

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université MIRA BEJAIA

Faculté de Technologie

Département de Génie des Procédés



## Mémoire de fin d'étude

Présenté par

M<sup>elle</sup> MADI Amira & M<sup>elle</sup> HACINI Fairouz

Pour l'obtention du diplôme de

## Master

Filière : Génie des Procédés

Option : Génie chimique

Thème :

*Suivi des paramètres physico-chimiques des eaux  
d'alimentation des chaudières de la raffinerie de  
sucre au niveau de « Cevital »*

Soutenue le 01/07/2023

Devant le jury composé de :

| Nom et Prénom       | Grade |                      |              |
|---------------------|-------|----------------------|--------------|
| Mme BENMERAD Chadia | MCA   | Université de Bejaia | Présidente   |
| Mme BOURAS Kahina   | MCA   | Université de Bejaia | Examinatrice |
| Mme AGUERSSIF Nadia | MCB   | Université de Bejaia | Promotrice   |

Promotion : 2022-2023

# **Remerciements**

*Tout d'abord, on remercie le bon Dieu de nous avoir accordé la santé, le courage et la force d'aller jusqu'au bout de notre travail.*

*Nous remercions notre promotrice Mme Aguerssif Nadia, Maitre de Conférences à l'université de Bejaia pour l'honneur qu'elle nous a fait de nous avoir encadrés et d'avoir dirigé ce travail.*

*Nous remercions Mme Mancer responsable de laboratoire des eaux Cevital Bejaia de nous avoir bien accueilli de guider tout au long de notre stage.*

*Nos sincères remerciements vont à toute l'équipe du laboratoire pour leurs bonnes explications et leur aide.*

*On tient à remercier profondément les membres de jury, qui nous ont faits l'honneur de juger et d'examiner ce modeste travail.*

*Nous ne pouvons pas oublier de remercier tous les membres de nos familles pour leurs soutiens et leurs encouragements.*

*Enfin, nos remerciements à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce projet de fin études*

# Dédicace

*A l'aide d'Allah, le tout puissant, j'ai pu réaliser ce modeste travail que je dédie :*  
*A mon cher papa, mon précieux offre du dieu, pour son amour, son soutien, ses encouragements pour tout ce qu'il m'a apporté et les valeurs qu'il m'a enseignées, je vous serais toujours reconnaissante. Que dieu vous garde à mes côtés.*  
*A la prunelle de mes yeux, Maman, la femme qui a souffert sans me laisser souffrir, qui n'a jamais cessée de me soutenir et de m'épauler pour que je puisse atteindre mes objectifs. Que dieu vous procure bonheur, santé et longue vie. Que ce travail soit pour vous un motif de fierté.*  
*A ma petite sœur Djida, ma binôme de vie, celle qui ne m'as jamais laissée tomber que dieu te réalise tous tes souhaits.*  
*A mes frères Hocine et Sid Ali, je vous souhaite beaucoup de bonheur et de réussite, que dieu vous préserve.*  
*A la mémoire de ma tante Khadîdja, grand-mère Djamila et mes grands-pères qui auraient tant aimés assister à cet exploit. Que Dieu les accueille en son vaste paradis.*  
*A mon fiancé Sofiane, ma force quotidienne celui qui m'encourage et arrive à me soulever quand je suis au plus bas, toujours présent dans les meilleurs et les pires moments.*  
*A mes tantes, oncles, cousins et cousines et à toute la famille MADI et Chaban chaouch.*  
*A mes collègues et mes amies pour les sympathiques moments qu'on a passés ensemble.*  
*Et surtout à ma binôme et amie Hacini Fairouz avec laquelle j'ai pris beaucoup de plaisir à travailler. Nous avons formé une belle équipe, je te remercie donc pour tout ce que tu m'as apporté au cours de cette année partagée.*  
*A toute la promotion Génie des procédés 2022/2023 et A tout le personnel du département de Génie des procédés, et surtout à tous les enseignants qui ont participé à la réalisation de toutes mes étude*



**- Amira -**

# *Dédicace*

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude avant tout au DIEU qui m'a aidé et donné le courage pour mener à bien ce modeste travail.

J'ai l'honneur et le plaisir de dédier ce travail à tous nombreux qui ont partagé cette période importante de ma vie.

A mon cher père qui m'a soutenue et encouragée toute au long de mon parcours ses conseils

A ma chère mère qui m'a apporté son appui durant toutes mes années d'étude, pour son sacrifice et soutien qui m'a donné l'amour, le courage et la sécurité.

A mes sœurs Siham, Daouia, Chahinez, Amel et Lina.

A mes frères Lyazid et Abd Elhak.

A mes tantes, oncles, cousins et cousines et à toute la famille HACINI et KERBOUS.

A mes collègues et mes amies Leila, Lydia, Natacha, yasminne, Nawal, Syla, Souad, Zahra, Adja, Nacima, Raouf, Bilal, Walid et Islam. Et surtout à ma binôme Madi Amira qui j'ai la joie et l'honneur de travailler avec elle sur ce travail sans oublier sa famille.

A toute la promotion Génie des procédés 2022/2023 et A tout le personnel du département de Génie des procédés, et surtout à tous les enseignants qui ont participé à la réalisation de toutes mes études.



- **Fairouz** -

# ***Sommaire***

### REMERCIEMENTS

### DEDICACE

### DEDICACE

### SOMMAIRE

LISTE D'ABREVIATION

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES FIGURES

**INTRODUCTION GENERALE..... 1**

### *Chapitre I*

### **TRAITEMENTS DES EAUX**

|   |    |
|---|----|
| I.1 Généralités sur l'eau.....  | 4  |
| I.1.1 Définition .....  | 4  |
| I.1.2 Composants de l'eau naturelle .....                                   | 4  |
| I.1.2.1 Matières en suspension (MES).....                                   | 4  |
| I.1.2.2 Matières minérales .....  | 4  |
| I.1.2.3 Matières colloïdales.....   | 5  |
| I.1.2.4 Matières organiques .....   | 5  |
| I.1.3 Types d'eau .....   | 6  |
| I.1.3.1 Eaux Souterraines.....  | 6  |
| I.1.3.2 Eaux superficielles .....   | 6  |
| I.1.4 Paramètres de qualité des eaux.....                                   | 7  |
| I.1.4.1 Paramètres organoleptiques.....                                     | 7  |
| I.1.4.1.1 Couleur .....   | 7  |
| I.1.4.1.2 Turbidité .....   | 7  |
| I.1.4.1.3 Odeur.....  | 8  |
| I.1.4.1.4 Goût et saveur.....   | 8  |
| I.1.4.2 Paramètre physique .....  | 8  |
| I.1.4.2.1 Température .....   | 8  |
| I.1.4.2.2 Potentiel hydrogène (pH) .....                                    | 8  |
| I.1.4.2.3 Conductivité .....  | 9  |
| I.1.4.3 Paramètres chimiques.....   | 9  |
| I.1.4.3.1 Chlorures (Cl <sup>-</sup> ).....                                 | 9  |
| I.1.4.3.2 Dureté totale (TH) .....  | 9  |
| I.1.4.3.3 Titre alcalimétrique (TA) .....                                   | 10 |
| I.1.4.3.4 Titre alcalimétrique complet (TAC).....                           | 10 |
| I.1.4.3.5 Calcium (Ca <sup>2+</sup> ) .....                                 | 10 |
| I.1.4.3.6 Magnésium (Mg <sup>2+</sup> ) .....                               | 10 |
| I.1.4.3.7 Salinité.....   | 11 |
| I.1.5 Pollution des eaux .....  | 11 |
| I.1.5.1 Industrie.....  | 11 |
| I.1.5.2 Agriculture .....   | 11 |
| I.1.5.3 Pollution d'origine naturelle.....                                  | 11 |
| I.1.5.4 Pollution par les substances associées au traitement de l'eau ..... | 12 |
| I.2 Présentation de l'entreprise Cevital.....                               | 12 |

## **Sommaire**

---

|   |    |
|---|----|
| I.2.1 Les activités et les missions de CEVITAL.....               | 13 |
| I.2.2 Production et traitement de l'eau au niveau de Cevital..... | 14 |
| I.2.2.1 Osmose inverse .....                                      | 14 |
| I.2.2.2 Procédé d'osmose inverse .....                            | 15 |
| I.2.2.2.1 Système d'alimentation en eau brute.....                | 15 |
| I.2.2.2.2 Traitement physico-chimique.....                        | 15 |
| I.2.2.2.3 Systèmes de prétraitement.....                          | 17 |
| I.2.2.2.4 Système d'osmose inverse .....                          | 20 |
| I.2.3 Eau ultra pure .....  | 21 |
| I.2.3.1 Production de l'eau ultra pure .....                      | 21 |
| I.2.4 La cogénération.....  | 22 |

### **Chapitre II**

#### **GENERALITE SUR LES CHAUDIERES**

|   |    |
|---|----|
| II.1 Définition.....  | 24 |
| II.2 Différents types de chaudières .....   | 24 |
| II.2.1 Les chaudières à tubes de fumée.....   | 24 |
| II.2.1.1 Fonctionnement.....  | 24 |
| II.2.1.2 Production de vapeur surchauffée.....  | 25 |
| II.2.1.3 Précautions.....   | 25 |
| II.2.2 Les chaudières à tubes d'eau.....  | 26 |
| II.2.2.1 Fonctionnement.....  | 26 |
| II.2.2.2 Production de vapeur surchauffée.....  | 26 |
| II.2.2.3 Précautions .....  | 27 |
| II.3 Constitution de la chaufferie .....  | 27 |
| II.3.1 Echangeur de chaleur.....  | 27 |
| II.3.2 Bâche alimentaire.....   | 27 |
| II.3.3 Dégazeur thermique .....   | 27 |
| II.3.4 Post-traitement de l'eau alimentaire .....                                       | 27 |
| II.3.5 L'économiseur .....  | 28 |
| II.3.6 Chaudière à vapeur .....   | 28 |
| II.4 Eaux d'alimentation des chaudières industrielles .....                             | 29 |
| II.4.1 Cycle de l'eau dans les chaudières.....  | 29 |
| II.5 Présentation du circuit de chaudière de l'entreprise .....                         | 30 |
| II.5.1 Chaudière LOOS.....  | 30 |
| II.6 Problèmes rencontrés dans les circuits de chaudières.....                          | 32 |
| II.7 Nécessité de traitement des eaux d'alimentation des chaudières des condensats..... | 33 |
| II.7.1 Traitement externe .....   | 33 |

