultats.....	60

Table de matières

V.11.2.Discussion.....	62
Conclusion générale	63
Références bibliographiques	

Liste d'abréviation

OI : Osmose inverse.

EDI : Électrodionisation.

SPA : Société par action.

UT : Unité de turbidité.

UCV : Unité de coloration vraie.

MES : Matières en suspension.

Ppb : Partie par billion.

UF : Ultrafiltration.

CIP : Cleaning In Place.

SBT : Surchauffeur Basse température.

SHT : Surchauffeur haute température.

ED : Electrodialyse conventionnelle.

ECS : Eau chaude sanitaire.

NET : Noire Erichrome T.

EDTA : Ethyl diamine tétra acétique.

DPD : Déficit pression de diffusion.

CEDI : Electrodéionisation en Continu.

TD-ASCAL : La séquestrant.

TK101 : Bac des eaux osmosés.

°F : Degré français.

TH : Titre hydrométrique totale.

TA : Titre alcalimétrique .

TH_{ca} : Titre hydrométrique.

Liste des abréviations

TAC : Titre alcalimétrique complet.

ADE : Algérienne des eaux.

Liste des figures

Chapitre I :

Figure I.1 : L'entrée de complexe de CEVITAL Bejaia

Figure I.2 : Consommation d'eau de forage et d'ADE au niveau de CEVITAL

Figure I.3 : Consommation d'eau osmosées au niveau de CEVITAL

Figure I.4 : Cycle d'eau dans CEVITAL

Chapitre II :

Figure II.1 : Principe d'osmose et d'osmose inverse

Figure II.2 : Photographie des lignes d'osmose inverse à CEVITAL

Figure II.3 : Face externe des membranes utilisées au niveau de CEVITAL

Figure II. 4 : Structure interne d'une membrane

Figure II. 5 : Face externe des filtres à cartouches utilisées au niveau de CEVITAL

Figure II. 6 : Processus général de traitement de l'eau par osmose inverse

Chapitre IV :

Figure IV. 1 : Conductimètre et PH-mètre

Figure IV. 2 : Dosage de la dureté totale

Figure IV. 3 : Dosage de la dureté calcique

Figure IV.4 : Titration du TH, TA et TAC

Figure IV. 5 : Appareil NANOCOLOR UV/VIS

Chapitre V :

Figure V. 1 : Ph des eaux de process de l'unité de CEVITAL

Figure V. 2 : Conductivité des eaux de process de l'unité de CEVITAL

Figure V. 3 : La dureté totale (TH) des eaux de process de l'unité de CEVITAL

Figure V. 4 : Dureté calcique des eaux de process de l'unité de CEVITAL

Liste des figures

Figure V. 5 : TAC des eaux de process de l'unité de CEVITAL

Figure V. 6 : Concentration des ions chlorures des eaux de process de l'unité de CEVITAL

Figure V. 7 : Concentration de la silice des eaux de process de l'unité de CEVITAL

Figure V. 8 : Concentration en chlore libre des eaux de process de l'unité de CEVITAL

Figure V. 9 : Concentration en manganèse des eaux de process de l'unité de CEVITAL

Liste des Tableaux

Tableau II. 1 : Les substances existantes dans une eau brute

Tableau V.1 : Suivi du pH des différentes eaux de process de l'unité de CEVITAL.

Tableau V.2 : Suivi de la conductivité des différentes eaux de process de l'unité de CEVITAL.

Tableau V. 3 : Suivi du titre hydrotimétrique (TH) des différentes eaux de process de l'unité de CEVITAL

Tableau V.4 : Suivi du titre calcique des différentes eaux de process de l'unité de CEVITAL.

Tableau V. 5 : Suivi du titre alcalimétrique (TA) des différentes eaux de process de l'unité de CEVITAL

Tableau V.6 : Suivi du titre alcalimétrique complet (TA) des différentes eaux de process de l'unité de CEVITAL.

Tableau V.7 : Suivi de la concentration en ions chlorures des différentes eaux de process de l'unité de CEVITAL.

Tableau V.8 : Suivi de la concentration de la silice des différentes eaux de process de l'unité de CEVITAL.

Tableau V.9 : Suivi de la concentration en ions chlorures des différentes eaux de process de l'unité de CEVITAL.

Tableau V.10 : Concentration en manganèse des différentes eaux de process de l'unité de CEVITAL.

Introduction

générale

Introduction générale

L'eau est vitale pour tous les êtres vivants. Elle couvre les trois quarts de la surface terrestre et environ les deux tiers du corps humain [1]. C'est une composante majeure du règne minéral et organique. Dans le monde présent, l'eau participe à toutes les activités quotidiennes domestiques, industrielles et agricoles, ce qui la rend un élément récepteur exposé à tous les genres de pollution.

Pendant les dernières années, les recherches se sont centrées sur le développement de nouvelles technologies de traitement de l'eau, dont plusieurs types de procédés ont démontré être d'une grande valeur, tel est le cas de l'osmose inverse (OI) et de l'électrodéionisation (EDI) [2].

Les procédés d'obtention d'eau de très haute pureté font parties des nouvelles technologies qui peuvent jouer un rôle important. Ils permettent la production d'eau destinée, soit à la consommation humaine (dessalement de l'eau), soit aux industries qui consomment de l'eau de pureté contrôlée dans leur chaîne de production (industries agroalimentaires, pharmaceutique,...etc.) ou aussi pour autre usage notamment le nettoyage des installations [2].

Le présent travail est axé sur le traitement des eaux par le procédé combiné : osmose inverse – électrodéionisation. Les étapes de traitement, en partant de l'eau de forage jusqu'à l'obtention de l'eau ultrapure, ont été suivies par des analyses physicochimiques des échantillons d'eaux prélevés durant le process. L'étude a été faite au niveau du complexe agroalimentaire CEVITAL.

Au cours de notre stage, nous avons pour objectif de déterminer l'efficacité de l'osmose inverse dans l'élimination des sels minéraux contenus dans les eaux de forage. Pour ce faire, nous avons effectué un suivi physico-chimique des eaux d'alimentation et des eaux osmosées sur quatre échantillons à différent moment de la journée.

L'essentiel de ce manuscrit est structuré comme suit :

- Une présentation globale de l'entreprise CEVITAL sera développée, dans un premier chapitre, dans laquelle seront donnés les objectifs, les principaux pôles, la production et les principaux défis relevés

Introduction générale

- La deuxième partie de ce travail est une étude bibliographique sur la qualité des eaux, ses différents types, ses propriétés, ses caractéristiques ainsi que le contrôle de sa qualité.
- Dans le troisième chapitre sera décrit les procédés utilisés pour la production d'eau ultrapure, la technique électro-membranaire suivie du contrôle du colmatage.
- Le quatrième chapitre est dédié à la mise en œuvre expérimentale où sont présentées toutes les analyses physico-chimiques appliquées aux différentes eaux de process.
- Le dernier chapitre est un résumé des résultats obtenus ainsi que leur discussion.

Nous terminons notre travail par une conclusion générale.

Chapitre I :
Présentation de
l'entreprise CEVITAL

Chapitre I

Présentation de l'entreprise CEVITAL

I.1. Présentation de la région de Bejaia :

La wilaya de Bejaia est située sur la frange sud de la méditerranée et au centre de la frange du littoral de l'Afrique du nord. Cette très belle ville se situe en bordure de la mer, à 230 km à l'Est d'Alger. Elle s'étend sur une superficie de 3261,26 km et s'ouvre sur la mer Méditerranée avec une façade maritime de plus de 100 km. Elle est le chef-lieu éponyme de la wilaya de Bejaia et l'une des plus grandes villes de la Kabylie. Du fait de sa situation géographique, elle est également le plus important pôle industriel de la région concentrant de nombreuses industries grâce à la présence d'un des plus grands ports pétrolier et commercial d'Algérie.

I.2. Présentation du complexe agroalimentaire CEVITAL :

CEVITAL représente une grande force industrielle et économique africaine. Elle est parmi les entreprises algériennes qui ont vu le jour dès l'entrée de notre pays en économie du marché. C'est une société par action (SPA), d'un montant de 250000000 DA. Elle a été créée par des fonds privés en 1998. Son complexe de production se situe au niveau du port de Bejaia et s'étend sur une surface de 131785 m² dont la superficie est de 78386,19 m². Grâce à cet emplacement stratégique, le complexe occupe une place importante dans l'économie locale et nationale.

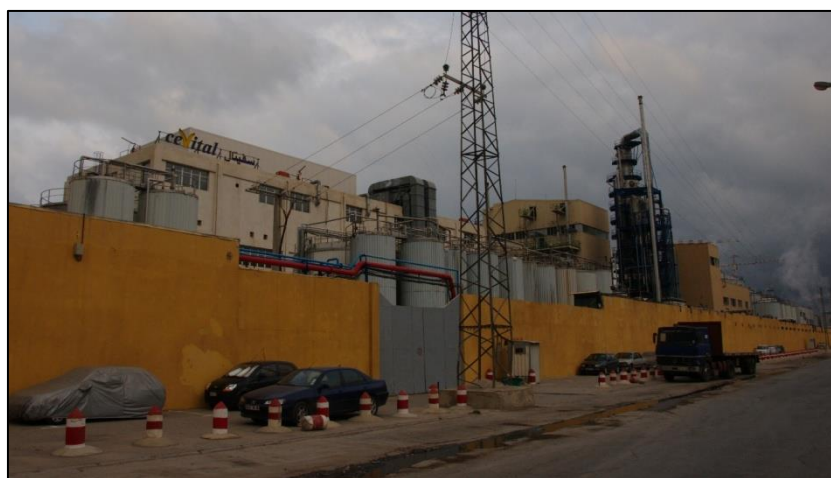


Figure I.1 : L'entrée du complexe de CEVITAL Bejaia.

Présentation de l'entreprise CEVITAL

L'évolution de l'entreprise au cours de ces dernières années, depuis sa création, est comme suit :

1999 : Entrée en production de la raffinerie d'huile et lancement de la 1^{ère} marque d'huile de table de haute qualité, 100% tournesol « FLEURIAL » ;

2001 : Entrée en production de la margarinerie et lancement de la 1^{ère} marque de margarine de table : « FLEURIAL » ;

2003 : Entrée en production de la raffinerie de sucre (sucre blanc cristallisé aux normes de l'union Européenne) ; lancement de la margarine de feuilletage « La parisienne », pour les boulangeries pâtisseries ;

2005 : Lancement de trois nouveaux projets dont deux sur le site de LARBAA (verre plat ; fabrication industrielle de produits manufacturés en béton), et l'acquisition des eaux minérales LALLA KADIDJA.

2006 : Installation de l'unité de cogénération.

CEVITAL est une Agro-Industrie qui contribue largement au développement de l'industrie agroalimentaire national et vise à s'imposer dans le marché national et international, notamment en Europe, au Maghreb, au moyen Orient et en Afrique de l'Ouest. Aujourd'hui, CEVITAL Agro-industrie est le plus grand complexe privé en Algérie. Ses outils de production se répartissent comme suit :

- La raffinerie d'huile, avec une capacité de production de 1800tonne/jour ;
- La margarine et graisse végétales, avec une production de 1600 tonne/jour ;
- Deux raffineries du sucre, avec une capacité de production de 500 tonne/jour ;
- Une raffinerie de sucre d'une capacité de production de 3000tonne/jour ;
- Une unité de production du sucre liquide, avec une capacité de Production de 600 tonne/jour
- Boissons (eau minérale, boissons fruitées) : L'eau minérale « LALLA KHADIDJA » avec une capacité de production de 3,000,000 bouteilles/jour, boissons fruitées « TCHINA » d'une capacité de production de 600,000 bouteilles par heure.
- Conserverie :de tomates et de confiture avec une capacité de production de 8 tonne/jour.
- Silos portuaire : 182,000 tonnes.
- Terminal de déchargement portuaire : 2,000 tonne/heure, le plus important du bassin Méditerranée.

I.3. Mission et objectifs :

L'entreprise a pour principales missions :

- ✓ Le développement de la production et assurer la qualité et le conditionnement des huiles, des margarines et de sucre ;
- ✓ L'extension de ses produits sur tout le territoire national ;
- ✓ L'importation de graines oléagineuses pour l'extraction directe des huiles brutes ;
- ✓ L'optimisation de ses offres d'emploi sur le marché du travail ;
- ✓ L'encouragement des agriculteurs par des financements pour la production locale de graines oléagineuse ;
- ✓ La modernisation de ses installations en termes de machine et technique pour augmenter le volume de sa production ;
- ✓ Le positionnement de ses produits sur le marché étranger par leur exportation.

I.4. Principaux pôles de l'entreprise au niveau du pôle de Bejaia :

Le site du CEVITAL de Bejaia est composé de deux principaux pôles :

- Le pôle sucre : Il est composé de la direction de sucre solide et de la direction de sucre liquide. Il assure la mise en œuvre et le pilotage du processus technique de raffinage du sucre.
- Le pôle corps gras : Il est composé de trois sous directions : la direction raffinage d'huile, la direction margarinerie et la direction conditionnement d'huile. Ces pôles de stockage et du raffinage se charge de la mise en œuvre du processus de production. En effet, il veille au respect des paramètres de production de la margarine, de la fabrication des emballages et de la mise en bouteille de l'huile raffinée. Il fonctionne en continue (24/24) en trois équipes (3*8h).

I.5. Production d'eau de process au niveau de l'entreprise :

I.5.1. Source d'alimentation en eau de l'entreprise :

Au niveau de CEVITAL, l'eau utilisée provient par deux principales sources :

- ✓ La première source est une eau de forage issue d'un puits situé à IBOURASSEN, environ 12 Km du complexe à OUED GHIR (Bejaia). Cette source est composée de trois puits ouverts. Chaque puits possède une pompe 40m de profondeur ce qui envoie environ (9000-10000) m³/jour.

Présentation de l'entreprise CEVITAL

- ✓ La deuxième source située au niveau de TICHY-HAFF (Bejaia) sous forme d'un barrage d'eau qui envoi, après traitement, un débit d'environ 4000 m³/jour (Manuel du complexe CEVITAL).

I.5.2. Besoins en eau de l'entreprise :

L'eau brute utilisée est une eau de forage issue d'un puits artésien situé à IBOURASSEN (Bejaia). Cette eau subit une déminéralisation au niveau de l'osmose inverse et un traitement thermique et chimique au niveau de la chaufferie et de la cogénération pour une production de la vapeur d'eau et de gaz carbonique. Ces derniers sont utilisés dans les raffineries de sucre, la raffinerie d'huile et la margarinerie (Figures 2 et 3).

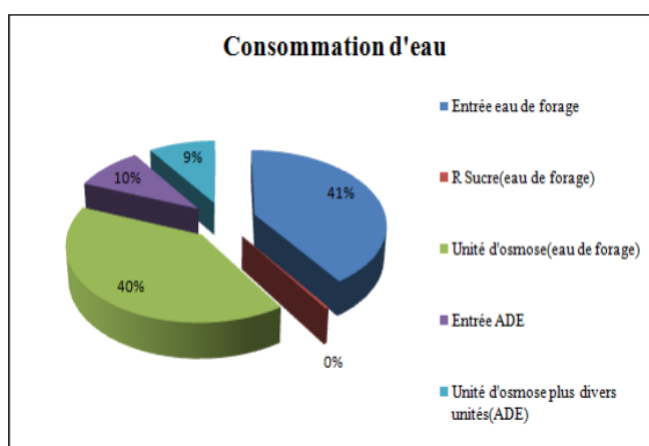


Figure I.2 : Consommation d'eau de forage et d'ADE au niveau de CEVITAL.

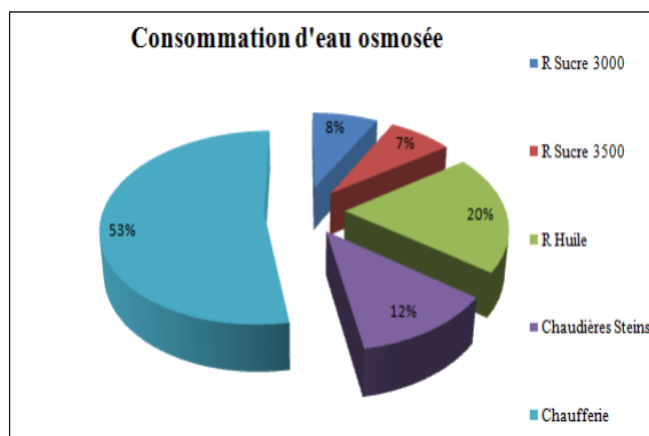


Figure I.3 : Consommation d'eau osmosées au niveau de CEVITAL.

I.5.3. Cycle d'eau dans l'entreprise CEVITAL :

Le cycle de l'eau au niveau de CEVITAL s'effectue depuis la source (forage, ADE) jusqu'à la production d'une eau ultra pure en passant par la chaîne de traitement (forage + ADE, Osmose, chaufferie et cogénération) (figure I.4).

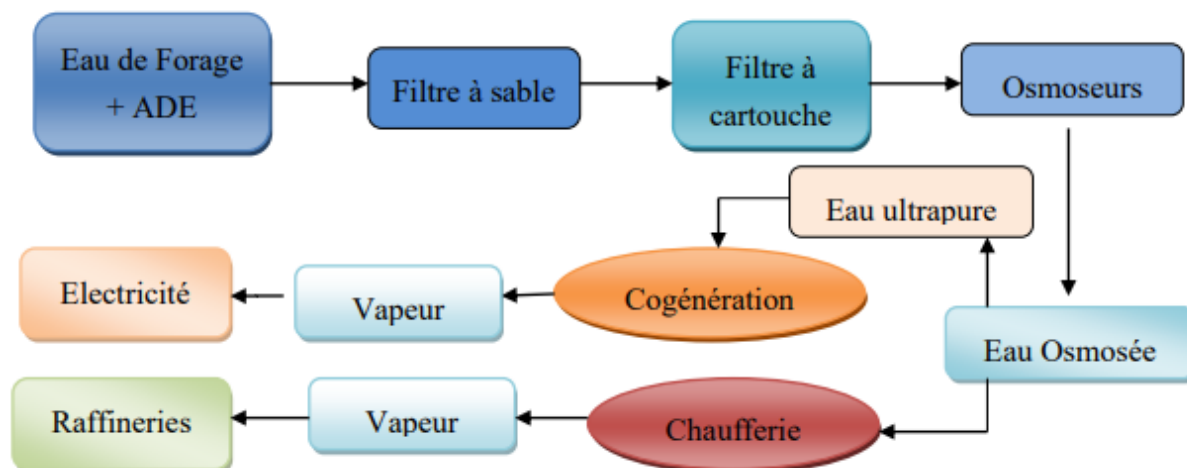


Figure I.4. : Cycle d'eau dans CEVITAL.