### **Chapitre III**

#### **MATERIELS ET METHODES**

|   |    |
|---|----|
| III.1 Appareillage et méthodes .....        | 37 |
| III.2 Méthodes électrochimiques .....       | 37 |
| III.2.1 Le potentiel d'hydrogène (pH) ..... | 37 |
| III.2.2 La conductivité .....               | 38 |
| III.3 Méthodes titrimétriques.....          | 39 |

## *Sommaire*

---

|  |    |
|--|----|
| III.3.1 Le titre hydrotimétrique total (dureté total).....   | 39 |
| III.3.2 Le titre alcalimétrique (TA).....                    | 41 |
| III.3.3 Le titre alcalimétrique complet (TAC) .....          | 42 |
| III.3.4 Dosage des chlorures par la méthode de « MOHR »..... | 43 |
| III.4 Méthodes spectrophotométriques .....                   | 45 |
| III.4.1 Mesure des sulfites .....                            | 46 |
| III.4.2 Mesure des Phosphate total .....                     | 46 |
| III.4.3 Mesure du fer.....                                   | 47 |
| III.4.4 Mesure de la silice .....                            | 47 |
| III.4.5 Mesure du chlore libre.....                          | 48 |
| III.4.6 Mesure du manganèse .....                            | 49 |

### *Chapitre IV*

#### **RESULTATS ET DISCUSSION**

|  |           |
|--|-----------|
| IV.1 Méthodes électrochimiques (analyses journalières) .....       | 51        |
| IV.1.1 Potentiel d'hydrogène (PH).....                             | 51        |
| IV.1.2 Conductivité .....  | 52        |
| IV.2 Méthodes titrimétriques (analyses journalières).....          | 53        |
| IV.2.1 Le titre hydrotimétrique (TH).....                          | 53        |
| IV.2.2 Le Titre alcalimétrique (TA) .....                          | 53        |
| IV.2.3 Titre alcalimétrique complet (TAC).....                     | 54        |
| IV.2.4 Mesure de chlorures (Cl <sup>-</sup> ) .....                | 55        |
| IV.3 Méthodes spectrophotométriques (analyses hebdomadaires) ..... | 55        |
| IV.3.1 Teneur en Silice.....                                       | 56        |
| IV.3.2 Mesure de la teneur en Fer .....                            | 56        |
| IV.3.3 Mesure de la teneur en Phosphates.....                      | 57        |
| IV.3.4 Mesure de la Teneur en Sulfites .....                       | 58        |
| <b>CONCLUSION GENERALE.....</b>                                    | <b>59</b> |
| <b>LISTE BIBLIOGRAPHIE.....</b>                                    | <b>62</b> |
| <b>ANNEXES .....</b>   | <b>66</b> |

## *Liste d'abréviation*

---

### **Liste d'abréviation**

**AgNO<sub>3</sub>** : Nitrate d'argent.

**°C** : Degré Celsius.

**CIP**: lavage sur place (Cleaning In Place).

**cm** : centimètre.

**DCO** : Demande Chimique en Oxygène.

**DBO<sub>5</sub>** : Demande Biochimique en Oxygène.

**EDTA** : Acide Ethylène diamine Tétra Acétique.

**°F** : Degré Français.

**Kg** : Kilogramme.

**L** : litre.

**Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>** : thiosulfate de sodium (Métabisulfite de sodium).

**mg** : milligramme.

**m** : mètre.

**MES** : Matière en suspension.

**NET** : Noir Eriochrome Toluène.

**OI** : Osmose Inverse.

**pH** : Potentiel Hydrogène.

**ppm** : parties par millions.

**ppb** : parties par billions

**K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>4</sub>** : dichromate de potassium.

## *Liste d'abréviation*

---

**TH** : Titre Hydrotimétrique ( $T_{Ca} + T_{Mg}$ ).

**TA** : Titre Alcalimétrique.

**TAC** : Titre alcalimétrique complet.

**TDS** : Totale des substances dissoutes.

**TD-FLOC** : floculant.

**µs** : micro semence.

## *Liste des tableaux*

---

### **Liste des tableaux**

|   |    |
|---|----|
| <i>Tableau I-1: Eléments majeurs de l'eau</i> .....   | 5  |
| <i>Tableau I-2: Principales différence entre eaux de surface et eaux souterraines</i> ..... | 7  |
| <i>Tableau I-3: Normes d'eau potable selon l'Algérie et selon l'OMS</i> .....               | 8  |
| <i>Tableau IV-1: Valeurs de PH à la chaufferie</i> .....                                    | 73 |
| <i>Tableau IV-2: Valeur de la conductivité à la chaufferie</i> .....                        | 74 |
| <i>Tableau IV-3: Valeur de la dureté totale à la chaufferie</i> .....                       | 75 |
| <i>Tableau IV-4: Valeurs de titre alcalimétrique à la chaufferie</i> .....                  | 76 |
| <i>Tableau IV-5: Valeurs de titre alcalimétrique complet à la chaufferie</i> .....          | 77 |
| <i>Tableau IV-6: Valeurs des chlorures à la chaufferie</i> .....                            | 78 |
| <i>Tableau IV-7: Valeurs de Silice à la chaufferie</i> .....                                | 79 |
| <i>Tableau IV-8: Valeurs de Fer à la chaufferie</i> .....                                   | 79 |
| <i>Tableau IV-9: Valeurs des Phosphates à la chaufferie</i> .....                           | 80 |
| <i>Tableau IV-10: Valeurs des Sulfites à la chaufferie</i> .....                            | 80 |

## Liste des figures

---

### Liste des figures

|  |    |
|--|----|
| <i>Figure I-1 : Situation géographique du complexe de Cevital extraite du plan de masse de l'entreprise.....</i> | 13 |
| <i>Figure I-2 : Principe de l'osmose et de l'osmose inverse.....</i>   | 15 |
| <i>Figure I-3 : Schéma du processus de traitement de l'eau au niveau Cevital .....</i>                           | 16 |
| <i>Figure I-4 : Photographie du dosage de produit séquestrant avant les filtres à cartouche .....</i>            | 19 |
| <i>Figure I-5 : Filtre à cartouche.....</i>  | 20 |
| <i>Figure I-6 : Une des lignes d'osmose inverse au niveau de Cevital.....</i>                                    | 21 |
| <i>Figure I-7 : Processus de traitement d'eau dans CEVITAL.....</i>  | 22 |
| <i>Figure II-1 : Description chaudière à tube de fumée .....</i>   | 25 |
| <i>Figure II-2 : Description chaudière à tubes d'eau.....</i>  | 26 |
| <i>Figure II-3 : Cycle de l'eau en chaudière .....</i>   | 29 |
| <i>Figure II-4 : Schéma de la chaufferie.....</i>  | 31 |
| <i>Figure II-5 : Schéma illustre l'entrée de l'eau ultrapure dans une chaudière au niveau de Cevital .....</i>   | 32 |
| <i>Figure III-1 : PH - mètre.....</i>  | 37 |
| <i>Figure III-2 : Conductimètre.....</i>   | 38 |
| <i>Figure III-3 : Dosage de la dureté total.....</i>   | 40 |
| <i>Figure III-4 : Dosage alcalimétrique .....</i>  | 42 |
| <i>Figure III-5 : Dosage alcalimétrique complet.....</i>   | 43 |
| <i>Figure III-6 : Dosage des chlorures.....</i>  | 45 |
| <i>Figure III-7 : L'appareil NANOCOLORO UV/VIS.....</i>  | 45 |
| <i>Figure IV-1 : Variation du pH à la chaufferie.....</i>  | 51 |
| <i>Figure IV-2 : Variation de la conductivité électrique à la chaufferie .....</i>                               | 52 |
| <i>Figure IV-3 : Variation de TH à la chaufferie.....</i>  | 53 |
| <i>Figure IV-4 : Variation de TA à la chaufferie .....</i>   | 54 |
| <i>Figure IV-5 : Variation de TAC à la chaufferie .....</i>  | 54 |
| <i>Figure IV-6 : Variation des Chlorures à la chaufferie .....</i>   | 55 |
| <i>Figure IV-7 : Variation de Silice à la chaufferie.....</i>  | 56 |
| <i>Figure IV-8 : Variation de la quantité de Fer total à la chaufferie.....</i>                                  | 57 |
| <i>Figure IV-9 : Variation de la teneur en phosphate à la chaufferie .....</i>                                   | 57 |
| <i>Figure IV-10 : Variation de la teneur en Sulfite à la chaufferie.....</i>                                     | 58 |

# ***Introduction Générale***

## *Introduction Générale*

---

L'eau, sur terre, est un or bleu omniprésent et indispensable à la vie, elle revêt donc une grande importance pour tous les êtres vivants. Elle est source de vie, mais aussi objet de culte. De nos jours elle est même devenue un produit commercial très important.

On peut trouver l'eau sous trois formes ou « états » : liquide, solide et gazeux. Sur terre c'est sous sa forme liquide qu'elle est la plus répandue. C'est pourquoi notre planète est aussi appelée " planète bleue ".

Dans l'industrie moderne, les chaudières occupent un rôle essentiel dans la plupart des applications industrielles et sont devenues un critère important dans l'investissement des entreprises. Elles sont, dans le monde entier, l'objet d'une évolution technologique considérable, par suite d'un développement de leur application dans divers domaines : chimie, pétrochimie, industrie agroalimentaire, production d'énergie électrique...

Les chaudières vapeur ou d'eau chaude sont couramment utilisées dans l'industrie agroalimentaire pour différentes applications, mais l'eau utilisée peut causer des problèmes tels que la corrosion et l'entartrage, ce qui peut entraîner des conséquences graves. Pour éviter ces problèmes, il est important de surveiller régulièrement les paramètres physico-chimiques de l'eau alimentaire des chaudières et de les traiter en conséquence. Un suivi rigoureux peut prévenir les pannes, améliorer la sécurité, prolonger la durée de vie des équipements et réduire la consommation d'énergie.

Afin de réduire les dégâts occasionnés par l'eau et pour garantir un fonctionnement optimisé de la chaudière et des équipements auxiliaires, il est indispensable que les eaux d'alimentation répondent à des critères de qualité rigoureux. Cette eau doit être dépourvue des sels minéraux, de gaz en particulier l'oxygène et le dioxyde de carbone et débarrassée des matières en suspension.

Pour toutes ces raisons, il ne suffit pas seulement de pomper l'eau du réservoir, mais encore il faut la traiter avant d'arriver à la chaudière. Les méthodes de traitement sont très variables selon la composition de l'eau brute. D'une manière générale l'eau doit être débarrassée des matières solides en suspension, dessalée, déminéralisée, dégazée puis conditionnée par addition d'espèces réductrices.

## *Introduction Générale*

---

Dans ce contexte, les entreprises industrielles s'efforcent constamment d'améliorer la qualité des eaux alimentant leurs chaudières et de se conformer à des normes de qualité de plus en plus strictes.

On a effectué un stage pratique au niveau de l'entreprise CEVITAL de Béjaïa, au cours de ce stage, il a été question de travailler sur le cycle de l'eau au sein de cette entreprise en nous focalisant sur le contrôle de qualité des eaux de chaudières.

Ce présent mémoire s'articulera autour de quatre chapitres principaux. Le premier chapitre sur traitement des eaux est divisé en deux parties la première c'est la généralité sur l'eau et présentation de l'entreprise Cevital

Dans le deuxième chapitre, généralité sur les chaudières, ainsi que la présentation du circuit de chaudières. Le troisième chapitre sera quant à lui dédié aux matériels et méthodes utilisés pour nos analyses des propriétés physico-chimiques des eaux.

Enfin, le quatrième chapitre de cette étude est consacré à la présentation des résultats ainsi qu'à leurs discussions.

# *Chapitre I*

## *Traitements des eaux*

## **I.1 Généralités sur l'eau**

L'eau est un élément indispensable à notre planète et près de 71% de la surface de la terre est recouverte d'eau [1], pour cela la terre est souvent appelée la planète bleue. C'est la seule substance qu'on trouve dans ses trois phases à l'état naturel : solide (glace, neige) ; liquide (eau liquide) et gazeux (vapeur d'eau) [2].

### **I.1.1 Définition**

L'eau est un corps composé liquide transparent, incolore et insipide, dont les molécules sont formées de deux atomes d'hydrogène et d'un atome d'oxygène ( $H_2O$ ), elle s'enrichit de gaz, sels minéraux, matières organiques. Elle bout à 100 °C à la pression atmosphérique et se solidifie à 0 °C [3].

### **I.1.2 Composants de l'eau naturelle**

Les substances présentes dans l'eau peuvent être classées selon deux modes différents :

- Suivant leur nature chimique : organique ou minérale ;
- Suivant leur état physique : matière dissoutes, colloïdales, ou en suspension.

#### **I.1.2.1 Matières en suspension (MES)**

Les matières en suspension sont des particules solides très fines qui comprennent toutes les matières minérales ou organiques qui ne se solubilisent pas dans l'eau. Elles incluent les argiles, les sables, les limons, les matières organiques et minérales de faible dimension, le plancton et autres micro-organismes de l'eau. Elles sont généralement visibles à l'œil nu et déterminent la turbidité de l'eau. La détermination des matières en suspension dans l'eau s'effectue par filtration ou par centrifugation. [4]

#### **I.1.2.2 Matières minérales**

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

Tableau I-1: Eléments majeurs de l'eau

| Types de minéraux | Anions       | Cations   |
|-------------------|--------------|-----------|
| Sels minéraux     | Carbonates   | Sodium    |
|                   | Bicarbonates | Calcium   |
|                   | Silicates    | Magnésium |
|                   | Sulfates     | Fer       |
|                   | Chlorures    | Potassium |
|                   | Nitrates     |           |

### I.1.2.3 Matières colloïdales

L'état colloïdal est un état intermédiaire entre l'état dissous et la suspension. Les matières colloïdales sont constituées d'éléments de petite taille chargés négativement, ce qui explique qu'ils se repoussent et se répartissent de façon dispersée et désordonnée dans la masse liquide. Aussi, leur élimination de l'eau à traiter est difficile car elles ne décantent pas de manière spontanée et sont peu retenues par les filtres. On devra utiliser des réactifs chimiques qui neutralisent les charges négatives superficielles et permettent leur agrégation [5].

### I.1.2.4 Matières organiques

Ce sont, par définition, des composés du carbone, de l'hydrogène, de l'oxygène et de l'azote. Ces matières proviennent soit de l'érosion des sols, soit de la décomposition des matières animales ou végétales qui se retrouvent dans l'eau. Elles se décomposent du fait de leur instabilité chimique et par l'action des microorganismes de l'eau en formant des composés de plus en plus simples [5].

➤ **Demande Chimique en Oxygène (DCO)**

La demande chimique en oxygène (DCO) est la quantité d'oxygène consommée par les matières existant dans l'eau et oxydables dans des conditions opératoires définies, qu'elles soient biodégradables ou non biodégradables [7].

➤ **Demande biochimique en oxygène (DBO<sub>5</sub>)**

C'est la quantité d'oxygène exprimée en milligrammes, qui est consommée dans les conditions d'essai (incubation durant 05jours à 20°C et à l'obscurité) par certaines matières présentes dans 1litre d'eau [7].

### **I.1.3 Types d'eau**

#### **I.1.3.1 Eaux Souterraines**

Elles sont souvent de meilleures qualités que les eaux de surface. Leurs teneurs en matières organiques dépendent du chemin suivi par les eaux d'infiltration qui alimentent les nappes souterraines [9]. Du point de vue hydrogéologique les couches aquifères se divisent en :

- Nappes phréatiques ou alluviales : peu profondes et alimentées directement par les précipitations pluvieuses ou les écoulements d'eau en dessus.
- Nappes captives : plus profondes que les premiers et séparées de la surface par une couche imperméables, l'alimentation de ces nappes est assurée par l'infiltration sur leurs bordures [10].

#### **I.1.3.2 Eaux superficielles**

Ce type des eaux englobe toutes les eaux circulantes ou stockées à la surface des continents (rivières, lacs, étangs, barrages...). La composition chimique des eaux de surface dépend de la nature des terrains traversés Par ces eaux durant leurs parcours dans l'ensemble des bassins versants.

Ces eaux sont le siège, dans la plupart des cas, d'un développement d'une vie microbienne à cause des déchets rejetés dedans et de l'importante surface de contact avec le milieu extérieur [10].

Tableau I-2: Principales différences entre eaux de surface et eaux souterraines [9]

| Caractéristique                       | Eaux de surface   | Eaux souterraines  |
|---------------------------------------|---|--|
| Température                           | Variable suivant saisons  | Relativement constante   |
| Turbidité                             | Variable, parfois élevée  | Faible ou nulle (sauf en terrain Karstique)  |
| Couleur                               | Liée surtout aux MES sauf dans les eaux très douces et acides (acides humiques)                                       | Liée surtout aux matières en solution (acides humique...)  |
| Minéralisation globale                | Variable en fonction des terrains, des précipitations, des rejets...  | Sensiblement constante en général nettement plus élevée que dans les eaux de surface de la même région |
| Fer et Manganèse dissous              | Généralement absents  | Généralement présents  |
| Nitrates                              | Peu abondants en général  | Teneur parfois élevée  |
| Micropolluants minéraux et organiques | Présents dans les eaux de pays développés, mais susceptibles de disparaître rapidement après suppression de la source | Généralement absents mais une pollution accident subsiste beaucoup plus longtemps                      |
| Éléments vivants                      | Bactéries, virus  | Ferro bactéries fréquentes   |

## I.1.4 Paramètres de qualité des eaux

### I.1.4.1 Paramètres organoleptiques

#### I.1.4.1.1 Couleur

La couleur de l'eau est due aux différents éléments qui s'y trouvent à l'état dissous ou colloïdal. L'eau de boisson ne doit pas présenter une coloration qui dépasse 15 mg/l à l'échelle platine... [11]

#### I.1.4.1.2 Turbidité

La turbidité d'une eau est l'inverse de sa transparence ; elle est due à la présence des matières en suspension dans l'eau.

L'eau de boisson ne doit présenter une turbidité supérieure à 5NTU... Une faible part de la turbidité peut être due également à la présence de matières colloïdales d'origine organique ou minérale [11]. (Voir tableau I.3)

#### I.1.4.1.3 Odeur

Une eau destinée à l'alimentation doit être inodore. La présence d'une odeur est un signe de pollution ou de la présence de la matière organique en décomposition [11].

#### I.1.4.1.4 Goût et saveur

Le goût peut être défini comme l'ensemble des sensations gustatives, olfactives et de sensibilité chimique commune perçue lors de la boisson dans la bouche [5].

La saveur peut être définie comme l'ensemble des sensations perçues à la suite de la stimulation par certaines substances solubles des bourgeons gustatifs [5].