I.6. Présentation et structuration du complexe [3]:

I.6.1. Direction générale :

C'est un organe constitué d'un directeur général, d'un directeur adjoint et d'un secrétariat chargé de s'assurer du bien-être de son personnel, ainsi que de leurs efforts et de leurs sérieux. Sa mission est de combiner entre les différentes directions, de motiver le personnel, de gérer, de contrôler et de décider.

I.6.2. Direction logistique :

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

I.6.3. Direction commerciale :

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

I.6.4. Direction des finances et 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 Les différents bilans annuels, etc.

I.6.5. Direction des ressources humaines (D.R.H) :

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

I.6.6. Direction des silos :

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

I.6.7. Laboratoires :

Ils servent à contrôler et à analyser les matières premières et les produits finis avant leurs commercialisations.

Parmi les nombreux laboratoires dont disposent le complexe industriel de CEVITAL, le laboratoire d'analyse des eaux. Dans celui-ci sont effectués les analyses et les contrôles des eaux en provenance des différentes unités, de sorte à s'assurer de la bonne qualité des eaux depuis la source (eau de forage) jusqu'à l'obtention d'une eau ultra pure.

Les échantillons analysés proviennent donc des unités suivantes :

- Eau de forage ;
- Eaux de l'unité d'osmose inverse ;
- Eaux de l'unité ultra pure ;
- Eaux de la chaufferie et de cogénération ;
- Eaux de circuit de refroidissement.

Chapitre II :
Généralités sur les
eaux

Chapitre II

Généralités sur les eaux

II. 1. Introduction :

L'eau est un fluide indispensable à la vie et très largement répandue à la surface de la terre [4]. C'est un facteur de production déterminant dans le développement et devient de plus en plus au centre des intérêts stratégiques [5].

L'eau a des propriétés exceptionnelles. Celles-ci sont surtout liées à la nature bipolaire de la molécule d'eau. En effet, l'eau est chargée négativement du côté de l'oxygène et positivement du côté de ses hydrogènes. Une conséquence importante de la bipolarité de la molécule d'eau est l'attraction de l'hydrogène d'une molécule d'eau par l'oxygène d'une autre molécule d'eau. Cette attraction est plus connue sous le nom de « liaison hydrogène ». Ce phénomène entraîne une forte cohésion intermoléculaire. L'énergie requise pour détruire les liaisons hydrogènes, et passer de l'état liquide à l'état gazeux, est donc très importante. Pour cette raison, l'eau représente un moyen efficace de transférer de l'énergie, propriété très utile pour de nombreuses installations industrielles [6].

II.2. Définition de l'eau :

Dans le langage courant, l'eau est un élément essentiel à la vie. Pour ceux qui ont un minimum de culture scientifique, l'eau a pour formule H_2O , c'est-à-dire que sa molécule est formée d'hydrogène et d'oxygène [7].

L'eau n'est pas seulement un ensemble de molécule de H_2O (2atomes d'hydrogène et un atome d'oxygène) mais contient en réalité naturellement une très grande variété des matières dissoutes, inertes ou vivantes : des gaz, des substances minérales ou organismes, des microorganismes (bactéries, virus, planctons) ainsi que des particules en suspension (fines particules d'argiles, limons et déchets végétaux) [5].

L'eau est un liquide transparent, incolore et insipide. C'est un corps composé qui bout à $100^{\circ}C$ à la pression atmosphérique et se solidifié à $0^{\circ}C$. 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) [8].

II.3. Différents types d'eaux

II.3.1. Eau de pluie :

Les eaux de pluie sont des eaux de bonne qualité pour l'alimentation humaine. Elles sont saturées d'oxygène et d'azote et ne contiennent aucun sel dissous, comme les sels de magnésium et de calcium.

Elles sont très douces dans les régions industrialisées et peuvent être contaminées par des poussières atmosphériques [9].

II.3.2 Eau de surface :

Les eaux de surface sont toutes des eaux circulantes ou stagnantes à la surface des continents. On peut y accéder facilement mais elles se polluent rapidement et aisément à cause de l'activité humaine [4]. On peut répartir les eaux de surface en trois catégories : eaux de rivières (partie amont), eaux de rivières (partie aval) et les eaux de lac [9].

II.3.2.1. Eau de rivières « Partie amont » :

En général, elle est située dans une région montagneuse où la densité de population est faible et les industries pratiquement inexistantes. Les principales caractéristiques de ces eaux sont :

- Turbidité élevée, le régime étant torrentiel ;
- Contamination bactérienne faible ;
- Température froide ;
- Indice de couleur faible.

II.3.2.2. Eau de rivières « Partie avale » :

En général, elle est située dans une région où la population est dense. L'agriculture développée et les industries plus ou moins nombreuses. Les eaux y sont donc habituellement de moins bonne qualité et plus difficiles à traiter qu'en amont. Les principales caractéristiques de ces eaux sont :

- Contamination bactérienne élevée ;
- Contamination organique et inorganique élevée ;
- Indice de couleur pouvant être élevé.

Signalons que le débit et la qualité des eaux de rivières (amont et aval) peuvent varier en peu de temps. C'est pourquoi les usines de purification doivent être suffisamment complexes pour réagir rapidement à toute modification des caractéristiques des eaux de rivières [9].

II.3.2.3. Eau de lac :

On considère un lac comme un bassin naturel de décantation dans la période de rétention est longue. Les principales caractéristiques des eaux de lac sont :

- Contamination bactérienne habituellement peu importante ;
- Turbidité de l'eau y est donc faible.

Ces caractéristiques varient très lentement au cours de l'année. À l'exception de deux courtes périodes au printemps et à l'automne. Durant ces périodes, la différence de température entre les eaux de surface et les eaux profondes peut provoquer un renversement des eaux du lac et en augmenter ainsi brusquement la turbidité [9].

II.3.3. Eau de mer :

Elle est une source d'eau brute qu'on n'utilise que lorsqu'il n'y a pas moyen de s'approvisionner en eau douce. Les eaux de mer sont caractérisées par leurs concentrations en sels dissous : c'est ce qu'on appelle leur salinité. La salinité de la plupart des eaux de mer varie de 33000 à 37000 mg/l [9]. On l'utilise rarement pour produire de l'eau potable. Par ailleurs, la mer elle-même n'échappe pas à la pollution, en particulier dans les zones littorales [6].

II.3.4. Eaux souterraines :

Elles sont souvent de meilleures qualités que les eaux de surface. Leurs teneurs en matière organiques dépendent du chemin suivi par les eaux d'infiltration qui alimentent les nappes souterraines [4].

Les eaux souterraines, enfouies dans le sol, sont habituellement à l'abri des sources de pollution. Puisque les caractéristiques de ces eaux varient très peu dans le temps, les usines de purification n'ont pas à résoudre les problèmes dus aux variations brusques et importantes de la qualité de l'eau brute. Les principales caractéristiques des eaux souterraines sont :

- Turbidité faible ;
- Contamination bactérienne faible ;
- Température constante ;

- Indice de couleur faible ;
- Débit constant ;
- Dureté souvent élevée ;
- Concentration élevée de fer et de manganèse [9].

II.4. Propriétés de l'eau :

II.4.1. Propriétés organoleptiques :

II.4.1.1. Turbidité :

La turbidité est définie comme étant l'inverse de la transparence. Une eau naturelle peut être **altérée** par la présence de particules en suspension et de matières colloïdales (grains de silice, limons, argiles, micro-organismes...) [10].

Pour l'eau potable, la turbidité maximale et acceptable est 5 U.T. L'objectif est de la trouver inférieur ou égale à 1 U.T. Les eaux convenablement filtrées ont une turbidité inférieure ou égale à 0,5 U.T. [10].

II.4.1.2. Couleur :

Pour l'eau potable, le degré maximal acceptable est de 15 UCV [11].

La couleur d'une eau est dite variée ou réelle lorsqu'elle est due aux seules substances en solution. Elle est dite apparente quand les substances en suspension y ajoutent leur propre coloration. Les couleurs réelles et apparentes sont approximativement identiques dans l'eau claire et les eaux de faible turbidité [12].

II.4.1.3. Gout et saveur :

La détermination s'effectue en goutant différentes dilutions de l'échantillon car il n'existe aucun appareil pour mesurer. Selon les physiologistes, il existe quatre saveurs fondamentales : salée, sucrée, aigre et amère [8].

- ✓ Le gout peut être défini comme l'ensemble des sensations gustatives, olfactives et de sensibilité chimique commune perçue lors de la boisson et dans la bouche.
- ✓ La saveur peut être définie comme l'ensemble des sensations perçues à la suite de la stimulation par certaines substances solubles des bourgeons gustatifs [12].

II.4.2. Propriétés physico-chimiques de l'eau :

II.4.2.1 Propriétés physiques :

II.4.2.1.1. Potentiel d'hydrogène pH :

Le pH d'eau mesure la concentration des protons H^+ contenus dans l'eau. Il résume la stabilité de l'équilibre établi entre les différentes formes de l'acidité carbonique. Le pH interfère avec d'autres paramètres de la qualité dans les complexes réactions chimiques : dureté, alcalinité, conductivité.

Le pH est une grandeur sans dimension. La concentration des ions oxonium s'exprime en mol/l. On peut écrire la relation :

$$[H_3O^+] = 10^{-pH} \quad \text{Eq. II.1}$$

II.4.2.2. Conductivité électrique :

C'est une grandeur qui permet d'évaluer la concentration en ions d'une solution. En effet, toute espèce solvatée chargée est susceptible de transporter du courant électrique au sein de la solution. Elle est exprimée en micro siemens par centimètre ($\mu S/cm$) à 20 °C [13].

La minéralisation de l'eau (teneur globale en espèces minérales) peut entraîner, selon les cas, un dépôt salé (variable selon la nature des sels présents), une concentration de la corrosion et les dépôts dans les tuyauteries (entartrage) [14].

II.4.2.3. Température :

C'est un facteur important pour l'activité biologique. Il influence la solubilité de l'oxygène du milieu récepteur, donc son pouvoir auto épurateur [15].

La température 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.

La température de l'eau dépend d'une série de facteurs :

- Situation géographique, la saison ;
- La profondeur (la température des profondeurs est généralement plus faible qu'en surface) ;
- La couleur de l'eau (une eau sombre absorbe plus fortement la chaleur) ;
- Le volume de l'eau (plus le volume est élevé moins importantes sont les fluctuations de température) [15].

II.4.2.4. Masse volumique :

L'eau est considérée comme un fluide incompressible. En fait, c'est un fluide légèrement élastique. La masse volumique varie avec la température et la pression et passe par un maximum à environ 4°C [16].

$$\rho = \frac{m}{V} \quad \text{Eq. II.2}$$

Avec : ρ : masse volumique (Kg/m³) ;

m : masse (Kg), ;

V : volume(m³).

II.4.2.5. Matières en suspension (MES) :

Sont des particules solides très fines et 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 d'îlots, par centrifugation. Il n'existe pas de relation générale entre la turbidité et MES, mais une telle corrélation peut être établie empiriquement pour chaque type d'eau [15].

II.4.3. Propriétés chimiques :**II.4.3.1. Pouvoir solvant :**

Le pouvoir solvant de l'eau provoque l'altération partielle ou complète de divers liens entre les atomes (dissociation) et dans les molécules (ionisation) et du corps à dissoudre pour les remplacer par des nouveaux liens avec ses molécules propres (hydratation).

II.4.3.2. Ionisation :

C'est un composé minéral dissous dans l'eau qui se dissocie plus au moins avec l'apparition d'ions chargés négativement (anions) et positivement (cation). Le corps dissous appelée électrolyte [11].

II.4.3.3. 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 ou un accepteur d'électrons [11].

II.4.3.4. Dureté (TH) :

Le titre hydrotimétrique (TH), ou dureté de l'eau, est l'indicateur de la minéralisation de l'eau [16].

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

- ✓ La dureté totale ou titre hydrotimétrique « TH » qu'est la somme des concentrations calcique et magnésienne ;
- ✓ La dureté calcique correspond à la teneur globale en sels calcium ;
- ✓ La dureté magnésienne qui correspond à la teneur globale en sels de magnésium [17].

II.4.3.5. Alcalinité :

L'alcalinité d'une eau correspond à la présence des bicarbonates HCO_3^- , carbonates CO_3^{2-} et hydroxydes. Cette alcalinité est déterminée par la mesure du titre alcalimétrique (TA) et le titre alcalimétrique complet (TAC) [18].

II.4.3.5.1. Titre alcalimétrique (TA) :Alcalinité à la phénophtaléine :

La teneur en hydroxyde (OH^-) est la moitié de la teneur en carbonate et CO_3^{2-} , un tiers environs des phosphates présents [19].

Le titre TA mesure la teneur de l'eau en alcalins libres et en carbonates alcalins caustiques [18], tel que :

$$\text{TA} = [\text{OH}^-] + 1/2 [\text{CO}_3^{2-}] \quad \text{Eq. II.3}$$

II.4.3.5.2. Titre alcalimétrique complet (TAC) :

Il correspond à la teneur en ions OH^- , CO_3^{2-} pour des pH inférieurs à 8,3. La teneur en ions OH^- et CO_3^{2-} est négligeable ($\text{TA}=0$). Dans ce cas, la mesure de TAC correspondant au dosage des bicarbonates seuls [19].

Le titre alcalimétrique complet correspond au volume d'acide nécessaire pour neutraliser les ions hydrogénocarbonates HCO_3^- et complément des ions carbonates CO_3^{2-} dans 100 ml d'échantillon [16].

$$\text{TAC} = [\text{OH}] + [\text{CO}_3^{2-}] + [\text{HCO}_3^-] \quad \text{Eq. II.4}$$

II.4.3.6. Solubilité des gaz dans l'eau :

L'eau contient toujours des gaz dissout dont les concentrations dépendent notamment de la température ainsi que la composition, 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 [20].

II.4.4. Composition de l'eau en cations et anions :

Les eaux douces sont plus ou moins minéralisées par des sels naturels. Il est souvent très important de connaître précisément cette minéralisation.

Par ailleurs, certains des cations et des 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 ...) [20].

II.4.4.1. Calcium (Ca^{2+}) :

L'ion de calcium est le principal composé de la dureté de l'eau. C'est un métal alcalino-terreux extrêmement répandu dans la nature et en particulier dans les roches calcaires sous forme de carbonates. Il existe surtout à l'état d'hydrogénocarbonates et en quantité moindre, sous forme de sulfate, chlorure etc [21].

II.4.4.2. Magnésium (Mg^{2+}) :

Le magnésium est plus abondant après le calcium par rapport au sodium et au potassium. La dureté magnésienne de l'eau représente ordinairement le tiers de la dureté totale. Les deux tiers restants correspondent à la dureté calcique [22].

II.4.4.3. Chlorure (Cl^-) :

Les chlorures sont toujours présents dans l'eau mais en proportion variable. Leur concentration est de l'ordre de quelques mg/l dans les eaux naturelles de surface alors qu'elle est de l'ordre de 20 g.l⁻¹ dans les eaux marines.

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 [17].

Généralités sur les eaux

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 100mg/l [22].

II.4.4.4. Silice (SiO₂) :

La silice peut exister dans les eaux sous deux états différents : soluble et colloïde. 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, supérieur à 10 [23].

II.4.4.5. Fer :

Le fer est l'un des métaux les plus abondants dans la croûte terrestre. Il se trouve dans l'eau douce naturelle et 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 [24].

Le tableau II.1 regroupe les principales substances que peut renfermer l'eau brute.

Tableau II.1 : Les substances existantes dans une eau brute.

ETAT DES ELEMENTS	NATURE DES ELEMENTS			
En suspension	Sables, argiles boues diverses-Débris divers insolubles			
En émulsion	Matières organiques, colloïdales-huiles minérales, goudrons-suies pétrole-argiles colloïdales.			
Matières solubilisées	Tourbes-déchets, végétaux-matières azotées. Produits de synthèse organique solubles.			
Sels minéraux	<table style="border: none; width: 100%;"> <tr> <td style="border: none; vertical-align: middle;"> BICARBONATES. HCO₃⁻ CARBONATES. CO₃²⁻ SULFATES. SO₄²⁻ CHLORURES. Cl⁻ NITRATES. NO₃⁻ </td> <td style="border: none; vertical-align: middle; font-size: 3em;">}</td> <td style="border: none; vertical-align: middle;"> CALCIUM ;Ca⁺⁺ MAGNESIUM.Mg⁺⁺ SODIUM. Na⁺ POTASSIUM. K⁺ AMMONIUM. NH₄⁺ </td> </tr> </table>	BICARBONATES. HCO ₃ ⁻ CARBONATES. CO ₃ ²⁻ SULFATES. SO ₄ ²⁻ CHLORURES. Cl ⁻ NITRATES. NO ₃ ⁻	}	CALCIUM ;Ca ⁺⁺ MAGNESIUM.Mg ⁺⁺ SODIUM. Na ⁺ POTASSIUM. K ⁺ AMMONIUM. NH ₄ ⁺
BICARBONATES. HCO ₃ ⁻ CARBONATES. CO ₃ ²⁻ SULFATES. SO ₄ ²⁻ CHLORURES. Cl ⁻ NITRATES. NO ₃ ⁻	}	CALCIUM ;Ca ⁺⁺ MAGNESIUM.Mg ⁺⁺ SODIUM. Na ⁺ POTASSIUM. K ⁺ AMMONIUM. NH ₄ ⁺		
GAZ	OXYGENE. AZOTE. GAZ CARBONIQUE. AMMONIAC			
Organismes vivants	Plancton. Algues. Champignons. Vers. Larves. Bactéries. Amibes. Germes, virus			

Chapitre III :
Traitement des eaux
par osmose inverse

Chapitre III

Traitement des eaux par osmose inverse

III.1. Introduction :

La production d'eau pure ou nommée eau ultra-pure est importante pour les industries qui nécessitent une bonne qualité d'eau. Ce type d'eau est généralement utilisé dans les industries pharmaceutiques, agroalimentaire, semi-conducteur...etc.

Nous nous intéressons à une industrie agroalimentaire (CEVITAL). Cette eau est destinée à la production de la vapeur d'eau pour les chaudières haute pression [23].

Il existe plusieurs procédés de fabrication d'eau pure. Nous traiterons celui de l'osmose inverse qui transforme l'eau brute et l'eau pure.

L'eau brute est issue de l'eau de forage ou de puits récoltée au niveau d'Ibourassen. Celle-ci est stockée dans des bassins de décantation et elle est souvent impropre à la consommation. En effet, dans la majorité des cas, elle contient des germes vivants, de nombreux polluants, ...etc. Les nappes phréatiques est chargée de manière naturelle par du fer, du manganèse et autres minéraux.

III.2. Définition de l'eau ultra-pure :

L'eau ultra-pur est défini théoriquement comme étant une eau ne contenant que les molécules H_2O , en équilibre avec des ions H^+ et OH^- en très faibles teneurs (10^{-7} mol/l) à $25^\circ C$ lui assurant une neutralité (pH= 7) [24].

Dans la pratique, on appelle généralement « eau ultra- pure », une eau contenant moins de $1\mu g/kg$ (ppb) d'impuretés ionique qu'un très faible taux de particules et contaminants Microbiens [25].

III.3.Osmose inverse :

C'est est un phénomène naturel qui se produit lorsqu'on sépare une solution diluée d'une solution concentrée par une membrane semi- perméable. L'eau, sous l'action d'une force générée par le gradient de concentration, passe à travers la membrane de la solution la moins concentrée vers la plus contrée. La différence de la concentration crée une pression appelée pression osmotique.

Si on applique cette pression sur la solution concentrée, la quantité transférée par l'osmose va diminuer. Avec une pression suffisamment forte, le flux d'eau va même s'annuler. Si l'on dépasse la valeur de la pression osmotique : c'est le phénomène d'osmose inverse [26].

III.3.1. Principe :

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 membrane semi perméable sélective et contenant deux solutions de concentrations différentes.

Le solvant (généralement l'eau) s'écoule à travers la membrane du compartiment de la solution moins concentrée vers le compartiment contenant la solution plus concentrée, c'est le phénomène d'osmose.

L'eau passe à travers la membrane de la solution la plus concentrée vers la solution moins concentrée, c'est l'osmose inverse [27].

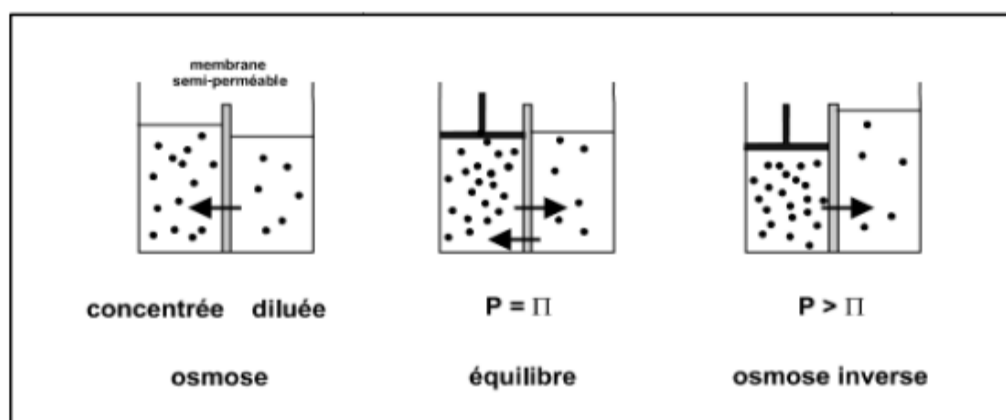


Figure III.1 : Principe de l'osmose et de l'osmose inverse.

III.3.2. Système d'osmose inverse :

C'est la section principale de tout système. Il est composé de trois lignes de 100 m³/h chacune. L'eau provenant des filtres de sécurité est envoyée aux modules R01, R02 et R03 par des pompes hautes pression, constituées de membranes piquées (6 membranes par module) [28].

Dans ces modules, l'eau est séparée en eau déminéralisée (produit) et en concentrée (eau de décharge). Une partie de l'eau produite est stockée et acheminée vers les chaudières par deux pompes centrifuges (utilisation des vapeurs d'eau osmosée dans la raffinerie du sucre, de l'huile,

Traitement des eaux par osmose inverse

de la margarine), tandis que l'autre partie est accédé à l'étape suivants (l'électrodésionisation) pour la production de l'eau ultrapure [28].

III.3.3. Utilisation de l'eau osmosée :

- La production de l'eau ultra pure à conductivité $<0,055 \mu\text{S}/\text{cm}^2$;
- La production de la vapeur sèche (chaudière Stein pression peuvent 65 bars). Cette vapeur constitue une énergie mécanique pour faire tourner les turbines à vapeur de la cogénération. L'énergie mécanique sera transformée à une énergie électrique ;
- La production de la vapeur (chaudière Loos à 13 bars pour le raffinage) ;
- Dans le raffinage du sucre et de l'huile [28].

III.3.4. Avantages et inconvénients du procédé :

Ce procédé membranaire possède, par rapport aux méthodes classiques, de gros avantages :

- Ils ne nécessitent pas l'utilisation d'extractions chimiques ;
- Pas de changement de phase ;
- Économie d'énergie ;
- Ils permettent de travailler à température ambiante (et sont donc utilisable pour récupérer des molécules fragiles) ;
- Ils sont simples à automatiser.



Figure III.2 : Photographie des lignes d'osmose inverse à CEVITAL.

Il présente, par contre, quelques inconvénients dont les principaux sont :

- Le colmatage se traduisant par une baisse de performances (diminution de la perméabilité, modification de la sélectivité) ;

Traitement des eaux par osmose inverse

- La durée de vie liée à la perte de résistance mécanique, qui peut être dû à des nettoyages fréquents ou à l'utilisation des réactifs concentrés (acides, bases, détergents...) [29].

III.2.5. Traitement par les séparations à membranes :

Par définition, une membrane est une barrière de quelques centaines de nanomètres à quelques millimètres d'épaisseur, sélective et semi-perméable. Les plus utilisés sont poreuses en polyamide ou polypropylène, retiennent les ions et laissent traverser l'eau. Le principe consiste à faire circuler une solution à travers une paroi mince sous l'effet d'une force motrice (pression, concentration, champ électrique) en arrêtant certaines molécules et en laissant passer d'autres. Elle sert à séparer des substances organiques, concentration des sels, micro-organismes, des solides, la purification et la désinfection.

Ainsi, il existe différents procédés de séparation sur membrane qui peuvent être regroupés en fonction des forces de transfert mises en œuvre. Nous ne nous intéresserons ici qu'aux techniques membranaires à gradient de pression. L'évaporation, fonctionnant grâce à un gradient d'activité (différence de pression partielle), fait l'objet d'un autre principe.

Il existe quatre procédés membranaires à gradient de pression : la microfiltration (MF), l'ultrafiltration (UF), la nanofiltration (NF) et l'osmose inverse (OI). Ces procédés se distinguent par la taille et le type des espèces qu'ils peuvent séparer. Ils sont utilisés pour séparer et concentrer des molécules ou des espèces ioniques en solution et séparer des particules ou microorganismes en suspension dans un liquide [30].



Figure III.3 : Face externe des membranes utilisées au niveau de CEVITAL.

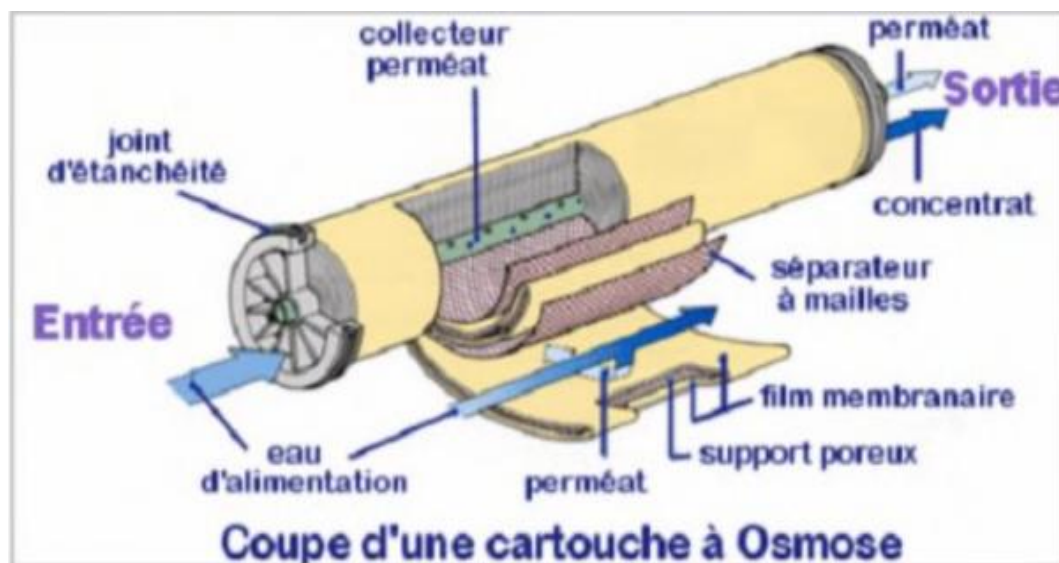


Figure III.4 : Structure interne d'une membrane.

a. Microfiltration (MF) :

La microfiltration tangentielle fait partie des plus anciennes et des plus répandues des techniques membranaires. Elle est définie comme un procédé de séparation solide /liquide. Le mécanisme est basé sur l'effet tamis (taille) et rend possible la rétention de particule en suspension ou de bactéries dont la taille se situe entre 0,1 et 10 μm . Les pressions appliquées sont de quelques dixièmes de bars pour éviter un colmatage important [30].

Ainsi, pour minimiser les phénomènes de colmatage et éviter que des particules solides pénètrent dans les pores des membranes, on a souvent intérêt à utiliser des membranes d'ultrafiltration pour effectuer une opération de microfiltration. Inversement, une membrane de microfiltration peut devenir une membrane d'ultrafiltration (1 à 100 nm) ou même, d'osmose inverse (<1 nm) par suite de la formation en cours de fonctionnement d'une couche de gel à porosité très fine (membrane dynamique) [30].

b. Ultrafiltration :

De telles membranes laissent passer les petites molécules (l'eau, sels) et arrêtent des molécules de masse molaire élevée (polymères, protéines, colloïde). Les applications sont multiples :

- Concentration de solutions macromoléculaires (protéine, polysaccharides, polymères variés) ;

- Elimination de macros lutées présents dans les effluents ou dans l'eau domestique, industriel (électronique) ou médical [30].

c. Nanofiltration :

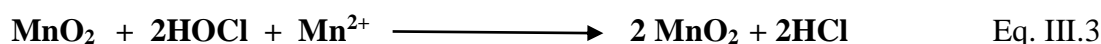
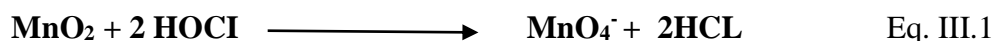
La nanofiltration est une nouvelle technique séparative à membrane se situant entre l'osmose inverse et l'ultrafiltration.

Sa capacité de séparation se situe entre l'UF (1 à 10 nm) et l'osmose inverse (OI) (0,1 à 1 nm). Les membranes utilisées ont un seuil de coupure, variant de 1 à 5 nm, laissant les premiers ions monovalents et molécules de diamètre équivalent. La nanofiltration peut trouver des applications dans la séparation entre ions monovalents et divalents ou plus généralement au dessalement d'effluents et plus récemment à la désacidification [30].

III.4. Etapes d'osmose inverse :

III.4.1. Système de stérilisation et de régénération du dioxyde de manganèse :

A l'entrée des filtres à sable, on injecte d'hypochlorite de sodium de 48 à 50° d'un débit 5 L/h et dosé afin de prévenir toute prolifération bactérienne. De même, le dosage continu de chlore permet la régénération de dioxyde de manganèse par réaction catalytique du manganèse soluble, après oxydation superficielle du MnO_2 en MnO_4^- , suivant les réactions [31].



Pour éliminer le fer, le produit TD-FLOC est introduit à une dose pour la déferri-sation en utilisation aussi le MnO_2 pyrolusite, par l'oxydation des ions ferreux en hydroxyde fer [31].

III.4.2. Préfiltration avec des filtres à sable :

La filtration des eaux sur un matériau de différentes granulométries est de type filtre mécanique. On distingue des filtres lents ou filtre ouverts et des filtres rapides ou filtre fermés.

CEVITAL est munit de 20 filtres à sable, 10 filtres de préfiltration, et 10 filtres de filtration, qui ont une capacité de 50 m³/h pour chaque filtre. Dans ce cas, la filtration s'effectue le long d'un milieu poreux (le sable qui est constitué de multicouche en pyrolusite dioxyde de manganèse), plus ou moins tortueux. Le mouvement de l'eau dans ces filtres est vertical, pénétrant par la partie supérieure du filtre et descendant à travers les couches filtrantes qui retiennent les

matières solides dans sa partie inférieure, qui se colmatara en profondeur au fur et à mesure de l'accumulation des particules en suspension lors du passage du fluide [31].

Ce système permet d'éliminer la plupart des particules en suspension ayant un diamètre supérieur à 40 μm .

III.4.3. Réservoir de stockage de l'eau filtrée :

L'eau filtrée est stockée dans un réservoir intermédiaire, ce qui rend indépendante la section osmose [23].

III.4.4. Groupe de déchloration :

Sur la ligne d'alimentation, la déchloration doit être effectuée avant l'osmose inverse, et avant les filtres à cartouche. Du métabisulfite de sodium ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$) est dosé pour neutraliser le. Ce dernier peut oxyder les parois superficielles des membranes en polyamide.

L'avantage du métabisulfite, par rapport aux autres techniques (photochimie, filtres à charbon actif...), est qu'il est aussi un réducteur d'oxygène, ce qui ralentit considérablement le développement des germes sur l'osmoseur [31].

III.4.5. Groupe de dosage de produit séquestrant :

Avant les filtres à cartouche, une quantité préétablie du produit séquestrant (TD-ASCAL) est dosée dans l'eau d'alimentation, pour permettre la dispersion des carbonates de calcium, des sulfates de baryum...etc. Il retarde ainsi leur précipitation et de cette manière, les membranes s'encrassent moins rapidement et le nombre de CIP diminue [31].

III.4.6. Groupe de dosage de produit biocides :

Pour éviter toute prolifération et formation de biofilm, il est prévu de doser une fois par semaine un produit biocide. Le dosage (le nettoyage) s'effectue d'une demi-heure jusqu'à trois heures pour chaque ligne des membranes d'osmose inverse (ligne par ligne) [31].

III.4.7. Filtre à cartouche :

L'entreprise agro-alimentaire CEVITAL est disposée de deux filtres à cartouche. Chaque cartouche est constituée d'une enveloppe de pression contenant la ou les cartouches (18 cartouche pour chaque filtre) avec un orifice d'arrivée d'eau à filtrer et un orifice de sortie d'eau filtrée. Ils sont prévus pour éliminer toutes les particules ayant un diamètre supérieur à 1 μm [31].



Figure III.5 : Face externe des filtres à cartouches utilisés au niveau de CEVITAL.

III.4.8. Contre lavage :

Pour éviter tout encrassement des filtres à sable, on procède à leur lavage qui s'effectue en deux phases [31]:

✓ Première phase

L'air passe à travers ces filtres pour détacher du matériau filtrant les impuretés retenues.

✓ Deuxième phase

On effectue un retour d'eau à fort débit assurant une mise en expansion des matériaux filtrant. Cette dernière permet d'extraire du lit et d'évacuer les impuretés détachées lors de la première phase.

III.4.9. Lavage sur place (CIP) :

Les procédures de lavage doivent être effectuées lorsqu'un ou plusieurs paramètres opératifs (la pression d'exercice - la différence de pression - la conductivité - le débit de perméat) varient de 10 à 15 % pour les mêmes conditions. Il est nécessaire de laver les membranes avec un produit acide (TD WASH 1) ou basique (TD WASH 2 et TD WASH 3).

III.5. Problèmes de l'osmose inverse:

Les principaux problèmes d'osmose inverse sont le colmatage, l'entartrage, et la corrosion.

III.5.1. Colmatage :

Parmi les origines du colmatage, la concentration trop élevée (soit la concentration moyenne, soit les surconcentrations locales dues aux phénomènes de polarisation)[30], la présence de matières en suspension qui se déposent sur les membranes par suite de conditions hydrodynamiques favorables (vitesses faible) et la réaction d'absorption entre certaines molécules et le matériau membranaire.

Les différents types de colmatage sont, en général:

- Par formation d'un gâteau : il s'agit d'un empilement de particules à la surface de membranes. Ce type de colmatage par dépôt de surface est en général réversible c'est -à-dire qu'il peut être éliminé par rinçages à l'eau. On réalise ce lavage à contre -courant.
- Par adsorption : l'adsorption est un phénomène irréversible dû aux interactions physico-chimiques entre le soluté et la membrane.

La stratégie générale de prévention du colmatage peut prendre les formes suivantes :

- Préfiltration ;
- Enlèvement plus poussé des particules et des colloïdes par un autre procédé membranaire ou par un traitement conventionnel ;
- Ajustement du pH (acidification) pour déplacer les équilibres de solutés des sels susceptibles de précipiter (sel de fer, de manganèse, de calcium, de baryum...) ;
- Ajout d'un agent antitartre pour empêcher le dépôt de sels à la surface des membranes ;
- Coagulation de la Matière Organique Naturelle. L'effet colmatant des floccs est, a priori, moins fort que celui des colloïdes ;
- Enlèvement du fer (Fe^{2+}) qui pourrait précipiter.

III.5.2. Entartrage :

C'est un problème de l'augmentation de la concentration des sels minéraux qui a toujours lieu à la surface de la membrane. Les dépôts sont constitués principalement par le carbonate de calcium (CaCO_3), de l'hydroxyde de magnésium ($\text{Mg}(\text{OH})_2$) et de sulfate de calcium (CaSO_4) et des dépôts de silice.