### I.1.4.2 Paramètre physique

#### I.1.4.2.1 Température

La température influe considérablement sur la vitesse des réactions chimiques ou biochimiques dans l'eau, la température optimale de l'eau de consommation est entre 9°C et 12°C. Elle ne doit pas dépasser 25°C [12]. (Voir tableau I.3)

#### I.1.4.2.2 Potentiel hydrogène (pH)

Le PH influe sur les phénomènes de corrosion ou d'entartrage des conduites. On admet que le PH des eaux de consommation doit être compris entre 6.5 et 8.5 [12]. (Voir tableau I.3)

*Tableau I-3: Normes d'eau potable selon l'Algérie et selon l'OMS (source ADE).*

| Paramètre   | Unité | Norme algérienne | Norme de l'OMS |
|-------------|-------|------------------|----------------|
| Température | C°    | 25               | 25             |
| PH          | /     | 6.5-8.5          | 6.5-9.2        |

|                                    |              |             |            |
|------------------------------------|--------------|-------------|------------|
| <b>Conductivité</b>                | <b>µs/cm</b> | <b>2800</b> | <b>/</b>   |
| <b>Turbidité</b>                   | <b>NTU</b>   | <b>2</b>    | <b>5</b>   |
| <b>Dureté total (TH)</b>           | <b>Mg/l</b>  | <b>500</b>  | <b>500</b> |
| <b>Calcium (Ca<sup>++</sup>)</b>   | <b>Mg/l</b>  | <b>200</b>  | <b>/</b>   |
| <b>Magnésium (Mg<sup>++</sup>)</b> | <b>Mg/l</b>  | <b>150</b>  | <b>150</b> |
| <b>Chlorure (Cl<sup>-</sup>)</b>   | <b>Mg/l</b>  | <b>500</b>  | <b>250</b> |

### I.1.4.2.3 Conductivité

La conductivité est la propriété que possède une eau de favoriser le passage d'un courant électrique. Elle est due à la présence dans le milieu d'ions qui sont mobiles dans un champ électrique. Elle dépend de la nature de ces ions dissous et de leurs concentrations [13]. (Voir tableau I.3)

### I.1.4.3 Paramètres chimiques

#### I.1.4.3.1 Chlorures (Cl<sup>-</sup>)

Les chlorures sont des anions inorganiques importants contenus en concentrations variables dans les eaux naturelles, généralement sous forme de sels de sodium (NaCl) et de Potassium (KCl). Ils sont souvent utilisés comme un indice de pollution [14]. (Voir tableau I.3)

#### I.1.4.3.2 Dureté totale (TH)

La dureté d'une eau est associée à la présence en solution et à l'état dissous des ions bivalents calcium (Ca<sup>2+</sup>) et magnésium (Mg<sup>2+</sup>). (Voir tableau I.3)

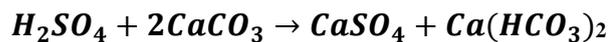
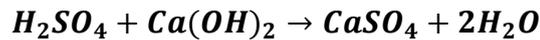
La dureté de l'eau provoque :

- La consommation excessive du savon
- Une corrosion des conduites et des chaudières due à des précipitations du carbonate de calcium (CaCO<sub>3</sub>) [15].

### I.1.4.3.3 Titre alcalimétrique (TA)

La teneur en hydroxyde (OH), est la moitié de la teneur en carbonate  $CO_3^{2-}$  et un tiers environ des phosphates présents [15].

$$TA = [OH^-] + \frac{1}{2}[CO_3^{2-}] + \frac{1}{3}[PO_4^{-3}]$$

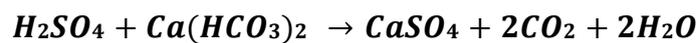
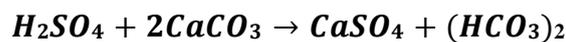
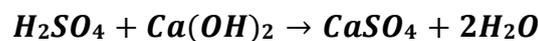


### I.1.4.3.4 Titre alcalimétrique complet (TAC)

Il correspond à la teneur en ions  $OH^-$ ,  $(CO_3)^{2-}$  et  $(HCO_3)^-$  pour des pH inférieurs à 8.3, la teneur en ions  $OH^-$  et  $(CO_3)^{2-}$  est négligeable (TA=0), dans ce cas la mesure de TAC correspondant au dosage des bicarbonates seuls [15].

On peut alors écrire :

$$TAC = [OH^-] + [CO_3^{2-}] + [HCO_3^-]$$



### I.1.4.3.5 Calcium ( $Ca^{2+}$ )

Le calcium est un métal alcalino-terreux et un composant majeur de la dureté totale de l'eau, le calcium est généralement l'élément dominant des eaux potables. Les eaux de bonne qualité renferment de 250 à 350 mg/l. Les eaux dont la quantité de calcium dépasse les 500 mg/l présente de sérieux inconvénients pour les usages domestiques et pour l'alimentation des chaudières [16]. (Voir tableau I.3)

### I.1.4.3.6 Magnésium ( $Mg^{2+}$ )

Le magnésium est plus abondant après le calcium par rapport au sodium et au potassium et peut avoir deux gains : Les calcaires dolomitiques qui libèrent le magnésium

par dissolution, en présence du gaz carbonique La dissolution du  $MgSO_4$  des terrains gypseux du Trias situés au Sud [16]. (Voir tableau I.3)

#### **I.1.4.3.7 Salinité**

La salinité totale d'une eau correspond à la somme des cations et des anions présents exprimée en mg/l[17].

### **I.1.5 Pollution des eaux**

La pollution des eaux peut être définie comme une dégradation de celle-ci par les éléments qu'elle a accumulée de son utilisation. Ces éléments indésirables proviennent des excréments chimiques, des rejets provenant d'industries divers, du lessivage des terrains traversées. Le problème de la pollution des eaux représente sans aucun doute l'un des aspects les plus inquiétants de la dégradation du milieu naturel [10].

#### **I.1.5.1 Industrie**

Les activités industrielles rejettent un bon nombre de substances qui vont polluer nos rivières et nos nappes, parfois d'une manière intensive que l'on n'en connaît pas les effets long terme [10].

#### **I.1.5.2 Agriculture**

Elle utilise des engrais chimiques azotés et phosphorés, des produits phytosanitaires destinés à protéger les cultures, ces produits parfois toxiques lorsqu'ils sont utilisés en excès vont contaminer en période de pluie les eaux de surface et les eaux souterraines par infiltration [10].

#### **I.1.5.3 Pollution d'origine naturelle**

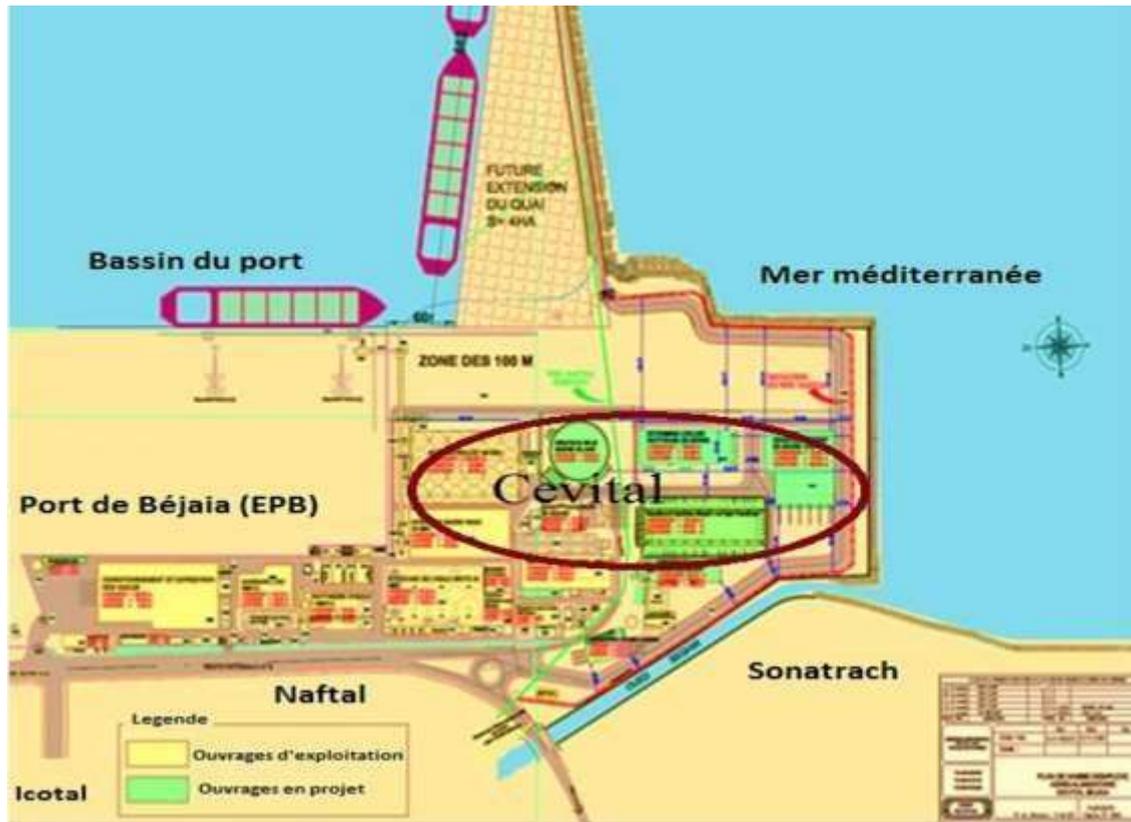
Certaines substances naturellement présentes dans l'environnement entraînent parfois des problèmes de contamination de l'eau potable. L'eau souterraine est particulièrement vulnérable lorsqu'il y a présence de métaux dans les formations géologiques environnantes [10].

#### **I.1.5.4 Pollution par les substances associées au traitement de l'eau**

La chloration de l'eau dans le but de la rendre potable est un procédé très répandu et reconnu efficace. Cependant, bien qu'il soit efficace pour contrôler principalement les virus et les bactéries, le chlore, en présence de matières organiques, entraîne la formation de plusieurs sous-produits de chloration (SPC) potentiellement cancérigènes comme par exemple les trihalométhanes (THM). Le sulfate d'aluminium est un produit utilisé pour coaguler les substances contenues dans l'eau. L'eau ainsi traitée présente des concentrations d'aluminium plus élevées que dans l'eau non traitée [10].

### **I.2 Présentation de l'entreprise Cevital**

Cevital SPA a été créée avec des fonds privés en 1998 ; elle est la première société privée dans l'industrie du raffinage des huiles brutes sur le marché Algérien. Elle est implantée au niveau du nouveau quai du port de Bejaia à 3 Km au sud-ouest de cette ville, à proximité de la RN 26. Elle est limitée au Nord et au Nord-Est par la mer méditerranée, à l'Ouest par le port de Bejaia, au Sud-Est par l'entreprise Sonagraphe et enfin au Sud-Ouest par l'entreprise Naftal (**Figure I.1**) [24]. Cette entreprise a vu une évolution dans les cinq premières années [18].



*Figure I-1 : Situation géographique du complexe de Cevital extraite du plan de masse de l'entreprise.*

### I.2.1 Les activités et les missions de CEVITAL

Cevital contribue largement au développement de l'industrie agroalimentaire nationale. Elle vise à satisfaire le marché national et à exporter le surplus, en offrant une large gamme de produits de qualité. Les principales activités de ce complexe concernent la production et la commercialisation des huiles végétales, de la margarine et du sucre. Ses différentes activités sont [19] :

- Raffinage des huiles avec une capacité de production de 1800 tonnes/jour ;
- Conditionnement des huiles ;
- Production de margarines avec une capacité de 600 tonnes/jour ;
- Fabrication d'emballages Polyéthylène- Téréphtalate (PET) ;
- Raffinage du sucre avec une capacité de production de 1600 tonnes/jour ;

- Stockage de céréales ;
- Eau minérale et boissons ;
- Station d'épuration des eaux usées ;
- Sucre liquide

### I.2.2 Production et traitement de l'eau au niveau de Cevital

Au niveau du CEVITAL, l'eau brute utilisée est une eau obtenue à partir de deux sources :

- La première source située au niveau de Tichyhaff (Bejaïa).
- La deuxième source est une eau de forage issue d'un puits artésien situé à Ibourassen environ 12km du complexe à Oued Ghir (Bejaïa). L'eau de forage au niveau d'Ibourassen doit passer par 4 bassins en cascade et cela afin d'éliminer la matière solide en suspension. On injecte l'hypochlorite de sodium, l'eau prétraite est envoyée vers le complexe osmose inverse [19]. Après un certain temps de fonctionnement on isole un bassin pour nettoyer le fond.

#### I.2.2.1 Osmose inverse

L'osmose inverse utilise des membranes denses qui laissent passer le solvant et arrêtent tous les sels. Pour comprendre l'osmose inverse, expliquons tout d'abord le phénomène d'osmose. C'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 concentrée. La différence de concentration crée une pression, appelée pression osmotique.

Pour les solutions suffisamment diluées, la **pression osmotique**, notée  $\pi$ , peut être calculée par la loi de Van 'Hoff [20] :

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

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

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

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

$T$  = la température absolue de la solution en kelvin

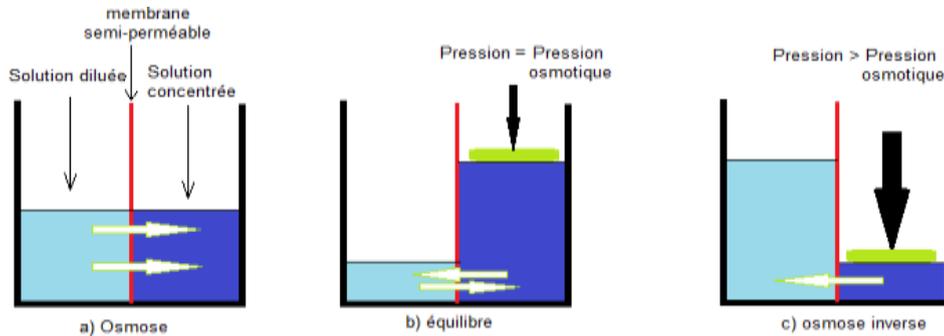


Figure I-2 : Principe de l'osmose et de l'osmose inverse

### I.2.2.2 Procédé d'osmose inverse

Le procédé de traitement des eaux par osmose inverse se divise en divers sous-systèmes décrits ci-dessous :

#### I.2.2.2.1 Système d'alimentation en eau brute

L'eau brute utilisée au niveau de l'osmose inverse est l'eau de forage. L'eau est pompée puis acheminée vers un bassin de pré-décantation de 120 m de long et 30 m de large. A ce niveau, de l'hypochlorite de sodium est dosé favorisant l'oxydation des ions ferreux et la formation de l'hydroxyde de fer capable de se précipiter et on injecte le coagulant et flocculant pour former une biomasse qui sera retirée au niveau de la filtration à sable [19].

#### I.2.2.2.2 Traitement physico-chimique

##### a. Coagulation-floculation

La coagulation-floculation est un procédé physico-chimique de clarification des eaux. Il réside dans la formation, par l'addition de coagulant, de trames floconneuses appelées "Flocs" [21].

**b. Coagulation**

La coagulation est un processus qui consiste à neutraliser les charges portées par les substances colloïdales ou dissoutes indésirables à l'aide d'un produit chimique décharge opposée, appelé coagulant avec une agitation rapide, afin de faciliter leur agglomération en flocons décantables ou filtrables.

**c. Floculation**

La floculation est l'étape de traitement qui suit la coagulation. Elle vise à favoriser la croissance de flocons par une agitation lente et prolongée de l'eau provenant des bassins de coagulation. Elle est réalisée dans un bassin pourvu d'une unité mécanique d'agitation et implique habituellement l'ajout d'un floculant [22].

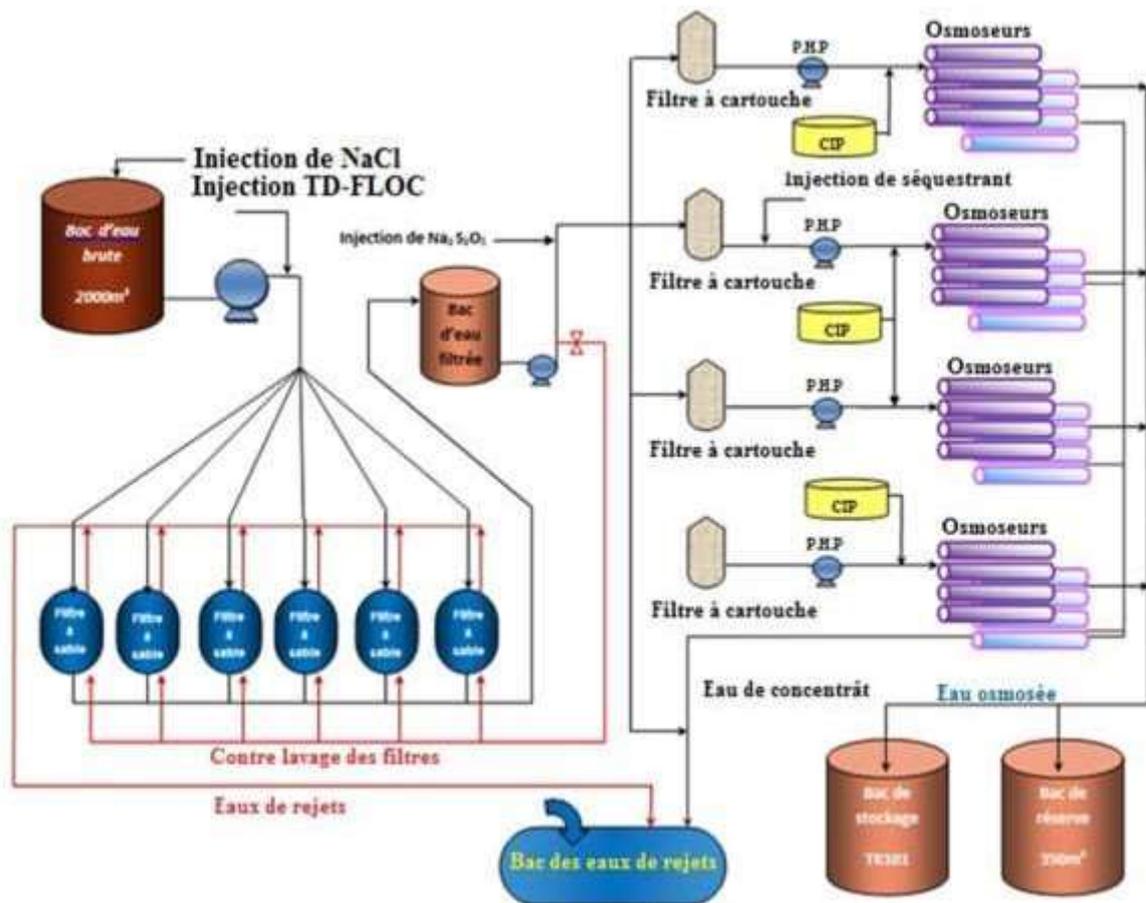
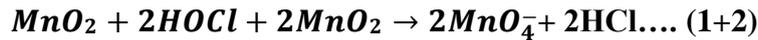


Figure I-3 : Schéma du processus de traitement de l'eau au niveau Cevital [19]

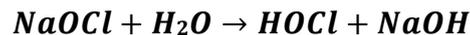
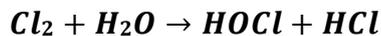
### I.2.2.2.3 Systèmes de prétraitement

#### a. Groupe de stérilisation et régénération du dioxyde de manganèse

La chloration est nécessaire pour la croissance biologique qui cause le bio-colmatage de la membrane, et elle permet aussi la régénération du dioxyde de manganèse par réaction catalytique [24].



Le chlore est ajouté sous la forme d'hypochlorite de sodium (NaOCl) ou de gaz dichlore (Cl<sub>2</sub>) qui est hydrolysé sous la forme d'acide hypochloreux (HOCl) selon les formules suivantes.



Pour éliminer le fer, le produit TD-FLOC est dosé. On utilise aussi le MnO<sub>2</sub> par l'oxydation des ions ferreux pour former de l'hydroxyde de fer [24].

#### b. Groupe de préfiltration avec des filtres à sable

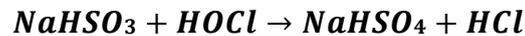
Pour éviter l'entassement des filtres à cartouche, six filtres à sable ayant un diamètre supérieur à 40 microns retiennent les particules en suspension [24]. Ces filtres sont constitués de réservoir, Le plus souvent cylindrique, contenant un lit de sable calibré (granulométries comprise entre 0,4 et 1mm), sur laquelle l'eau à clarifier circule de haut en bas. Les impuretés sont pour la plupart retenues à la surface de lit de sable et, pour le reste, dans les couches hautes du lit filtrant. Lorsque le filtre est colmaté, le sable est lavé par un contre-courant pendant 4 à 15 minutes. Un jeu de vannes ou une vanne multivoie permet d'inverser le flux d'eau qui traverse la masse de sable pendant la phase de service et durant les lavages [25].