III.5.3. Corrosion :

C'est défini comme une interaction physico-chimique entre un métal et son milieu environnant entraînant des modifications dans des propriétés du métal et pouvant produire à une dégradation significative de la fonction du métal, du milieu environnant ou du système technique dont ils font partie. Les principales conséquences de la corrosion sont : rupture des conduites, augmentation de la rugosité, fuite d'eau, ...etc.

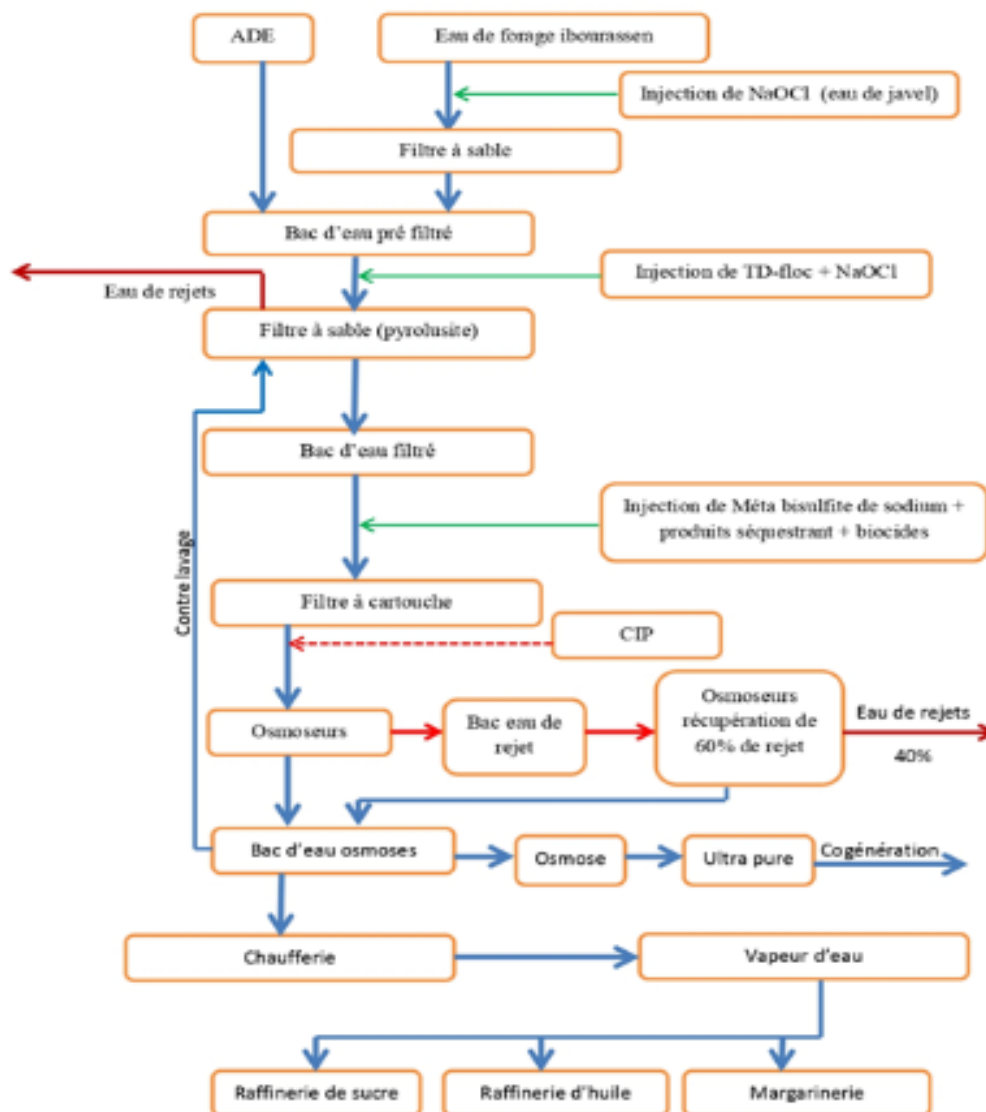


Figure III.6 : Processus général de traitement de l'eau par osmose inverse.

III.6. Contrôle de la qualité de l'eau ultra-pure :

Pour contrôler la qualité de l'eau ultra-pure, outre les analyses en laboratoire, on utilise l'une des méthodes de mesure en continu suivantes : conductivité électrique, carbone organique, valeur pH et le cas échéant mesure corpusculaires.

La mesure de la conductivité permet de détecter les impuretés présentes sous forme ionique. Parmi ces impuretés, on trouve les ions inorganiques comme : Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} ...etc, mais également des ions organiques comme des acides de carbone dissociés. La valeur de pH permet de détecter les impuretés acides ou alcalines [31].

III.7. Utilisation de l'eau osmosée :

L'eau ultra pure est produite par la station de traitement d'eau à partir de l'eau osmosée produite actuellement (ligne ancienne) et par un nouveau skid d'osmose de même type. Elle est acheminée vers un bac de stockage de 300 m³ qui sert d'appoint à la bache alimentaire. Le retour de vapeur des turbines permet d'élever la température au niveau de la bache à 105°C.

Trois pompes dont une en stand-by envoient l'eau de bache vers les économiseurs des deux chaudières, au niveau desquels la température de la vapeur d'eau atteint 202°C, pour être ensuite acheminée vers la chambre de combustion de la chaudière, via un ballon vapeur. A ce niveau la vapeur atteint 274°C sous une pression de 54 bars. La vapeur est réacheminée vers le ballon puis vers le surchauffeur basse température (SBT), pour atteindre 420°C et enfin vers le surchauffeur haute température (SHT) où la vapeur d'eau atteint 480°C sous une pression de 54 bar.

Une désurchauffe entre les deux compartiments par une eau alimentaire permet d'avoir une température à la sortie du SBT de 392°C.

La vapeur produite à 480°C est drainée vers deux turbines pour produire de l'énergie électrique à partir de l'énergie calorifique. Les turbines se composent de tuyères ou de jets de température et l'énergie interne diminuent et l'énergie cinétique augmente. La vapeur en mouvement exerce une pression et exécute un travail contre les ailettes entraînant leur rotation ce qui permet à la turbine d'actionner l'alternateur.

La vapeur de 480°C sous une pression de 54 bars est détendue au niveau des turbines à une valeur de 2,7 à 3,7 bar. Elle est envoyée vers les évapocondenseurs et mise en contact avec l'eau osmosée, pour la production d'une vapeur pour le process sous une pression de 2 bars [32].

III.8. Electrodéionisation :

L'électrodéionisation est actuellement la technologie de choix pour la production de l'eau ultra-pure utilisée dans différents secteurs industriels. La notion d'eau ultra-pure est relative, chaque industrie a en effet ses normes qui évoluent en permanence [33].

L'électrodéionisation en continu est basée sur la combinaison de l'électrolyse et de l'échange d'ions conventionnel.

L'électrodialyse ne peut pas être appliquée économiquement pour le traitement des solutions diluées à cause de leur résistance électrique élevée et du développement des phénomènes de polarisation qui limitent le courant électrique appliqué. Le courant est appliqué durant l'étape de charge. Les composés indésirables sont éliminés de façon continue, ce qui conduit à une régénération continue des résines. La combinaison de l'électrodialyse conventionnelle (ED) et des résines échangeuses d'ions apporte alors une conductivité ionique qui permet de réduire la résistance électrique de l'empilement et permet d'atteindre des taux de purification très élevés. Adaptée au traitement de solutions très diluées, l'EDI est commercialisée pour produire de l'eau ultra-pure [33].

III.8.1. Analyses des procédés d'électrodéionisation :

Afin d'améliorer les performances d'un procédé, la première étape consiste à rechercher les étapes limitantes. Pour cela, il faut comprendre les différents processus élémentaires qui sont mis en jeu. Dans ce cas on peut citer [33] :

- L'échange d'ions ;
- Le transport d'ions dans un lit poreux conducteur ;
- Le transfert de la matière (externe et interne) à travers une membrane échangeuse d'ions ;
- Les réactions électrochimiques à l'anode à la cathode.

III.8.2. Applications potentielles :

Cette technique trouve des applications très variées, on peut citer :

- La concentration de l'acide critique [34] ;
- La purification des solutions industrielles de l'acide phosphorique [35] ;
- La purification et la récupération des acides aminés [36].

III.8.3. Cogénération :

La cogénération consiste à générer de manière simultanée deux types d'énergies finales en utilisant un unique process et une unique source d'énergie primaire. En pratique un système de cogénération produit de l'énergie thermique (chaleur) et de l'énergie mécanique (force) ; l'énergie mécanique pouvant être convertie ensuite en énergie électrique. Il est à noter que la

Traitement des eaux par osmose inverse

génération d'électricité ne nécessite pas systématiquement la génération préalable d'énergie mécanique.

La production de force ou d'électricité génère de la chaleur résiduelle dite « fatale » considérée comme un « déchet thermique » en raison des irréversibilités thermodynamiques ou thermochimiques (pertes thermique par frottement, échauffement). Le principe de cogénération repose sur la récupération de ces pertes de chaleur pour la production d'eau chaude sanitaire (ECS) voire pour des applications industrielles [37].

Chapitre IV :
Matériels et
techniques
expérimentales

Chapitre IV

Matériels et techniques expérimentales

IV.1. Introduction :

La partie expérimentale a été effectuée au niveau de l'entreprise agroalimentaire CEVITAL. Nous allons vous énumérer les différentes analyses traitées, leur définition, leur principe, le matériel utilisé et le mode opératoire adopté.

IV.2. Méthodes conductimétriques :

IV.2.1. Potentiel d'hydrogène pH :

IV.2.1.1. Définition :

Le potentiel d'hydrogène est une mesure de l'acidité, de l'alcalinité ou de la neutralité d'une solution aqueuse, exprimée par le logarithme (base 10) de l'inverse de la concentration de la solution en ion hydrogène (H^+) exprimée en mol/l. Le pH varie entre 0 et 14 ; 7 étant le pH correspondant à la neutralité. Une eau est d'autant plus acide que son pH est plus près de 0 (inférieur à 7) et d'autant plus alcaline que son pH est plus près de 14 (supérieur à 7).

IV.2.1.2. Principe :

C'est la mesure de la différence de potentiel existant entre une électrode de verre et une électrode de pH.

IV.2.1.3. Matériels :

Le matériel utilisé pour la réalisation de la mesure du pH est :

- ✓ pH-mètre HACH HQ40D ;
- ✓ Bécher ;
- ✓ Solution tampons pH 4,7 et 10.

IV.2.1.4. Mode opératoire :

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

IV.2.2. Conductivité

IV.2.2.1. Définition :

La conductivité électrique de l'eau représente la propriété d'une solution de conduire le courant électrique, en fonction de la qualité des ions présents dans l'eau (exprimée en micro siemens par centimètre). Elle augmente avec la température et la concentration des sels dissous.

IV.2.2.2. Principe :

La conductivité électrique d'une eau mesure la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques (en platine ou en graphite) de 1 cm² de surface et séparées l'une de l'autre d'une distance de 1 cm. Elle est l'inverse de la résistivité électrique.

IV.2.2.3. Matériels :

- ✓ Conductimètre HACH HQH40D ;
- ✓ Bécher ;
- ✓ Solution de conductivité 25 $\mu\text{s}/\text{cm}$, 1413 $\mu\text{s}/\text{cm}$.

IV.2.2.4. Mode opératoire :

Après avoir étalonné le conductimètre :

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



Figure IV.1 : Conductimètre et pH-mètre.

IV.3. Méthodes titrimétriques (TH-TA-TAC) :**IV.3.1. Titre hydrotimétrique total (TH) :****IV.3.1.1 Définition :**

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

IV.3.1.2.Principe :

Le TH total est déterminé par dosage complexométrique en présence de sel disodique (EDTA) et de Noir Eriochrome (NET) comme indicateur coloré. Le sel disodique de l'EDTA (complexons) se combine aux ions calcium puis magnésium, en donnant des complexes solubles peu dissociés. La fin de la réaction est mise en évidence par l'ajout du noir Eriochrome T, qui vire du violet au bleu lorsque les dernières traces d'ion magnésium sont complexées.

IV.3.1.3. Matériels :

- ✓ Erlenmeyer 250 ml ;
- ✓ Fiole de 100 ml ;
- ✓ Burette graduée de 10 ml.

IV.3.1.4. Réactifs :

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

IV.3.1.5. Mode opératoire :

- Prendre 100 ml de l'eau à analyser dans un Erlenmeyer ;
- Ajouter 8 gouttes de la solution tampon ammoniacal (qui sert à stabiliser le pH durant le titrage) ;
- Ajouter quelques gouttes de N.E.T (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 Tétr sodium de l'acide Ethylène diamine Tétr Acétique) à 0,02N jusqu'au virage de la coloration violette vers le bleu vert.

IV.3.1.6. Expression des résultats :

Le calcul du TH total se fait suivant l'équation:

$$\text{TH total (}^\circ\text{F)} = V \text{ ml} \quad \text{Eq. IV.1}$$

Avec: TH total : Titre hydrotimétrique total ;

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

V : Volume, chute de la burette.

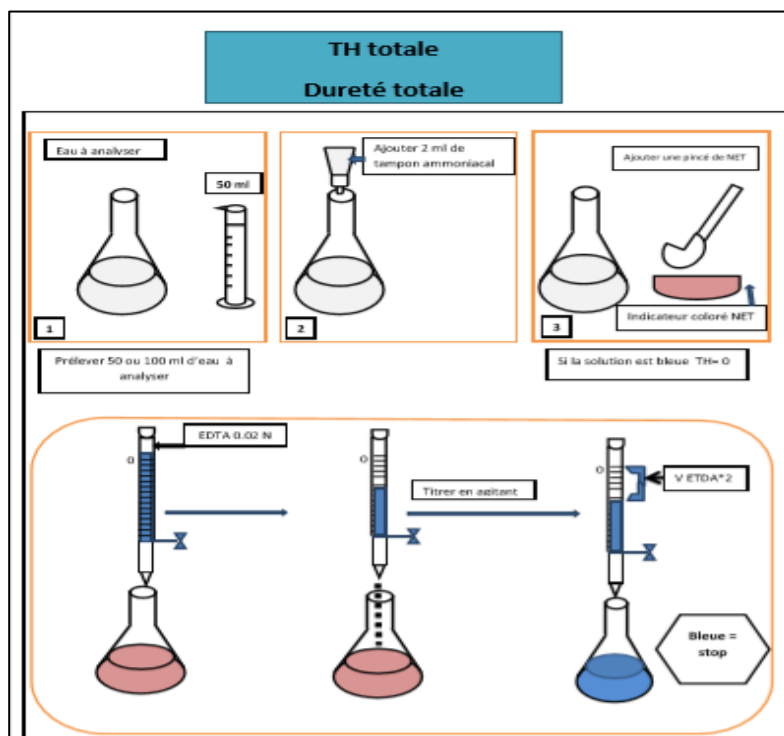


Figure IV.2: Dosage de la dureté totale

- **Dureté calcique TCa^{+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 Erlenmeyer ;
- Ajouter 25 gouttes de NaOH à 5N (soude), en remuant délicatement ;

Matériels et techniques expérimentales

- 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 T Ca⁺² se fait suivant l'équation :

$$TH\ Ca^{+2}(\text{°F}) = V\ ml \quad \text{Eq. IV.2}$$

Avec : TCa⁺² : Titre hydrométrique calcique ;

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

V : Chute de la burette en ml.

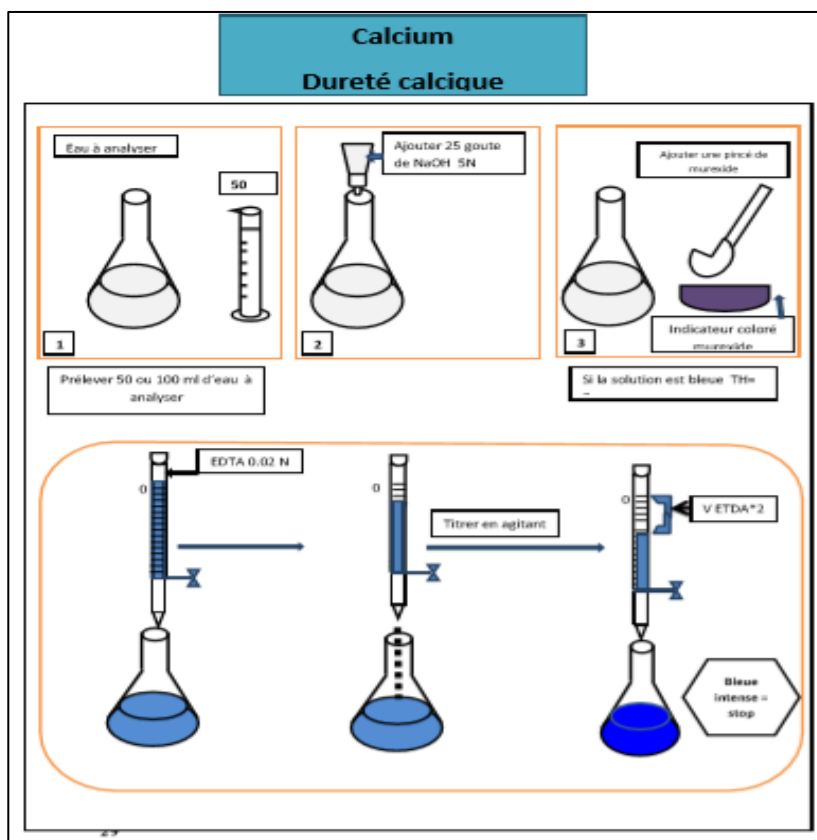


Figure IV.3: Dosage de la dureté calcique.

IV.3.2. Titre alcalimétrique (TA) :

IV.3.2.1. Définition :

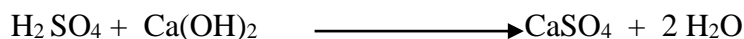
C'est une mesure de la teneur d'une eau en alcalis (hydroxydes) et de la moitié de sa teneur en carbonates alcalins et alcalino-terreux, déterminée par addition de la quantité d'acide

Matériels et techniques expérimentales

sulfurique nécessaire au virage de la phénolphtaléine du rouge à l'incolore à pH 8,3. Le TA s'exprime en degrés français.

IV.3.2.2. Principe :

Le principe est de déterminer le volume d'acide fort en solution diluée nécessaire pour neutraliser au niveau de pH 8,3, le volume d'eau à analyser.