**c. Réservoir d'eau filtrée**

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

**d. Groupe de déchloration**

Sur la ligne d'alimentation d'osmose, et avant les filtres à cartouche, du métabisulfite de sodium est dosé pour neutraliser le chlore libre. Ce peut oxyder les parois superficielles des membranes en polyamide. La réaction du métabisulfite de sodium avec le chlore et l'eau est la suivante :



L'avantage du métabisulfite par rapport aux autres techniques (filtres à charbon actif ...) est qu'il est aussi un réducteur d'oxygène, ce qui ralentit considérablement le développement des germes sur l'osmoseur [23].

**e. Groupe de dosage de produits séquestrant**

Avant les filtres à cartouche, une quantité préétablie de produit séquestrant est dosée dans l'eau d'alimentation pour permettre la dispersion des carbonates de calcium, des sulfates de calcium ...etc. Il retarde ainsi leur précipitation, et de cette manière, les membranes s'entassent moins rapidement et le nombre de CIP (lavage sur place) diminue [23]

- CIP : Lorsque la pression d'exercice sur les membranes diminue de 10% pour les mêmes conditions d'exercice, il est nécessaire de laver les membranes avec un produit acide ou basique le produit acide est un mélange de : HCL + Eau osmosée [19].

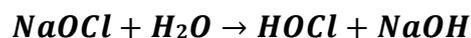
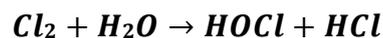


*Figure I-4 : Photographie du dosage de produit séquestrant avant les filtres à cartouche*  
[19]

#### f. Groupe de dosage de produits biocides

Pour éviter toute prolifération bactérienne et formation de bio films, il est prévu de doser une fois par semaine pendant une demi-heure un produit biocide [23].

Des biocides fréquemment utilisés pour assainir l'eau sont le chlore ( $Cl_2$ ) ou les dérivés chlorés comme l'acide hypochloreux ( $HOCl$ ), le dioxyde de chlore ( $ClO_2$ ) ou l'hypochlorite de sodium ( $NaOCl$ ), le dosage (le nettoyage) s'effectue d'une demi-heure jusqu'à trois heures pour chaque ligne des membranes d'osmose [18].



Dans l'eau, l'acide hypochloreux se dissocie en ions hydrogène ( $H^+$ ) et hypochlorite ( $OCl^-$ )



La somme du  $Cl_2$ ,  $NaOCl$ ,  $HOCl$  et  $OCl^-$  constitue le chlore résiduel libre. Une concentration en chlore résiduel libre de 0,5 à 1,0 doit être maintenue le long de la filière de prétraitement pour empêcher le colmatage de la membrane.

**g. Filtres à cartouche**

D'après cette (**figure I.5**) constitués d'une enveloppe de pression contenant une ou plusieurs cartouches avec un orifice d'arrivée d'eau à filtrer et un orifice de sortie d'eau filtrée [24]. Ils sont prévus pour éliminer toutes les particules ayant un diamètre supérieur à 5 microns [23].



*Figure I-5 : Filtre à cartouche*

**h. Contre lavage**

Il permet de prévenir l'excessive perte de pression causée par les particules retenues dans les filtres. Le contre lavage s'effectue avec de l'eau filtrée et le lavage final avec de l'eau brute [24].

**I.2.2.2.4 Système d'osmose inverse**

C'est la section principale de tout le système, il est composé de quatre lignes 100m<sup>3</sup>/h chacune. L'eau provenant des filtres de sécurité est envoyée aux modules R1, R2, R3 et R4 par des pompes hautes pressions [23].



*Figure I-6 : Une des lignes d'osmose inverse au niveau de Cevital [19].*

Dans ces module-là (**figure I.6**), l'eau est séparée en eau déminéralisée et concentré (eau de décharge). L'eau produite est stockée et acheminée vers les chaudières par deux pompes centrifuges [19].

### **I.2.3 Eau ultra pure**

Une définition théorique de l'eau ultra pure pourrait être celle d'une « eau » ne contenant que des molécules  $H_2O$ , en équilibre avec des ions  $H^+$  et  $OH^-$  en très faibles teneurs ( $10^{-7}$  mol/l à 25 °C) lui assurant une neutralité ( $PH = 7$ ). Dans la pratique, on appelle généralement « eau ultra pure », une eau contenant moins de  $1\mu g/kg$  d'impuretés ioniques ainsi qu'un très faible taux de Particule et contaminants Microbiens [26].

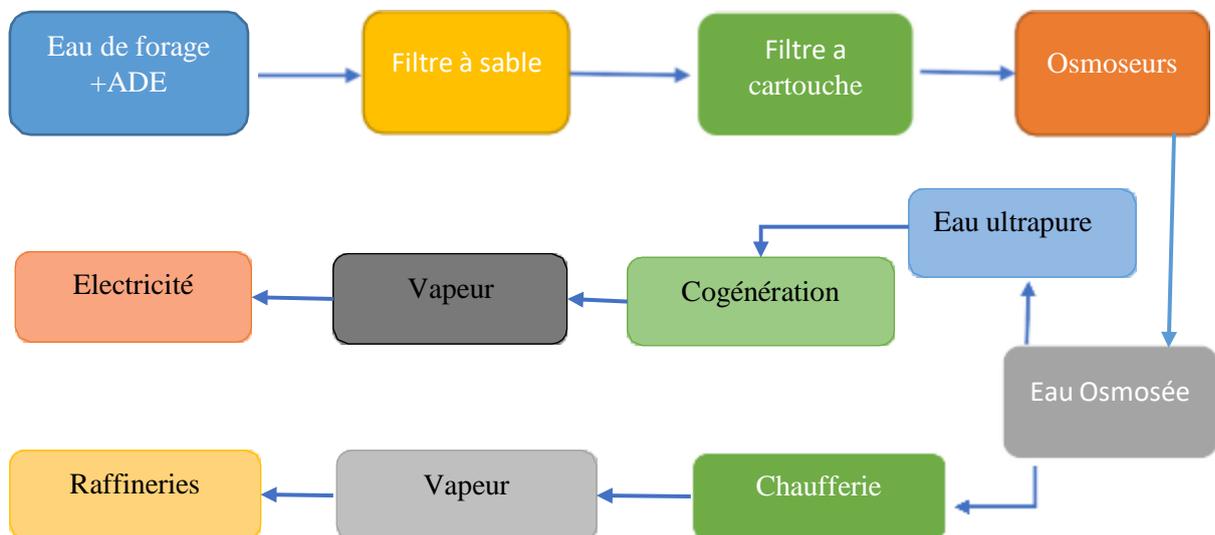
#### **I.2.3.1 Production de l'eau ultra pure**

L'eau ultra pure est produite par la station de traitement d'eau à partir de l'eau osmosée produite. Elle est acheminée vers un bac de stockage de  $300\text{ m}^3$  qui sert d'appoint à la bache alimentaire [19]. L'entreprise Cevital utilise de l'eau ultrapure dans les circuits de refroidissements et dans les chaudières pour produire de la vapeur spécifiquement au sein des chaudières STEIN.

### I.2.4 La cogénération

C'est une production combinée de chaleur/force qui recouvre un ensemble de techniques de production et délivrant de façon simultanée de l'énergie thermique et de l'énergie mécanique, cette dernière étant le plus souvent utilisée pour produire de l'électricité par couplage à un alternateur. L'énergie primaire utilisée peut être le fuel, le gaz, le charbon, le bois ou les déchets ménagers [19].

La centrale de cogénération CEVITAL utilise l'eau ultra pure ne contenant presque aucune impureté ionique, avec un très faible taux de particules et éléments chimiques, c'est une eau ne contenant presque que les molécules H<sub>2</sub>O.



*Figure I-7 : Processus de traitement d'eau dans CEVITAL [19]*

*III. Chapitre II*

*Généralité sur les  
chaudières*

## **II.1 Définition**

Une chaudière peut être définie comme un système dans lequel l'énergie d'un combustible (entrée) est cédée et transférée à un liquide pris dans le cas des chaudières à vapeur, l'énergie produite permet de changer l'état d'une phase liquide à une phase gazeuse (sortie).

C'est un dispositif permettant de chauffer l'eau et de produire de la vapeur si l'eau est chauffée au-delà de la pression atmosphérique. Industriellement, on utilise les chaudières pour produire la vapeur nécessaire au fonctionnement des procédés [27].

## **II.2 Différents types de chaudières**

On distingue deux types de chaudière à combustible en fonction de la circulation de l'eau à chauffer par rapport à la chaleur de combustion :[27].

- Les chaudières à tube de fumée
- Les chaudières à tube d'eau

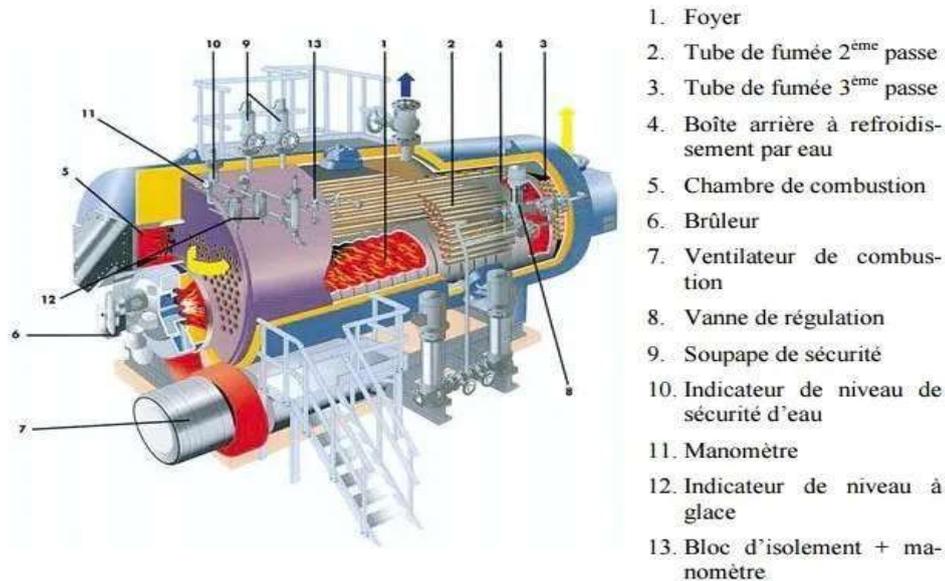
### **II.2.1 Les chaudières à tubes de fumée**

Ce type de chaudière fournit un débit de vapeur saturée de 1 à 25 tonnes/heure, en basse et moyenne pression. Le combustible utilisé est soit du gaz soit du fioul. Eau préalablement traitée par osmose inverse. L'utilisation de chaudière à tubes de fumées qu'on nomme aussi (chaudière Loos) s'applique principalement à des procédés industriels comme l'agro-alimentaire, le domaine pharmaceutique.

#### **II.2.1.1 Fonctionnement**

Une chaudière vapeur à tubes de fumées est constituée d'un grand réservoir d'eau traversé par des tubes dans lesquels circulent les fumées. Le tube foyer, qui se trouve dans le ballon même de la chaudière, sous le plan d'eau, collecte les gaz chauds en sortie de brûleur. Les gaz chauds, accumulés dans un premier caisson à l'arrière de la chaudière, sont véhiculés par un groupe de tubes immergés dans l'eau du ballon vers un second caisson à l'avant de la chaudière. Un second groupe de tubes immergés emmène les gaz vers un troisième caisson à l'arrière de la chaudière, ce troisième caisson débouche sur la cheminée

pour évacuation des fumées vers l'extérieur. Il y a donc circulation des gaz de combustion dans des tubes assurant, par conduction vers l'eau de la cuve, la vaporisation par rapport de calories [31].



*Figure II-1 : Description chaudière à tube de fumée*

### II.2.1.2 Production de vapeur surchauffée

La vapeur est produite par la montée en température d'un grand volume d'eau contenu dans une virole sous pression au moyen de gaz chauds obtenus par la combustion de combustibles liquides ou gazeux circulant dans des tubes immergés [31].

### II.2.1.3 Précautions

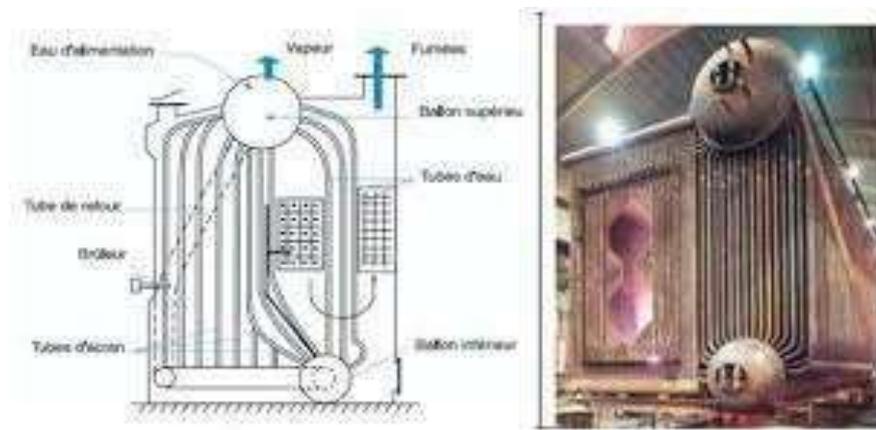
Il est impératif de traiter l'eau de chaudière afin d'éviter le dépôt de tartre à l'extérieur du tube foyer et des tubes de fumée. En effet, le tartre provoquerait un mauvais échange thermique, un temps de mise en pression-température plus long, un risque de surchauffe au niveau de tube foyer, une surconsommation de combustible et une augmentation de la température des fumées au niveau de la cheminée [31].

## II.2.2 Les chaudières à tubes d'eau

Ce type de chaudière fournit un débit de vapeur saturée supérieur à 20 tonnes/heure, en moyenne et haute pression. Le combustible utilisé est soit du gaz, du fioul, du charbon ou déchets.

### II.2.2.1 Fonctionnement

Ce type de chaudière possède deux réservoirs appelés ballon distributeur (en partie inférieure) et ballon collecteur (ou encore ballon de vaporisation, en partie supérieure), reliés par un faisceau de tubes vaporisateurs, dans cet ensemble circule l'eau qui se transforme en vapeur. Les gaz chauds produits par le brûleur sont directement en contact avec les tubes vaporisateurs, à l'intérieur de ceux-ci se produit la vaporisation. La vapeur ainsi générée est collectée dans le ballon supérieur, l'eau excédentaire est ramenée vers le ballon inférieur par des tubes de chute non soumis à la chaleur. Dans le domaine des hautes pressions, une pompe peut être installée pour faciliter cette circulation du haut vers le bas. Il y a donc circulation de l'eau dans des tubes placés à l'intérieur d'une enceinte contenant les gaz chauds [32].



*Figure II-2 : Description chaudière à tubes d'eau*

### II.2.2.2 Production de vapeur surchauffée

Dans une chaudière à tubes d'eau, la tuyauterie qui prend en charge la vapeur saturée retourne dans le foyer, les gaz chauds apportent à cette vapeur saturée une énergie supplémentaire qui en élève la température sans en modifier la pression. On obtient ainsi de la vapeur surchauffée à la sortie [32].

### **II.2.2.3 Précautions**

L'obturation des tubes pourrait se révéler dangereuse d'où la nécessité de traiter l'eau de chaudière. La paroi extérieure des tubes est exposée aux dépôts de suies et nécessite une action de ramonage pendant le fonctionnement de la chaudière. Cette action est obtenue par injection de vapeur ou d'air comprimé via un tube perforé [32].

## **II.3 Constitution de la chaufferie**

### **II.3.1 Echangeur de chaleur**

Une partie de l'eau alimentant la bache passe par un échangeur thermique à plaque qui permet d'élever la température de cette eau à 45°C [19].

### **II.3.2 Bâche alimentaire**

La bache alimentaire est un réservoir d'eau de 50 m<sup>3</sup> qui sert à équilibrer le débit d'eau et permet de préparer l'eau de la chaudière. Elle est située au minimum à 2 mètres au-dessus des chaudières. La bache est alimentée en eau déminéralisée en passant par un dégazeur thermique et sera préchauffée par la vapeur collectée sur le réseau. Le traitement thermique permet de laisser la bache de dégazage sous une pression de 0,25 bar ce qui nous assure une température de 105°C [19].

### **II.3.3 Dégazeur thermique**

Le dégazeur thermique est conçu pour enlever à l'eau d'appoint l'oxygène et le gaz carbonique qu'elle contient. L'élimination physique des gaz est réalisée par un brassage et une ébullition importante. Dans la tête du dégazeur, l'eau est pulvérisée en un maximum de gouttelettes et en entourant celles-ci d'une atmosphère de vapeur, cela donne un rapport surface/masse suffisamment important pour permettre un transfert thermique rapide vers l'eau qui atteint rapidement la température de saturation. De cette façon, les gaz dissous sont libérés et entraînés vers l'atmosphère [19].

### **II.3.4 Post-traitement de l'eau alimentaire**

Pour éviter la corrosion, les traces d'oxygène encore présentes après le dégazage (0,02mg/l) sont éliminées par l'ajout du sulfite de sodium ou le NALCO77216. Pour

alcaliniser le milieu à un pH avoisinant 9, du phosphate trisodique ou NALCO77225 est dosé [19].

### **II.3.5 L'économiseur**

Les gaz d'échappement des chaudières contiennent une énergie considérable à un niveau de température élevé ; l'économiseur utilise cette énergie en préchauffant l'eau d'alimentation et augmentant ainsi la performance des chaudières de 5 à 7% et en consommant moins d'énergie [19].

### **II.3.6 Chaudière à vapeur**

La chaufferie est composée de quatre chaudières de marque LOOS d'une capacité de 40Tonne /heure chacune à une pression de service de 14 bars. Chaque chaudière est équipée de deux brûleurs utilisant comme combustible le gaz naturel. Les chaudières sont du type « à tube de fumée » [18]. Les gaz circulent à l'intérieur des tubes entourés par l'eau de la chaudière.

Chaque chaudière est équipée de :

➤ **Brûleurs**

Le brûleur a pour rôle de créer un mélange air – gaz aussi homogène que possible et dans les proportions exigées pour avoir un rendement thermique meilleur.

➤ **Instruments de contrôle de niveau**

Le contrôle de niveau agit directement sur l'arrivée de combustible afin de l'arrêter au cas où l'eau atteindrait un niveau critique au-dessus des surfaces de chauffes, en cas d'arrêt d'alimentation en eau.

➤ **Pot d'éclatement**

La réglementation interdit de jeter de l'eau à une température élevée dans les égouts. Le rôle du pot est de refroidir l'eau des purges grâce à un serpentin d'eau froide.

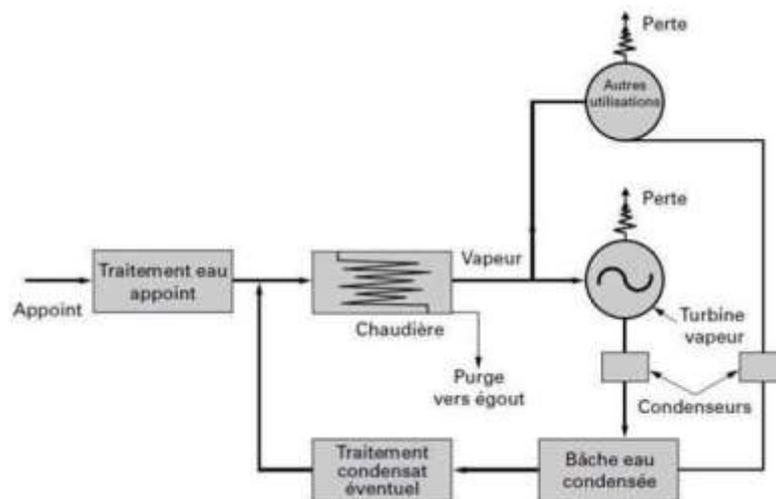
### ➤ Les purges

Les purges permettent de maintenir en permanence la teneur en sel de l'eau de la chaudière dans les limites admissibles. On distingue deux types de purges : les purges de surfaces et les purges de fond [19].

## II.4 Eaux d'alimentation des chaudières industrielles

### II.4.1 Cycle de l'eau dans les chaudières

Quel que soit le type de chaudière considéré, on peut schématiser très simplement le cycle de l'eau de la manière suivante (Figure II.3).