IV.3.2.3. Réaction chimique:**IV.3.2.4. Matériels :**

- ✓ Erlenmeyer 250 ml ;
- ✓ Fiole de 100 ml ;
- ✓ Burette graduée de 10 ml.

IV.3.2.5. Réactifs :

- ✓ Acide sulfurique (0,02 N) ;
- ✓ Phénolphtaléine.

IV.3.2.6. 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.

V.3.2.7. Expression des résultats :

Le calcul de TA est comme suit:

$$\text{TA } (^\circ\text{F}) = \text{V ml} \quad \text{Eq. IV.3}$$

Avec : TA : Titre alcalimétrique ;

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

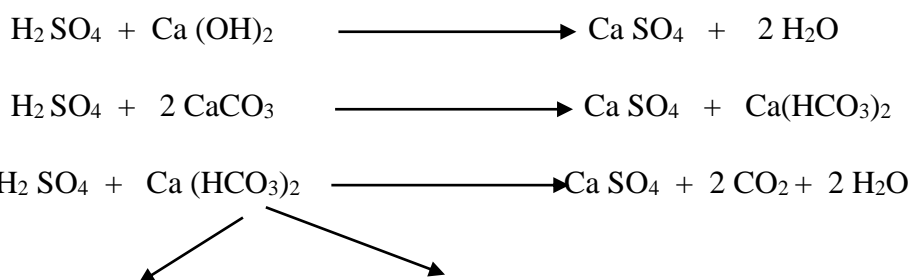
V : Volume de la chute de la burette en ml.

IV.3.3. Titre alcalimétrique complet (TAC) :**IV.3.3.1. 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 pH 4,3. Le TAC s'exprime en degrés français.

IV.3.3.2. Principe :

Le principe consiste à déterminer le volume d'acide fort en solution diluée nécessaire pour neutraliser au niveau de pH 4,3, le volume d'eau à analyser.

IV.3.3.3. Réactions chimiques :

Ca (HCO₃)₂ déjà existant

Ca (HCO₃)₂ formé dans la 2^{ème} réaction

IV.3.3.4. Matériels :

- ✓ Erlenmeyer 250 ml ;
- ✓ Fiole de 100 ml ;
- ✓ Burette graduée de 10 ml.

IV.3.3.5. Réactifs :

- ✓ Acide sulfurique (0.02 N) ;
- ✓ Méthyle orange.

IV.3.3.6. Mode opératoire :

- Prendre le même échantillon pour l'analyse du TA ajouter 2 gouttes d'hélianthine ou du Méthyle Orange ;
- Une coloration jaune doit apparaître.
- Titrer avec le même acide (H₂SO₄) jusqu'au virage de la coloration jaune vers l'orange.

IV.3.3.7. Expression des résultats :

Le calcul du TAC est comme suit:

$$\text{TAC (}^\circ\text{F)} = (V'' - 0,1) \text{ ml} \quad \text{Eq. IV.4}$$

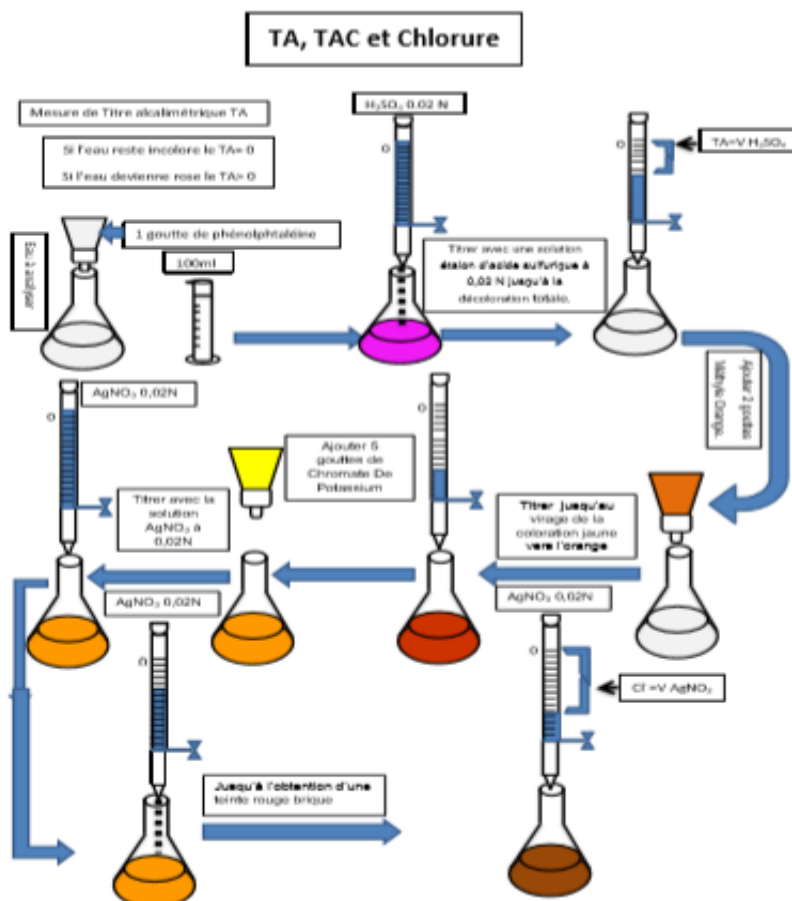


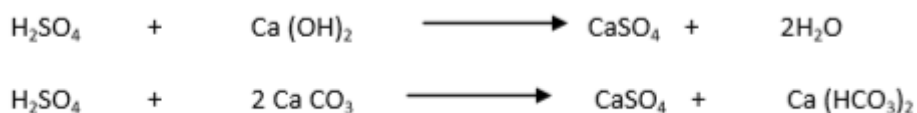
Figure IV.4 :Titrage du TH, TA et TAC.

IV.4. Dosage des chlorures :

IV.4.1. Principe :

Réaction des ions chlorures avec des ions argent pour former des chlorures d'argent insoluble qui est précipité quantitativement. Addition de petit excès d'ions d'argent et formation de chromate d'argent brun rouge avec des ions chromates qui ont été ajoutés comme indicateur. Cette réaction est utilisée pour l'indication du virage.

IV.4.2. Réaction chimiques des chlorures :



IV.4.3. Matériels :

- ✓ Erlenmeyer 250 ml ;
- ✓ Fiole de 100 ml ;
- ✓ Burette graduée de 10 ml.

IV.4.4. Réactifs :

- ✓ Nitrate d'argent AgNO_3 (0,02) ;
- ✓ Chromate de potassium.

IV.4.5. Mode opératoire :

- Dans un Erlenmeyer, prendre un échantillon de 100 ml d'eau à analyser ;
- Ajouter 5 gouttes de Chromate de potassium (indicateur coloré). 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.

IV.4.6. Expression des résultats :

Le calcul des chlorures est comme suit:

$$\text{Cl}^- (\text{°F}) = V \text{ ml} \qquad \text{Eq. IV.5}$$

V : chute de burette.

IV.5. Méthodes spectrophotométriques :

Au niveau du laboratoire des eaux, les analyses ont été effectuées à l'aide du Spectrophotomètre NANOCOLOR ® UV/VIS, qui est un appareil très performant, rapide et compact pour l'analyse. Il permet l'évaluation des tests en cuve ronde ou rectangulaire NANOCOLOR ®. Son écran tactile HD et le guidage par menus intuitifs assurent l'exécution aisée et rapide des tâches, et en font le spectrophotomètre idéal pour toutes les analyses d'eau en laboratoire.



Figure V.5 : Appareil NANOCOLORUV/VIS.

IV.5.1. : La silice

IV.5.1.1. Définition :

La silice est un composé chimique (dioxyde de silicium) qui entre dans la composition de nombreux minéraux. De formule SiO_2 , la silice existe à l'état libre sous différentes formes cristallines ou amorphes et à l'état combiné dans les silicates. Les groupes SiO_2 étant alors liés à d'autres atomes (Al, Fe, Mg, Ca, Na).

IV.5.1.2. Principe :

La silice dissoute et les silicates réagissent en milieu acide avec le molybdate d'ammonium pour former des silicomolybdiques jaunes. Ce dernier sera réduit en un composé bleu par addition d'un réducteur.

IV.5.1.3. Matériels :

- ✓ Cuve rectangulaire 5 cm NANOCOLOR ;
- ✓ Pipettes 1ml et 20ml ;
- ✓ Fiole de 25ml ;
- ✓ Spectrophotomètre NANOCOLOR UV/VIS.

IV.5.1.4. Réactifs :

Réactifs 1, 2 et 3 NANOCOLOR UV/VIS.

IV.5.1.5. Mode opératoire :

Introduire respectivement dans une fiole de 25 ml :

Matériels et techniques expérimentales

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

IV.5.2. Chlore libre :**IV.5.2.1 Définition :**

Le chlore libre est un gaz halogène de couleur jaune vert ; contenue dans l'hypochlorite de sodium ajouté à l'eau de forage. Il agit comme un désinfectant et un régénérant du MnO_2 .

IV.5.2.2. 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.

IV.5.2.3. Matériels :

- ✓ Cuve rectangulaire 5cm NANOCOLOR ;
- ✓ Pipettes 1ml et 20ml ;
- ✓ Fiole 25 ml ;
- ✓ Spectrophotomètre NANOCOLOR UV/VIS.

IV.5.2.4. Réactifs :

Réactifs 1 ET 2 NANOCOLOR

IV.5.2.5. Mode opératoire

Introduire respectivement dans une fiole de 25 ml :

- 20 ml d'échantillon à analyser ;
- 1ml de R1, mélanger ;
- Une pincée de R2, mélanger ;

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

IV.5.3. Manganèse :**IV.5.3.1. Définition :**

Métal de transition ; gris argent avec un teint rosé. Le minerai le plus abondant est la pyrolusite MnO_2 , utilisé dans les process industriels des filtres à sables.

IV.5.3.2. Principe :

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

IV.5.3.3. Matériels :

- ✓ Cuve ronde NANOCOLOR ;
- ✓ Pipette 1 ml et 5ml ;
- ✓ Spectrophotomètre NANOCOLOR UV/VIS

IV.5.3.4. Réactifs :

Réactifs 2, 3NANOCOLOR

IV.5.3.5. Mode opératoire :

- Dans une cuve ronde, ajouter 04 ml de l'échantillon à analyser, 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.

Chapitre V :
Résultats et
discussion

Chapitre V

Résultats et discussion

V.1. Introduction :

Pour évaluer la qualité de l'eau ultrapure obtenue et celle prélevée après chaque étape du processus de l'osmose inverse ainsi que l'efficacité du procédé appliqué, nous avons effectués des prélèvements d'échantillons auxquels sont soumis à plusieurs analyses chimiques.

Six échantillons ont été prélevés :

- ✓ Eau d'alimentation (forage) ;
- ✓ Eau filtrée ;
- ✓ Eau osmosée prélevée dans trois différents bacs (perméat, concentrât) ;
- ✓ Eau ultrapure (perméat, concentrât) ;

Les paramètres étudiés sont : le pH, la conductivité, le TH, le THCa^{+2} , le TA, le TAC, teneur en chlore Cl_2 , teneur en silice SiO_2 , teneur en manganèse Mn, et les chlorures Cl^- .

Les résultats sont regroupés dans des tableaux puis exploités dans des courbes.

V.2. Potentiel d'hydrogène (pH) :

V.2.1. Résultats :

La mesure du pH nous indique le niveau d'acidité, d'alcalinité ou de neutralité d'une solution aqueuse. Les résultats trouvés pour les différents échantillons se résument dans le tableau V.1.

Un suivi du pH de ces différentes eaux a été effectué chaque jour pendant une durée de deux semaines afin de mieux voir l'efficacité du procédé de traitement.

Tableau V.1 : Suivi du pH des différentes eaux de process de l'unité de CEVITAL.

Echantillon d'eau	Eau de forage	Eauosmosée bac 350 m ³	Eauosmosée bac 101m ³	Eauosmosée bac 200m ³	Eauultrapure	ADE
08-05-22	7,54	6,28	6,32	6,32	6,33	7,52
09-05-22	7,57	6,39	6,36	6,32	6,33	7,58
10-05-22	7,51	6,47	6,28	6,34	6,30	7,53
11-05-22	7,52	6,43	6,26	6,40	6,28	7,52
12-05-22	7,57	6,40	6,40	6,55	6,34	-
13-05-22	7,57	6,41	6,30	6,40	6,34	7,48
14-05-22	7,54	6,37	6,22	6,31	6,28	7,50
15-05-22	7,51	6,39	6,35	6,38	6,27	7,51
16-05-22	7,50	6,58	6,32	6,36	6,26	7,52
17-05-22	7,52	6,57	6,41	6,46	6,38	7,59
18-05-22	7,55	6,34	6,32	6,37	6,59	7,66
19-05-22	7,59	6,46	6,30	6,56	6,30	7,65
20-05-22	7,63	6,45	6,47	6,50	6,35	7,62
21-05-22	7,50	7,00	6,36	6,46	6,12	7,54
Norme industrielle	6,5<pH<9,5	5,5<pH<7,5	5,5<pH<7,5	5,5<pH<7,5	5,5<pH<7,5	6,5<pH<8,5

Pour mieux visualiser l'effet du pH dans les différentes étapes de traitement de l'eau, les résultats sont regroupés sur la figure V.1.

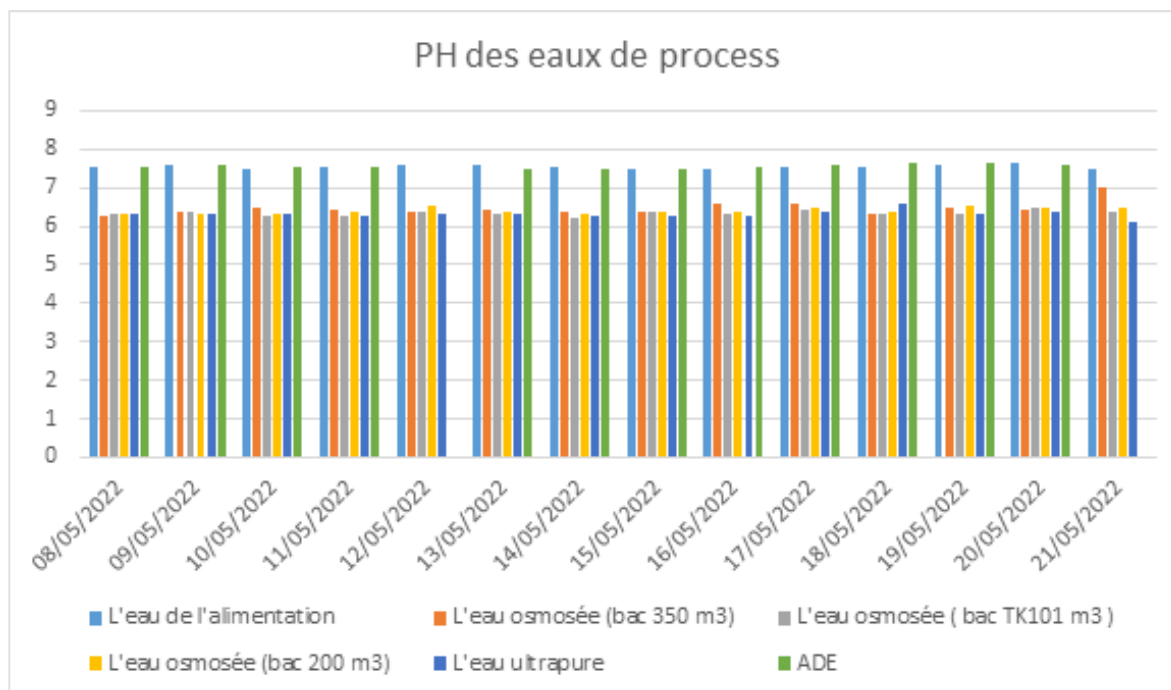


Figure V.1 : pH des eaux de process de l'unité de CEVITAL.

V.2.2. Discussion :

Le pH est un paramètre très important donnant une idée sur l'équilibre de l'eau ainsi que sur la qualité de l'eau produite. D'après les résultats trouvés sur les eaux de process, à l'étape du prétraitement, la diminution de pH de l'eau brute de 7,54 jusqu'à 6,32 (pour le l'eau osmosée bac TK 101 m³) est principalement due à l'injection des produits séquestrants. Cette injection a pour but d'éviter la précipitation des sels à base de sulfate et de carbonate sur les membranes.

Le but recherché est d'obtenir une eau ultrapure de qualité qui répond aux exigences et aux normes industrielles. Les résultats obtenus sont conformes aux normes et l'eau obtenue est parfaite et très proche de la neutralité.

V.3. Conductivité :

V.3.1. Résultats :

Les échantillons d'eau prélevés pendant les mêmes étapes que celles définies dans la section précédente sont soumis à des analyses de conductivité.

Les résultats sont consignés dans le tableau V.2 et reproduit dans l'histogramme de la figure V.2. Les valeurs de la conductivité sont données en $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Tableau V.2 : Suivi de la conductivité des différentes eaux de process de l'unité de CEVITAL.

Echantillon d'eau	Eau de forage	Eauosmosée bac 350 m ³	Eauosmosée bac 101m ³	Eauosmosée bac 200m ³	Eauultrapure	ADE
08-05-22	2740,00	75,05	110,43	103,60	2,46	877,00
09-05-22	2710,00	75,10	96,90	94,15	2,74	881,00
10-05-22	2810,00	74,45	109,93	102,15	2,76	867,00
11-05-22	2805,00	72,4	96,00	85,00	1,84	874,00
12-05-22	2760,00	74,45	113,70	113,70	2,51	-
13-05-22	2770,00	75,02	102,83	104,15	2,5	852,00
14-05-22	2770,00	74,75	119,50	126,2	2,45	849,00
15-05-22	2815,00	74,80	103,07	114,70	6,27	881,00
16-05-22	2795,00	75,7	129,6	128,2	6,26	888,00
17-05-22	2755,00	76,25	147,93	143,50	6,38	905,00
18-05-22	2780,00	74,9	159,93	149,00	3,32	892,00
19-05-22	2780,00	74,75	118,33	138,6	6,3	853,00
20-05-22	2792,90	74,9	159,17	168,95	6,35	851,00
21-05-22	2785,00	75,15	129,13	125,8	6,12	866,00
Norme industrielle	<3000	<100	<100	<100	0,07	<2800

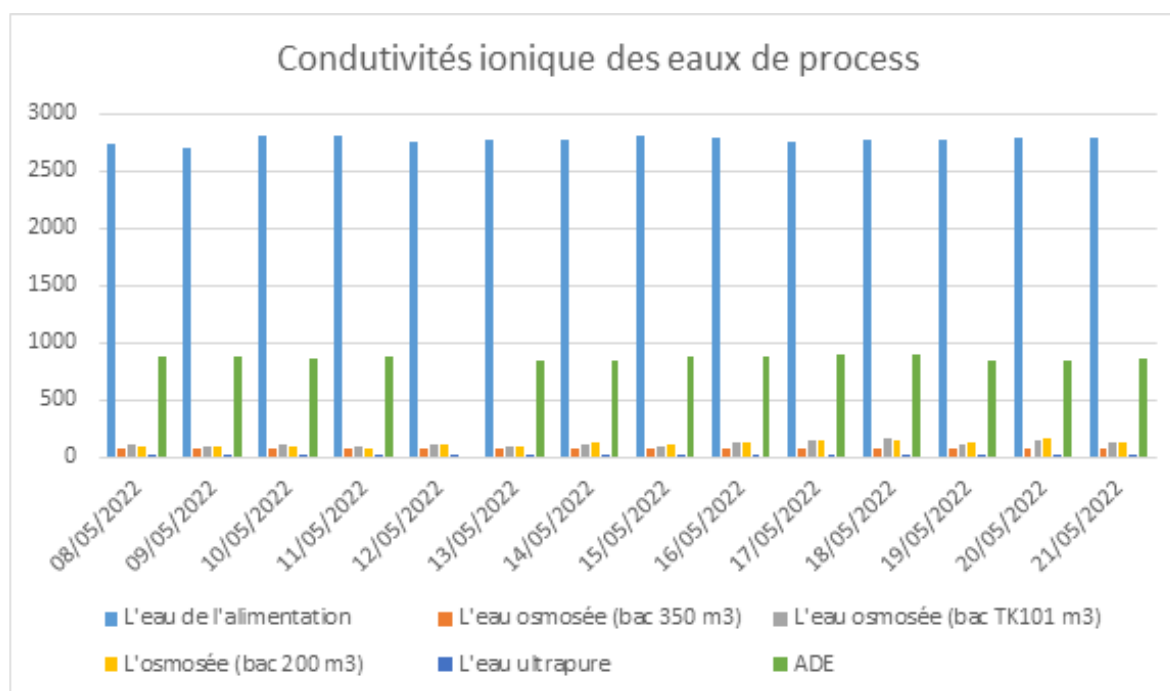


Figure V.2 : Conductivité des eaux de process de l'unité de CEVITAL.

V.3.2. Discussion :

Pour la conductivité électrique résultante des analyses des eaux d'alimentation, de l'eau osmosée (bac 350 m³) et ADE, les valeurs sont conformes aux normes.

Par contre, les valeurs enregistrées pour tous les prélèvements journaliers pendant 14 jours sont élevées pour l'eau ultrapure, ce qui est dû à l'encrassement soit des membranes de l'osmoseur ou bien des résines de CEDI.

Le même dépassement des normes est observé pour les eaux osmosées issues des bacs TK 101 m³ et bac 200 m³ ce qui est attribué à l'augmentation de la température et de la concentration des sels dissous.

V.4. Titre hydrotimétrique total TH (dureté totale) :

V.4.1. Résultats :

Le titre hydrotimétrique total (TH) a été déterminé pour les différentes eaux : eau d'alimentation, eau filtrée, eau osmosée prélevée dans trois différents bacs et eau ultrapure. Les valeurs du TH sont reportées sur le tableau V.3 et sur l'histogramme de la figure V.3.

Le titre hydrotimétrique est donné en °F.

Tableau V.3 : Suivi du titre hydrotimétrique (TH) des différentes eaux de process de l'unité de CEVITAL.

Echantillon d'eau	Eau de forage	Eauosmosée bac 350 m ³	Eauosmosée bac 101m ³	Eauosmosée bac 200m ³	Eauultrapure	ADE
08-05-22	97.30	0.60	0.83	0.80	0	38.40
09-05-22	97.20	0.60	0.93	0.90	0	39
10-05-22	97.80	0.60	0.90	0.90	0	39
11-05-22	97.90	0.60	0.93	0.70	0	38.60
12-05-22	97.20	0.60	1.03	1.00	0	-
13-05-22	97.70	0.6	0.9	0.9	0	37.60
14-05-22	97.80	0.6	1.17	1.20	0	37.40
15-05-22	96.60	0.60	1.07	1.20	0	38.40
16-05-22	96.70	0.65	1.17	1.20	0	38.60
17-05-22	96.40	0.70	1.03	1.05	0	40.00
18-05-22	96.70	0.70	1.13	1	0	28.40
19-05-22	97.40	0.60	1.20	1.45	0	26
20-05-22	96.70	0.60	1.60	1.75	0	37
21-05-22	97.10	0.60	1.87	1.50	0	39.20
<i>Norme industrielle</i>	<100°F	<1°F	<1°F	<1°F	0°F	<50°F

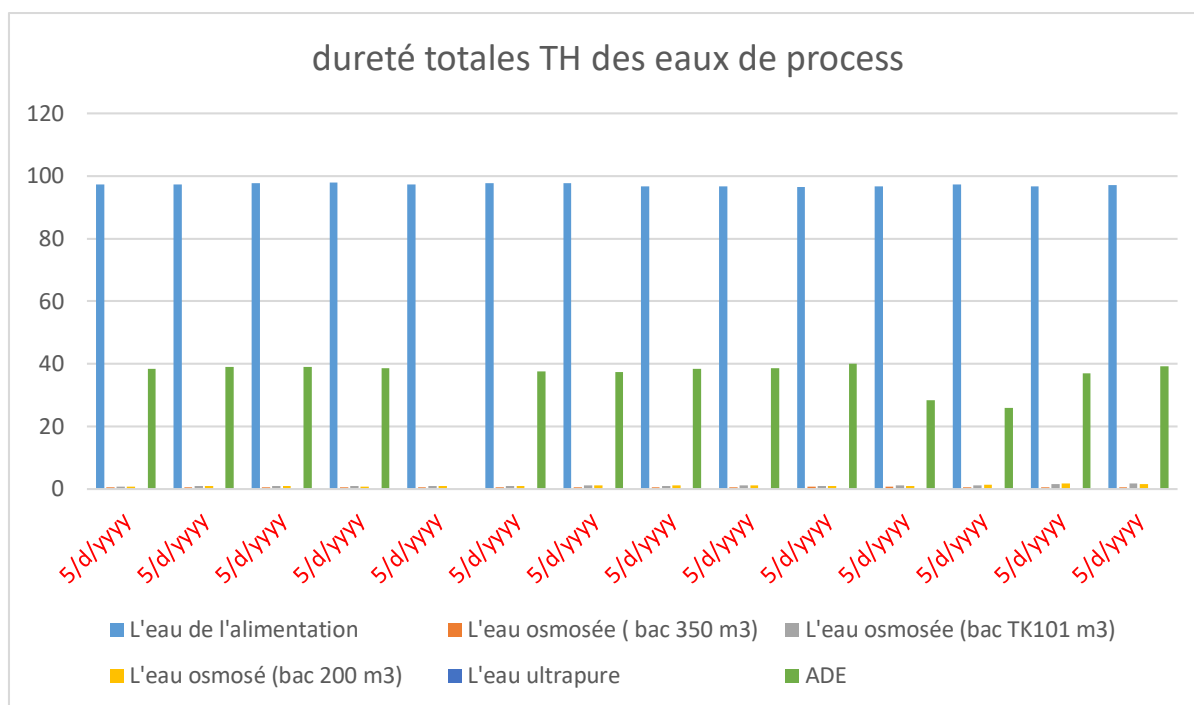


Figure V.3: La dureté totale (TH) des eaux de process de l'unité de CEVITAL.

V.4.2 Discussion :

Une analyse des résultats nous permet de déduire que l'eau de l'alimentation ou l'eau de forage est très riche en ions Ca^{2+} et Mg^{2+} , ce qui parfaitement attendu. Tandis que les valeurs du TH correspondantes aux différentes eaux osmosées des trois bacs sont à la limite de la conformité. Une très légère augmentation est observée certains jours dus à la minéralisation de l'eau.

La valeur nulle ($\text{TH} = 0$) pour l'eau ultrapure signifie que le perméat est complètement débarrassé de la dureté.

V.5. Titre hydrotimétrique calcique THca :

V.5.1. Résultats :

Le tableau V.4 et la figure V.4 regroupent les valeurs de mesure du titre calcique pour les six points d'eaux prélevées pendant deux semaines.

Le résultat du TCa est donné en °F.

Tableau V.4 : Suivi du titre calcique des différentes eaux de process de l'unité de CEVITAL.

Echantillon d'eau	Eau de forage	Eauosmosée bac 350 m ³	Eauosmosée bac 101m ³	Eauosmosée bac 200m ³	Eauultrapure	ADE
08-05-22	63.80	0	0	0	0	26.40
09-05-22	63	0	0	0	0	-
10-05-22	64.10	0	0	0	0	27.40
11-05-22	64	0	0	0	0	26.8
12-05-22	63.40	0	0	0	0	-
13-05-22	63.50	0	0	0	0	25
14-05-22	63.90	0	0	0	0	25
15-05-22	65.30	0	0	0	0	27
16-05-22	64.10	0	0	0	0	27.40
17-05-22	63.70	0	0	0	0	29.20
18-05-22	64.10	0	0	0	0	28.40
19-05-22	64.20	0	0	0	0	26
20-05-22	64.30	0	0	0	0	25.40
21-05-22	63.80	0	0	0	0	29.60
Norme industrielle	-	-	-	-	-	<50°F

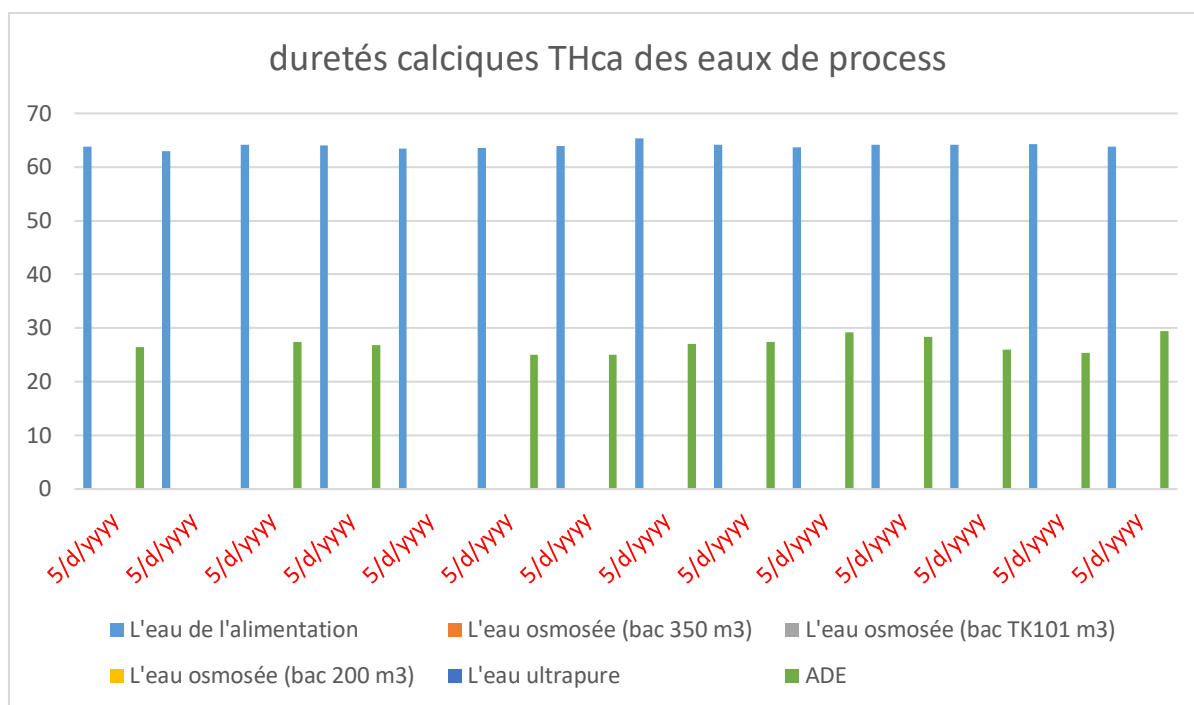


Figure V.4: Dureté calcique des eaux de process de l'unité de CEVITAL.

V.5.2. Discussion :

On note que seules l'eau de l'alimentation et ADE affichent des valeurs de duretés calcique non nulles mais qui restent, cependant, conformes aux normes. Les eaux osmosées sont dénuées de dureté calcique (valeurs nulles). On peut conclure que le traitement de l'eau par l'osmose inverse est très efficace et suffisant pour éliminer toute la dureté calcique.

V.6. Le titre alcalimétrique (TA) :

V.6.1. Résultats :

Les valeurs du titre alcalimétrique pour les différents échantillons sont regroupées sur le tableau V.5.

L'unité du titre alcalimétrique est le °F.

Tableau V.5 : Suivi du titre alcalimétrique (TA) des différentes eaux de process de l'unité de CEVITAL.

Echantillon d'eau	Eau de forage	Eauosmosée bac 350 m ³	Eauosmosée bac 101m ³	Eauosmosée bac 200m ³	Eauultrapure	ADE
08-05-22	0	0	0	0	0	0
09-05-22	0	0	0	0	0	0
10-05-22	0	0	0	0	0	0
11-05-22	0	0	0	0	0	0
12-05-22	0	0	0	0	0	0
13-05-22	0	0	0	0	0	0
14-05-22	0	0	0	0	0	0
15-05-22	0	0	0	0	0	0
16-05-22	0	0	0	0	0	0
17-05-22	0	0	0	0	0	0
18-05-22	0	0	0	0	0	0
19-05-22	0	0	0	0	0	0
20-05-22	0	0	0	0	0	0
21-05-22	0	0	0	0	0	0
<i>Norme industrielle</i>	-	-	-	-	-	-

Résultats et discussion

V.6.2. Discussion :

Le titre alcalimétrique est nul pour les échantillons au cours de toute la période d'analyse. Ceci serait dû au pH qui est inférieur à 8.3. Nous concluons donc que les eaux ne contiennent pas de carbonates et d'alcalins libres. Elles ne contiennent que des bicarbonates.

V.7. Titre alcalimétrique complet (TAC) :

V.7.1. Résultats :

Les résultats du titre alcalimétrique complet (°F) qui représentent la somme de toutes les bases fortes et faibles (alcalis, carbonates et hydrogénocarbonates) sont donnés dans le tableau V.6 et représentés par la figure V.5 .

Tableau V.6 : Suivi du titre alcalimétrique complet (TA) des différentes eaux de process de l'unité de CEVITAL.

Echantillon d'eau	Eau de forage	Eauosmosée bac 350 m ³	Eauosmosée bac 101m ³	Eauosmosée bac 200m ³	Eauultrapure	ADE
08-05-22	35.2	0.85	1.20	1.15	0.30	22.40
09-05-22	35.10	0.70	0.93	0.85	0.30	23.80
10-05-22	35.80	0.70	1.00	1.00	0.30	23.60
11-05-22	36	0.70	0.97	0.85	0.30	24.00
12-05-22	35.10	0.70	1.07	1.10	0.30	-
13-05-22	34.90	0.70	1.13	1.05	0.30	22.4
14-05-22	35.20	0.70	1.30	1.40	0.30	22.6
15-05-22	35	0.70	1.07	1.15	0.27	24.40
16-05-22	35.10	0.90	1.50	1.50	0.30	24.40
17-05-22	35.10	1.00	1.27	1.20	0.30	25.80

18-05-22	35.50	1.00	1.23	1.15	0.30	24.40
19-05-22	35.10	0.80	1.10	1.30	0.30	24.40
20-05-22	35.10	0.80	1.27	1.30	0.30	24
21-05-22	35.20	0.70	1.53	0.40	0.30	22.20
Norme industrielle	<60°F	<1.5°F	<1.5°F	<1.5°F	0°F	<5.5°F

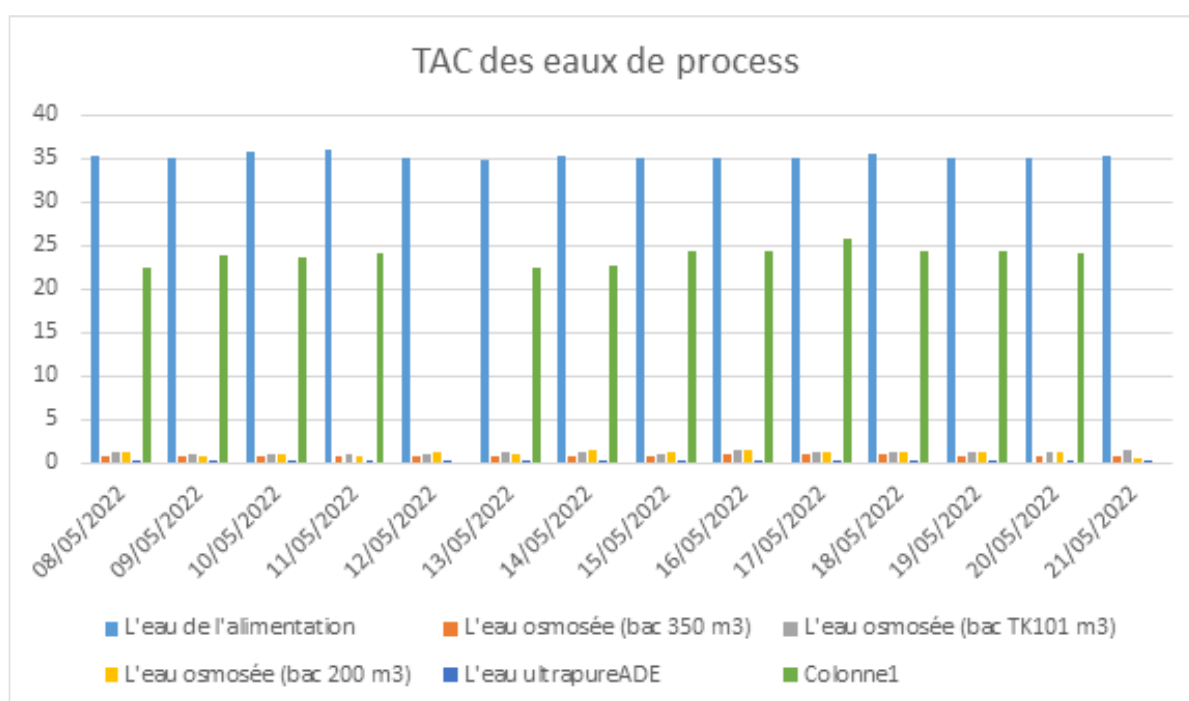


Figure V.5 : TAC des eaux de process de l'unité de CEVITAL.

V.7.2. Discussion :

Les valeurs du TAC diminuent d'une valeur maximale de 36 °F, en passant de l'eau de l'alimentation à l'eau ultrapure. Les eaux osmosées sont désionisées. Les valeurs enregistrées pour l'eau ultrapure et l'ADE est supérieure à la norme, ce qui nous indique que cette eau est riche en ions HCO_3^- . La diminution de la valeur dans l'eau osmosée est due à la précipitation de ces ions. Ces derniers sont retenus au niveau des membranes d'osmose inverse.

Résultats et discussion

V.8. Teneur en chlorures Cl⁻ :

V.8.1. Résultats :

Les résultats des dosages des ions chlorures sont mentionnés dans le tableau V.7 et représentés par la figure V.7.

Tableau V.7 : Suivi de la concentration en ions chlorures des différentes eaux de process de l'unité de CEVITAL.

Echantillon d'eau	Eau de forage	Eauosmosée bac 350 m ³	Eauosmosée bac 101m ³	Eauosmosée bac 200m ³	Eauultrapure	ADE
08-05-22	80	3.30	4.20	4.00	0.50	8.00
09-05-22	80	3.40	3.77	3.70	0.50	8.00
10-05-22	80.80	3.30	4.23	4.00	0.50	8.00
11-05-22	81.90	3.30	4.00	3.55	0.50	8.20
12-05-22	80.50	3.30	4.27	4.30	0.50	-
13-05-22	79.70	3.20	4.07	4.10	0.50	8.20
14-05-22	79.60	3.20	4.60	4.80	0.50	8.20
15-05-22	81.30	3.20	4.33	4.75	0.5	8.00
16-05-22	79.10	3.40	4.77	4.70	0.50	8.00
17-05-22	79.10	3.50	5.10	5.05	0.5	8.20
18-05-22	80.10	3.40	5.53	5.35	0.50	8.20
19-05-22	79.60	3.20	4.63	4.95	0.50	8.20
20-05-22	77.70	3.20	5.20	5.35	0.50	8.00
21-05-22	79.10	3.20	3.93	4.20	0.50	8.40
Norme	<70°F	<3°F	<3°F	<3°F	0°F	<70°F

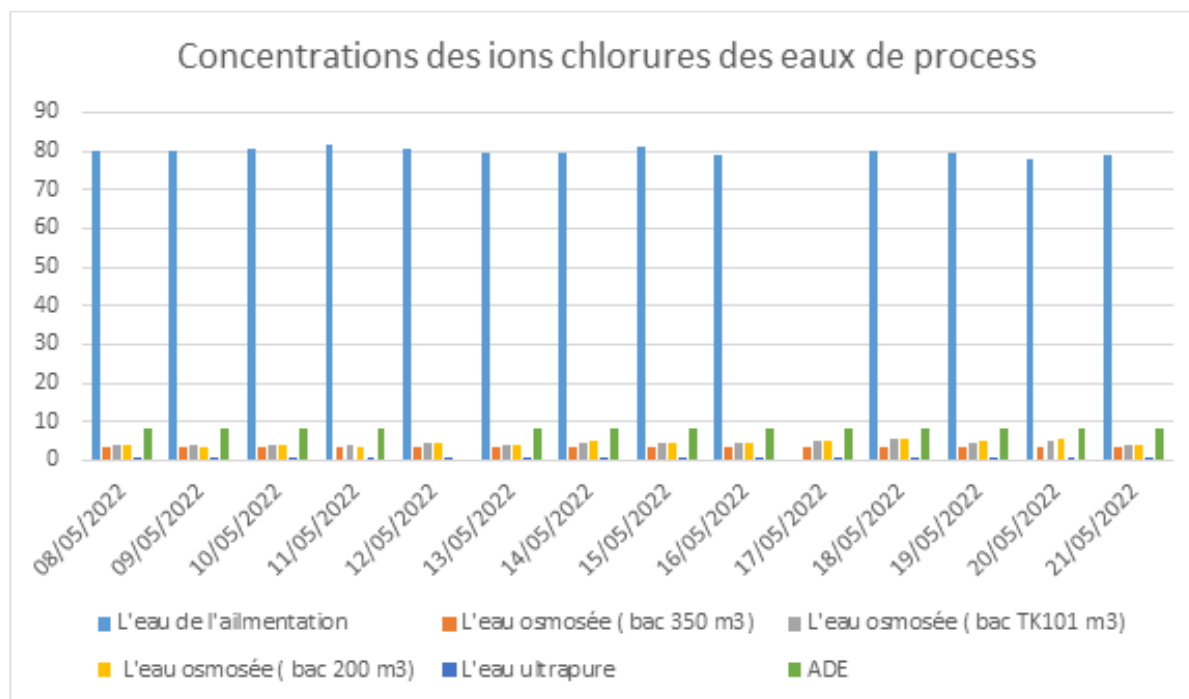


Figure V.7 : Concentration des ions chlorures des eaux de process de l'unité de CEVITAL.

V.8.2. Discussion :

D'après le tableau V.7, l'eau d'alimentation est chargée par des ions chlorures qui présentent des valeurs supérieures à la norme. Ceci revient à la richesse en ces ions à la source principale (Ibourassen).

La valeur la plus faible est celle du perméat de l'eau ultrapure désionisée (0,5 °F), mais celle-ci est légèrement supérieure à la norme.

Les traces de chlorures proviennent d'un mauvais lavage des membranes de l'osmose inverse et qui subsistent malgré le passage de l'eau osmosée à travers le déioniseur CEDI. Ceci est dû à l'insuffisance des tensions et des courants imposés dans ce traitement ou au type de résines utilisées.

V.9. Teneur en silice SiO₂ :

V.9.1. Résultats :

Les concentrations de la silice des différents échantillons d'eau analysés sont regroupées dans le tableau V.8 et représentées sur la figure V.7.

La teneur de la silice est donnée en ppm.

Résultats et discussion

Tableau V.8 : Suivi de la concentration de la silice des différentes eaux de process de l'unité de CEVITAL.

Echantillon d'eau	Eau de forage	Eau osmosée bac 350 m ³	Eau osmosée bac 101m ³	Eau osmosée bac 200m ³	Eau ultrapure	ADE
08-05-22	11.08	0.18	0.29	0.27	0	3.97
15-05-22	11.45	0.18	0.29	0.23	0	3.42
Norme	<12 ppm	<2 ppm	<2 ppm	<2 ppm	0 ppm	-

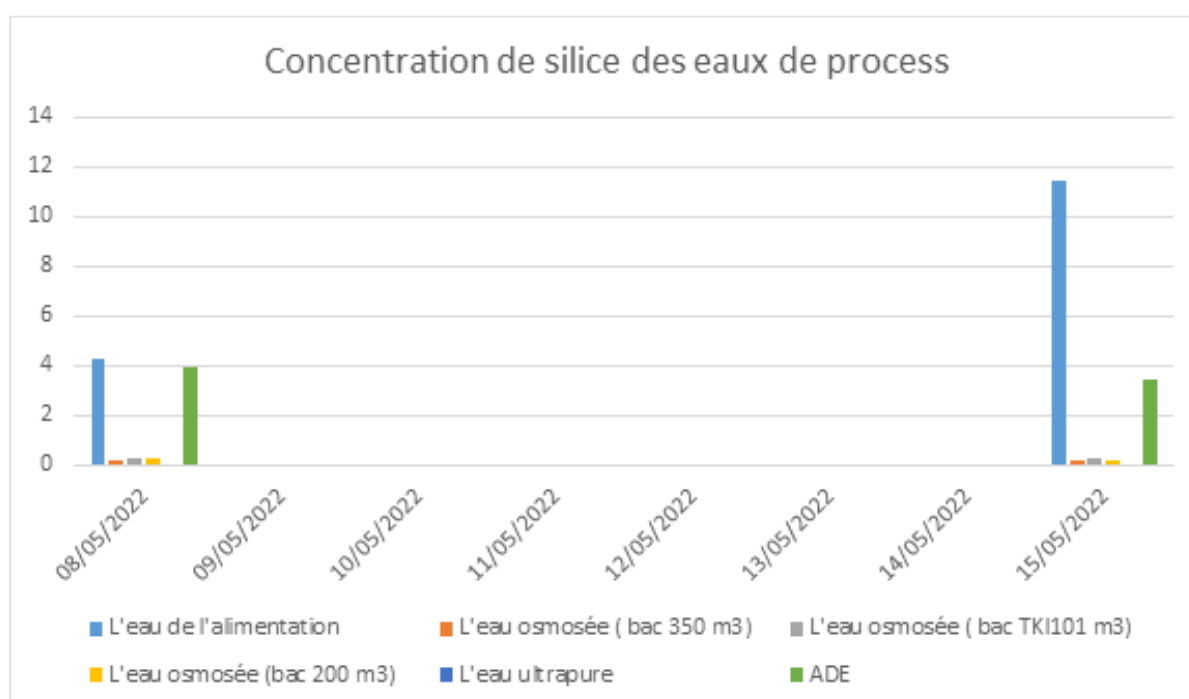


Figure V.7: Concentration de la silice des eaux de process de l'unité de CEVITAL.

V.9.2. Discussion :

D'après les résultats obtenus, on constate que la teneur en silice de l'eau de forage a une valeur 11.08 ppm. Cette valeur est inférieure à 12 ppm (valeurs de conformité). Ceci montre que l'eau de forage a une teneur faible en silice. Après traitement par la technique de l'osmose inverse, on remarque que la teneur silice est réduite à une valeur 0.18 ppm.

Tous les résultats d'analyses obtenus sont conformes aux normes.

Résultats et discussion

V.10. Teneur en Chlore libre Cl₂ :

V.10.1. Résultats :

Les différents dosages du chlore libre des échantillons d'eau sont rassemblés dans le tableau V.8 et représentés par la figure V.8.

Tableau V.9 : Suivi de la concentration en ions chlorures des différentes eaux de process de l'unité de CEVITAL.

Echantillon d'eau	Eau de forage	Eauosmosée bac 350 m ³	Eauosmosée bac 101m ³	Eauosmosée bac 200m ³	Eauultrapure	ADE
08-05-22	0.46	0.19	-	0.09	0.12	-
09-05-22	-	0.12	0.04	0.01	-	0.03
10-05-22	0.15	-	0.05	0.02	0.02	-
11-05-22	0.18	-	0.11	0.02	0.02	0.02
12-05-22	0.14	-	0.09	0.02	0.02	0.03
13-05-22	0.32	0.10	0.16	0.01	0.02	0.01
14-05-22	0.27	0.15	0.14	0.02	0.01	0.01
15-05-22	0.36	0.20	0.15	0.03	0.04	-
16-05-22	0.40	0.23	0.15	0.07	0.09	-
17-05-22	0.29	0.17	0.12	0.08	0.05	-
18-05-22	1.09	0.14	0.06	0.20	0.02	0.01
19-05-22	5.56	0.12	0.20	0.1	0.02	-
20-05-22	3.31	0.14	0.18	0.07	0.02	0.02
21-05-22	5.25	0.14	0.19	-	-	0.02
<i>Norme</i>	1.5<Cl ₂ <3	-	<0.5	0.00	0.00	0.00

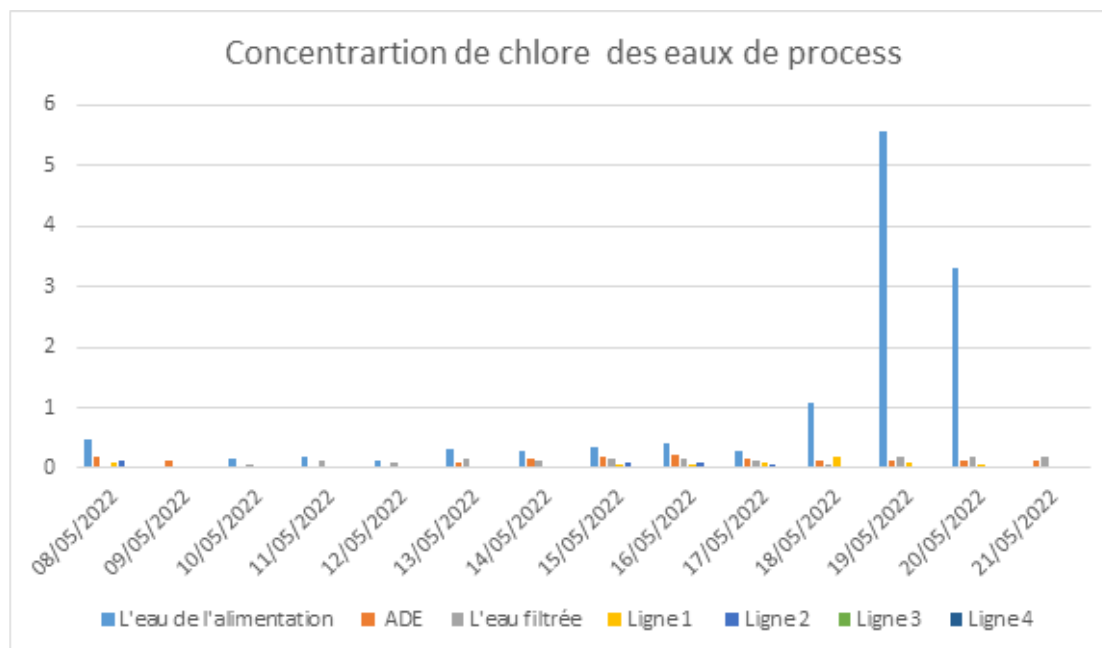


Figure V.8 : Concentration en chlore libre des eaux de process de l'unité de CEVITAL.

V.10.2. Discussion :

A partir du tableau V.9, nous observons que la concentration du chlore libre augmente dans l'eau de l'alimentation. Elle a dépassé la norme. Par contre, l'eau filtrée contient des concentrations conformes à la norme, ce qui est expliqué par l'addition de métabisulfite de sodium. Les concentrations de l'ordre de 0.01 mg/l ont été enregistrées dans l'eau osmosée, cela est expliqué par l'insuffisance de déchloration ou la faible quantité de métabisulfite de sodium ajoutée.

Il est important de signaler que la membrane d'osmose inverse sont très sensibles au chlore.

V.11. Teneur en manganèse Mn :

V.11.1. Résultats :

La concentration du manganèse des eaux analysées sont mentionnées dans le tableau V.10 et la représentation graphique des résultats dans la figure V.9.

Il y a lieu de signaler que seules l'eau de forage et l'eau de l'ADE ont été analysées pour manque de temps. Le résultat est donné en ppm.

Tableau V.10 : Concentration en manganèse des différentes eaux de process de l'unité de CEVITAL.

Echantillon	L'eau de l'alimentation	ADE
08-05-22	0.20	0.00
09-05-22	0.10	0.00
10-05-22	0.10	-
11-05-22	0.20	-
12-05-22	0.20	-
13-05-22	0.20	0.00
14-05-22	0.30	0.00
15-05-22	0.20	0.00
16-05-22	0.30	0.00
17-05-22	0.20	0.00
18-05-22	0.20	0.00
19-05-22	0.20	0.00
20-05-22	0.20	0.00
21-05-22	0.20	0.00
Norme industrielle	<1.2	50 ug/l

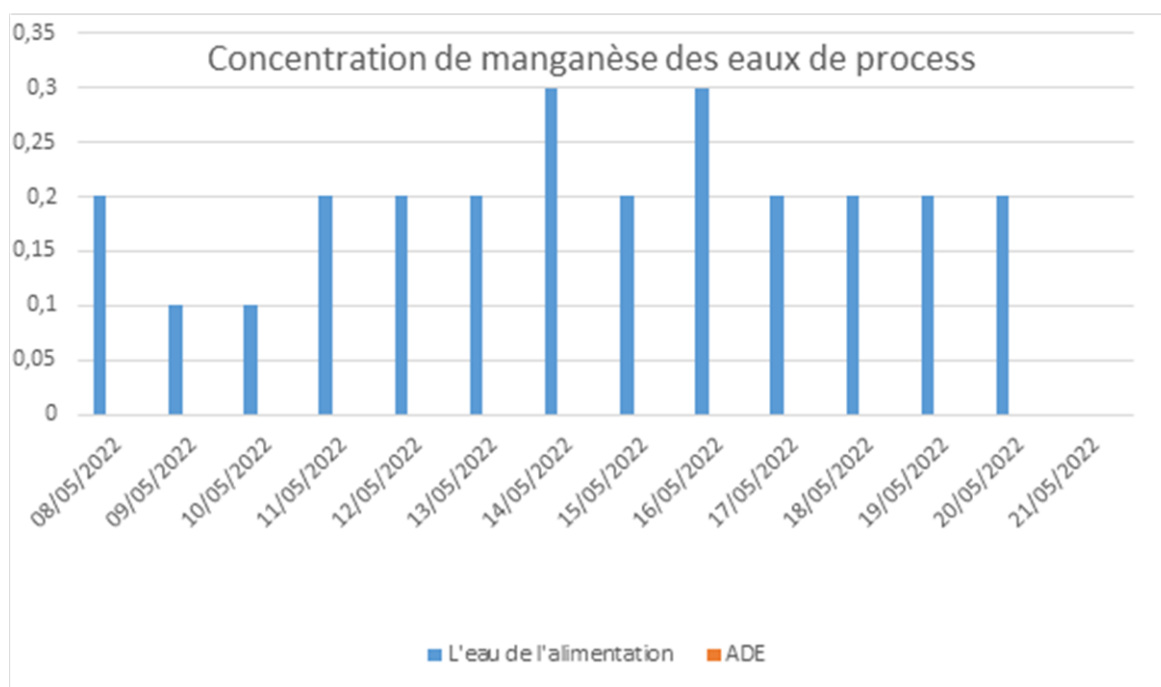


Figure V. 9: Concentration en manganèse des eaux de process de l'unité de CEVITAL.

V.11.2. Discussion :

La concentration du manganèse est très faible dans l'eau de l'alimentation et sont nulles dans l'ADE. On conclut que malgré une très faible teneur en manganèse initialement, le procédé est globalement très efficace et permet d'enlever des traces de manganèse dans les eaux . Ceci est dû en particulier à l'efficacité du CEDI qui retient fortement les ions manganiques, par électrodéposition et par échange ionique.

Conclusion
générale

Conclusion générale

A travers cette modeste étude traitant les procédés de traitement des eaux de forage d'Ibourassen (Oued Ghir) de la wilaya de Bejaia utilisées par le complexe Agroalimentaire de CEVITAL, l'obtention d'eau ultra pure met souvent en jeu, dans une étape de finition, une opération unitaire d'échange d'ions. Les performances de cette phase sont souvent limitées par des contraintes liées à la qualité d'eau de l'alimentation et du phénomène de colmatage, qui peut être rencontré lors d'une étape d'osmose inverse. On a effectué une série d'analyses physico-chimiques sur différents échantillons, à savoir l'eau brute avant et après son traitement.

Pour cela, les résultats expérimentaux sont exploités sous forme de graphiques et de tableaux auxquels se réfère une interprétation.

D'après les résultats journaliers obtenus des différents paramètres physico-chimiques : pH, conductivité, TH, $T Ca^{+2}$, TA et le TAC de l'eau à l'entrée et à la sortie du process, on peut témoigner de l'efficacité des différents procédés de traitement. En effet, à la fin du traitement, ces derniers sont conformes aux normes exigées par l'entreprise CEVITAL. Ce procédé combiné osmose inverse-électrodéionisation (CEDI) à montrer qu'il permettait l'obtention d'une eau ultrapure de très bonne qualité.

Selon les analyses hebdomadaires, la teneur en ions chlorures, manganèse, silice et le chlore Cl_2 au niveau des différents circuits de traitement indiquent une diminution graduelle en transitant par les différentes étapes de production d'eau jusqu'à atteindre des valeurs pratiquement conformes aux normes à la fin du processus. Cela montre l'efficacité de chaque étape de traitement dans la purification de l'eau et la diminution de sa dureté. Cependant, nous avons relevé la présence à l'état des traces de chlore libre alors que la norme impose son absence. C'est ce qui motive l'utilisation de l'ultra-pure par CEVITAL qui exige une eau sans ions dans le processus de la cogénération.

D'une manière générale, à l'issue de notre travail, nous pouvons déduire que l'unité d'osmose inverse de l'entreprise agroalimentaire CEVITAL, est performante et produit une eau de très bonne qualité qui répond aux normes exigées. Cette performance s'explique par l'efficacité de l'unité osmose inverse et le bon fonctionnement des modules, par le système de prétraitement appliqué et par l'entretien et le nettoyage permanent de l'installation des membranes d'osmose inverse.

Références

bibliographiques

Références Bibliographiques

- [1] : Guerd. H., Mesghoni A. (2007). Performances de la station de dessalement des eaux dans la région d'El-Oued. Mémoire d'études supérieures en biologie : biochimie : Université de Ouargla.
- [2] : Takabat F. (2012). Traitement de l'Eau de Forage par Osmose Inverse au Niveau du Complexe Agroalimentaire CEVITAL. Mémoire de master. Université de Bejaia.
- [3] : Achabou. M. A. (2013). Stratégie d'internationalisation de l'entreprise CEVITAL, Cread : p156.
- [4] : Mimouche H., Nait Idir S. (2021). Suivi des paramètres physico-chimiques des eaux de forage et traitées du complexe agroalimentaire CEVITAL. Mémoire de master. Université de Bejaia.
- [5] : Tounsi F .Z. (2015). Etude expérimentale sur les différents procédés d'analyses de l'eau de mer de Souk Tlata. Mémoire de master. Université de Tlemcen.
- [6] : Guenouche H., Legridi N. Etude du procédés combiné Electrodéionisation-cogénération et analyses physico-chimiques des eaux ultrapures de CEVITAL. Mémoire de master. Université de Bejaia.
- [7] : Dumon A. (2021). Evolution historique des idées sur l'eau. Histoire de la chimie. Edition Tec. Paris.
- [8] : Tizi M., Chaouchi Z. (2020). Suivi du traitement physico-chimique par l'osmose inverse des eaux provenant de trois forages situés à Ibourassen (Bejaia) utilisées par le complexe agroalimentaire CEVITAL. Mémoire de master. Université de Bejaia.
- [9] : Desjardins R. (1997). Le traitement des eaux. 2ème édition. Canada.
- [10] : Desjardins R. (1984). Le traitement des eaux. 2ème édition à l'école polytechnique de Montréal : p350.
- [11] : Bair H., Ghemari F. (2016). Techniques et méthodes de traitement des eaux primaires. Mémoire de master. Bejaia.
- [12] : Roval J. M. (1995). Memento technique de l'eau Tome 1. 10ème édition Degrement suez. France : p2503.

Références bibliographiques

- [13] : Cojan M., Rendard. (2003). Sédimentologie. Edition Dunod. France : p136.
- [14] : Tharreau V. (2009). Technique du traitement de l'eau dans les bâtiments. 3^{ème} Edition.
- [15] : Hachemaoui B. (2014). Qualité physico-chimique de l'eau de mer de souk Tlata. Mémoire de master. Université Tlemcen.
- [16] : Afia A., Berkane K. (2019). Production des eaux de process au niveau du complexe agroalimentaire CEVITAL-Contribution à contrôle de qualité. Mémoire de master. Université de Bejaia.
- [17] : Tradt-Henry M. (1984). Chimie des eaux. 1^{ère} Edition Griffon d'argile INC. Canada.
- [18] : Dore M. (1989). Chimie des oxydants et traitement de l'eau. Edition Tec et Doc Lavoisier. France. p505.
- [19] : Rodier J., Legub B., Merlet N., Brunet R. (2009). Analyse de l'eau. 9^{ème} Edition Dunod. Paris. p1600.
- [20] : Kettab A. (1982). Les eaux potables. Traitement des eaux. Edition Office des Publications Universitaires. Alger.
- [21] : Kemmlerf N. (1984). Manuel de l'eau, Techniques & Documentation Lavoisier. ISBN 2-85206-220-8.
- [22] : Tardart M. (1994). La chimie de l'eau. Edition Griffon d'argile. Québec: p130.
- [23] : Issaidi M., Khebat A. (2015). Contrôle du procédé combiné osmose inverse-electrodéionisation CEDI par les analyses physicochimiques des eaux de process de CEVITAL. Mémoire de master. Université de Bejaia.
- [24] : Katz W. E. (1999). EDI and membrane : practical ways to deduce chemical usage when producing high- purity water. Ultrapure water journal, p552-55.
- [25] : Sadler M. A. (1993). Developments in the production and control of ultrapure water. In: Ion exchanges processes: advances and applications [proceedings of the International Conference on Ion-Exchange (Ion-Ex'93)].
- [26] : Maurel A. (2006). Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres. 2^{ème} Edition 11, rue Lavoisier. Paris : p286.
- [27] : Technique d'ingénieur, l'ultrafiltration et l'osmose inverse. Technique de l'ingénieur,

Références bibliographiques

- [28] : Guenouche H. Legridi N. (2013). Etude du procédé combiné Electrodéionisation-Cogénération et analyse physico-chimique des eaux ultrapure de CEVITAL. Mémoire de master. Université de bejaia.
- [29] : Jaffrin M. Y., Chellam S., Bonacquisti T. P. (2000). Treatment of surface water by double membrane systems : assessment of fouling, permeate water quality and cost , In: Water supply, Vol.18,No.1,IWA publishing, p.438-441.
- [30] : Berland J. M. et JUERY C. (2022). Les procédés membranaires pour le traitement de l'eau, document technique FANDAE n° 14, nouvelle version.
- [31] : Issaadi M., Khebat A. Contrôle du procédé combiné osmose inverse-electrodéionisation CEDI par analyses physico-chimiques des eaux de process de CEVITAL .Mémoire de master. Université de Bejaia.
- [32] : Document fournées par CEVITAL.
- [33] : Lakehal A. Influence de la nature des ions et des résines échangeuses sur les performances de l'électrodéionisation/ Application aux métaux lourds pour la dépollution et aux eaux naturelles pour la déminéralisation. Mémoire de master. Université de Bejaia.
- [34] : Widiassa I. N. , Sutrisna P. D., Wenten I. G. (2004). Performance of a novalelectrodéionisation technique duringcitricacidrecovery. Separation and Purification Technology, 39, p 89-97.
- [35] : Elleuch. M., Amor B. C., Pourcelly M. B. (2006). Phosphoricacid purification by a membrane process: Electrodeionisation on ion-exchange textiles. Separation and Purification Technology 51: p285-290.
- [36] : Eliseeva T. V., Shposhink V.A., Krisilova E. V., Bukhovets A. E. (2009). Trasport of basic aminoacids through ion-exchange membranes and their recovery by electrodialysis. Desalination **241**: p86-90.
- [37] : Bouvenot J. B. Etude expérimentales et numériques de systèmes de micro cogénération couples aux bâtiments d'habitation et au réseau électrique. Thèse de Doctorat. Université de Strasbourg.

Résumé

La production d'eau pure est importante pour les industries qui nécessitent une eau de process de première qualité répondant à celles d'une eau ultra-pure. Ce type d'eau est généralement utilisé dans les industries pharmaceutiques, le domaine de la santé, pour les semi-conducteurs et agroalimentaire.

Notre travail est porté sur le procédé combiné d'osmose inverse-électrodéionisation qui permet de produire de l'eau ultrapure à partir des eaux d'alimentation issues du forage d'Ibourassen. Cette étude est faite au niveau du complexe agroalimentaire CEVITAL. L'eau obtenue dans chaque étape du process a été sujette à des analyses physico-chimiques où différents paramètres (pH, conductivité, Titre hydrotimétrique, Titre calcique, Titre alcalimétrique, Titre alcalimétrique complet, Teneur en ions chlorure, Teneur en silice, Teneur en chlore Teneur en manganèse) ont été étudiés. Ces paramètres ont permis de constater que l'eau osmosée produite est de qualité très satisfaisante, ceci due à l'entretien permanent de l'installation de l'osmose inverse et de leurs membranes d'une part, et au système de prétraitement appliqué d'une autre part.

Mots clés : Eau ultrapure, osmose inverse, électrodéionisation, process.

Abstract

Pure water production is important for industries that require premium process water that meets that of ultra-pure water. This type of water is generally used in the pharmaceutical, health, semiconductor and food industries.

Our work is focused on the combined process of reverse osmosis-electrodeionization which makes it possible to produce ultrapure water from the feed water from the Ibourassen borehole. This study is carried out at the level of the CEVITAL agri-food complex. The water obtained in each stage of the process was subjected to physico-chemical analyzes where various parameters (pH, conductivity, hydrotimetric title, calcic title, alkalimetric title, complete alkalimetric title, chloride ion content, silica content, chlorine and manganese content) have been studied. These parameters have shown that the osmosis water produced is of very satisfactory quality, due to the permanent maintenance of the reverse osmosis installation and their membranes on the one hand, and to the pretreatment system applied on the other hand.

Key word: Ultrapure water, reverse osmosis, electrodesionization, process.

Annexes

***Concentrât :**

Désigne un fluide enrichi et concentré en substance retenus par la membrane.

***Perméat :**

Phase traversant la membrane lors de la filtration, appelé aussi filtrat.

***Matières en suspension :**

Particules solides très fines présentes dans l'eau, que la pratique divise en :

- Matières décantables, qui se séparent naturellement, sans rapport de réactif, quand l'eau est au repos,
- Matières colloïdes trop fines pour décanter par gravité, mais éliminables par coagulation.

***Alcalinité :**

Teneur d'une solution en ions hydroxyde OH^- . Une solution est d'autant plus alcaline (ou basique) que son pH est élevée au-dessus de 7.

***Cation :**

Ion chargé positivement.

***Anion :**

Ion chargé négativement.

***Membrane semi -perméable :**

Membrane perméable à un liquide (solvant) et imperméable (ou peu perméable) aux substances dissoutes dans le liquide (soluté). Il existe des membranes semi-perméables naturelles (certains tissus animaux et végétaux) et des membranes synthétiques (polyamides, acétate de cellulose) utilisées en osmose inverse.

***Pression osmotique :**

La pression osmotique, dans le phénomène d'osmose, est une force déterminée par une différence de concentration entre deux solutions situées de part et d'autre d'une membrane

semi-perméable. Les forces osmotiques favorisent la diffusion des substances à travers la membrane, en milieu interne, le solvant passe de la solution la moins concentrée vers la solution la plus concentrée. La pression osmotique définit le minimum de pression qui doit être appliquée à une à une solution pour empêcher l'écoulement vers l'intérieur de l'eau à travers une membrane semi-perméable. Elle est généralement définie comme la mesure de la tendance d'une solution à prendre de l'eau par l'osmose.

***Module :**

Ensemble élémentaire d'une installation de séparation par membranes comprenant un ou plusieurs éléments filtrants (membranes) et les éléments nécessaires à leur insertion dans un procédé (carter, cadre, tuyauterie..).

Il existe plusieurs type de modules (plan, tubulaire, fibres creuses, spirale), qui correspondent aux différentes géométries de membranes (planes, tubulaires, fibres creuses).

***Hypochlorite de sodium NaOCl (Eau javel) :**

L'hypochlorite de sodium est un composé chimique de formule brute NaOCl, C'est un solide blanc très instable couramment utilisé en solution aqueuse comme agent désinfectant et agent blanchiment, notamment sous forme d'eau de javel pour un usage domestique.

***Floculent (TD-FLOC) :**

C'est un polymère (c'est -à-dire une molécule constitué par le répétitions d'un motif de base) qui emprisonne les matières colloïdes agglomérées et forme ainsi des flocons volumineux qui se déposent par sédimentation et peuvent être plus facilement arrêtés par les filtres.

***Produits séquestrants :**

Au sens chimique, sont des ligands qui forment des complexes chimiques avec les ions métalliques, tels que le cuivre, le fer qui servent comme catalyseur dans l'oxydation des matières grasses. Donc, ils limitent la disponibilité de ses cations, aussi sont des agents contestateurs et des antioxydants.

Les séquestrant communs sont :

- Acide éthylène-diamine-tétra-acétique ($C_{10}H_{16}N_2O_8$).
- Acétate de sodium (C_3COONa).

***Séquestrant (TD-ASCAL) :**

C'est le nom commercial du séquestrant utilisé avant les filtre à cartouche dans l'unité de production des eaux au niveau du complexe CEVITAL.

***Métabisulfite de sodium ($\text{NA}_2\text{S}_2\text{O}_3$) :**

Le métabisulfite de sodium ou pyrosulfite est un désinfectant, antioxydant et conservateur alimentaire jaunâtre. Il est couramment utilisé dans le brassage et la vinification pour désinfecter les équipements, il est utilisé comme un agent de nettoyage pour les membranes d'osmose inverse utilisées dans le traitement de l'eau potable et pour les systèmes de dessalement. Il est également utilisé pour éliminer le chloramine de l'eau potable après le traitement.

***Produit biocide :**

Le mot biocide (étymologiquement : bio + cide « qui tue la vie »), désigne une large famille de substance chimique qui regroupe les pesticides, les antiparasitaire et les antibiotiques à usages médicaux, vétérinaire, domestique ou industrie, les désinfections de l'eau, de l'air...etc.

***Colmatage :**

Le colmatage peut être défini comme la conséquence des phénomènes résultant du passage de la matière à travers la membrane.

***CIP (Cleaning in place "Nettoyage en place (NEP)" :**

Eléments de conception de l'installation qui permettent de disposer sur l'installation des moyens permettant de réaliser le nettoyage.

***TD-WASH 1 :**

C'est le nom commercial de la solution acide utilisée pour le lavage des membranes au niveau de Cevital.

***TD-WASH 2 :**

C'est le nom commercial de la solution basique utilisée pour le lavage des membranes au niveau de cevital.

*Bâche alimentaire :

Capacité destinée au stockage de l'eau d'alimentation d'une chaudière à vapeur.

*Pyroliste :

Dioxyde naturel de manganèse, dont la molécule contient d'un atome de manganèse et 2 atomes d'oxygène (MnO_2). C'est un solide cristallin noir.

*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.

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

Préparation des solutions pour le laboratoire des eaux :

- **Hydroxyde de sodium NaOH à 1N** : 40.8g de NaOH à 98% dans 1L d'eau distillée.
- **Hydroxyde de sodium NaOH à 0.1N** : 4.08 g de NaOH à 98% dans 1L d'eau distillée.
- **Acide sulfurique H_2SO_4 à 1N** : 2707 ml de H_2SO_4 à 96%.
- **Acide sulfurique H_2SO_4 à 0.02N** : 0.5548 ml de H_2SO_4 à 96%.
- **EDTA ($C_{10}H_{16}N_2O_8$) à 0.02N** : 3.7224 g d'EDTA dans 1 L d'eau distillée.
- **Métabisulfite ($Na_2S_2O_8$) anhydre à 1N** : 158.11 g dans 1L d'eau distillée.
- **Métabisulfite ($Na_2S_2O_8$) $5H_2O$ à 1N** : 248.2 g dans 1L d'eau distillée.
- **Nitrate d'argent ($AgNO_3$) à 1N** : 169 g dans 1L d'eau distillée.
- **Nitrate d'argent ($AgNO_3$) à 0.04N** : 6.828g dans 1L d'eau distillée.
- **Méthyle orange** : 1 g dans 100 ml d'eau distillée.
- **Phénolphtaléine** : 1 g dans 100 ml d'alcool.
- **Noir ériochrome** : 0.4 g dans 100 ml d'alcool.
- **Chromate de potassium (K_2CrO_4)** : 10 g dans 100 ml d'eau distillée.
- **Tampon ammoniacale** : 54 g NH_4Cl et 350 ml NH_4OH dans 1L d'eau distillée.
- **Murexid** : 200 g de NaCl, 0.25 g de murexide et 0.75 g de bleu de méthylène.