**Figure II-3 : Cycle de l'eau en chaudière [27]**

L'appareil reçoit de l'eau d'alimentation qui est constituée par une proportion variable de condensat appelée aussi « eau de retour » et d'eau neuve, plus ou moins épurée, dite « eau d'appoint ». La vapeur, qui s'échappe de la zone de vaporisation, contient fréquemment des vésicules liquides (primage) et gaz (en particulier le gaz carbonique). Aux pressions élevées, Elle véhicule des sels volatilés par un véritable « entrainement à la vapeur », tels que de la silice et, aux très hautes températures, des chlorures [28].

L'eau restée sous forme liquide à la partie inférieure de la chaudière se charge de toutes les substances que contenait l'eau qui a été vaporisée (à l'exception de celle qui été entrainées dans la vapeur). La déconcentration nécessaire est appelée « purge » ou « extraction » qui envoie à l'égout une fraction de cette eau. Si une chaudière est en régime

continu, et si, pour simplifier, on admet que la salinité entraînée dans la vapeur est négligeable, l'équilibre stable des concentrations est atteint lorsque la masse de sels évacuée par les extractions à l'égout est égale à la masse de sels amenée par l'eau d'appoint (puisque l'eau condensée pure) [28].

## **II.5 Présentation du circuit de chaudière de l'entreprise**

### **II.5.1 Chaudière LOOS**

Le groupe d'osmose inverse est pompé vers le groupe chaufferie par pompage volumétrique 200 m<sup>3</sup>/h à une température comprise entre 19 et 30 °C (Figure II.4), une partie de l'eau est préchauffée à 45°C par des échangeurs qui récupèrent de l'énergie calorifique des purges des chaudières. L'eau est ensuite envoyée au réservoir alimentaire à travers un dégazeur thermique pour éliminer l'oxygène et le gaz carbonique qu'elle renferme. Les résidus laissés dans l'eau sont combinés par injection dans le réservoir du sulfite de Sodium ou NALCO77216. Pour alcaliniser le milieu, du phosphate trisodique où du NALCO77225 est dosé. Huit pompes alimentaires, dont quatre en veille, acheminent l'eau du réservoir vers quatre chaudières. Les économiseurs surchauffent l'eau à 130°C en emprisonnant la fumée qui est libéré par le brûleur avant d'être injecté dans le foyer de la chaudière. La flamme du brûleur se développe dans le tube foyer de la chaudière ; les tubes de fumée étant immergés dans l'eau de chaudière, les gaz cèdent une grande partie de leur chaleur à l'eau et à la vapeur. L'eau transformée en vapeur est acheminée dans les conduites de départ vapeur. La vapeur est collectée dans un collecteur de vapeur et acheminée vers les deux raffineries sucre et huile. Les gaz carboniques dégagés sont acheminés vers la section de carbonatation de la raffinerie sucre [19].

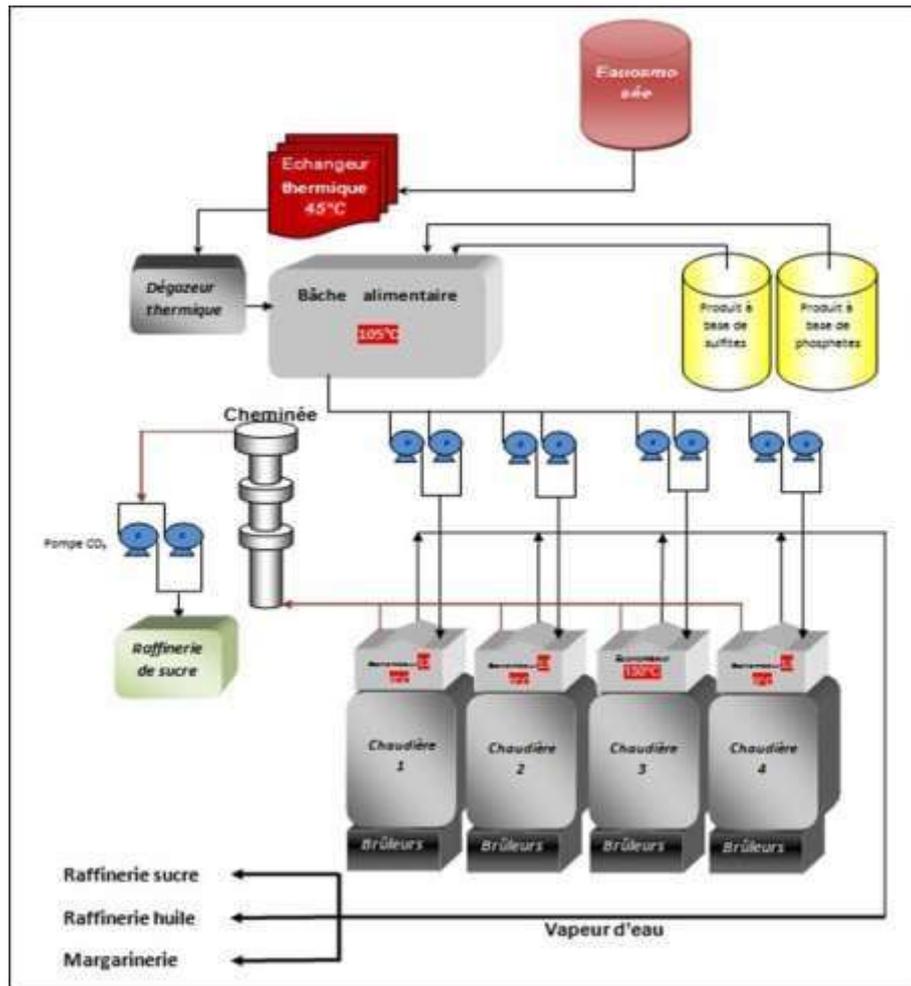


Figure II-4 : Schéma de la chaufferie [19].

### II.5.2. Chaudière STEIN

Ce type de chaudière à simple ballon et à circulation naturelle. Elles sont du type compact en ligne, à chambre de rayonnement horizontales et équipées de deux brûleurs installés en façade avant la chaudière. Chaque chaudière est équipée d'un ballon vapeur qui sert de réservoir pour la vapeur provenant de l'économiseur et de la chambre de combustion.

Chaque chaudière est équipée d'un économiseur installé à l'arrière et entièrement indépendant [19].



## **II.7 Nécessité de traitement des eaux d'alimentation des chaudières des condensats**

Le traitement et le conditionnement de l'eau d'alimentation de chaudière doit satisfaire trois objectifs principaux :

- L'échange continu de chaleur
- La protection à la corrosion
- La production de haute qualité de vapeur

### **II.7.1 Traitement externe**

Le traitement externe de l'eau de refroidissement utilisé dans les tours de refroidissement industriels et les échangeurs de chaleur peut comprendre plusieurs étapes, telles que le prétraitement, le traitement biologique, la clarification. Les matériaux naturels ou synthétiques ont la capacité à éliminer les ions minéraux de l'eau en les échangeant par d'autres. Un des traitements les plus courants et efficaces est le procédé par zéolite à chaux qui comporte un prétraitement de l'eau avec de la chaux pour réduire la dureté, l'alcalinité et la silice, et le traitement ultérieur avec un adoucisseur à échange de cation [29].

#### ➤ **Traitement interne**

Le traitement interne est le traitement des impuretés à l'intérieur du système de chaudière. Les réactions se produisent dans les lignes d'alimentation ou dans la chaudière. Le traitement interne peut être utilisé seul ou avec un traitement externe et son but est de réagir correctement avec la dureté de l'eau d'alimentation. Des doses spécifiques de produits de traitement sont ajoutées à l'eau, y compris des dispersants phosphates, des dispersants polyphosphates, des dispersants naturels et synthétiques, et des phosphates inorganiques qui nécessitent comme inhibiteurs. Les réducteurs d'oxygène et agents anti-mousse et anti-primage sont utilisés pour réduire la dureté de l'eau en éliminant les ions calcium et magnésium qui la composent. Les produits chimiques d'adoucissement peuvent être ajoutés à l'eau brute avant ou après le traitement pour adoucir l'eau. Le sulfate de calcium doit être traité chimiquement pour former un précipité dans l'eau où il sera conditionné et éliminé par vidange [29].

Le traitement chimique à l'intérieur de la chaudière est généralement essentiel et complète le traitement externe en faisant attention à ce qu'aucune impureté n'entre dans la chaudière avec l'eau d'alimentation (dureté, oxygène, silice, etc.). Dans de nombreux cas, le traitement externe de l'eau d'approvisionnement n'est pas nécessaire et l'eau peut être traitée seulement par des méthodes internes [29].

## *III. Chapitre III*

### *Matériels et méthodes*

Le travail a été réalisé au niveau du laboratoire d'unité d'osmose inverse de l'entreprise Cevital et qui consiste en un suivi des paramètres physico-chimique des eaux d'alimentation des chaudières de la raffinerie de sucre. Les prélèvements de l'eau au niveau des sites d'études (eau de forage de Ibourassen et osmose inversé), consiste à ouvrir une vanne de sortie d'eau, puis laisser couler l'eau quelques minutes, l'eau sera prélevée et mise directement dans des bouteilles en verre de 500 ml étiquetées (nom de site et la date de prélèvement). Les échantillons récupérés sont immédiatement acheminés au laboratoire d'unité osmose inverse de l'entreprise Cevital pour différentes analyses physico-chimiques.

Les tests effectués ont porté sur trois types d'analyses à savoir :

- Méthodes électrochimiques : mesure de pH et de conductivité.
- Méthodes Titrimétriques : détermination de titre hydrotimétrique total (TH), de titre Alcalimétrique (TA), de titre alcalimétrique complet (TAC) et de chlorure.
- Méthodes spectrophotométriques : détermination de la teneur en sulfite, en fer,
- En phosphate, en silice et [19].

### III.1 Appareillage et méthodes

| Appareillages et verriers   | Produits chimique  |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- PH mètre</li> <li>- Conductimètre.</li> <li>- Spectrophotomètre NANOCOLORIUV/VIS.</li> <li>- Erlenmeyer</li> <li>- Becher</li> <li>- Burette graduée de 10 ml</li> <li>- Fiole de 100 ml</li> <li>- Cuve ronde NANOCOLOR</li> <li>- Pipette 1 ml et 4 ml et 20 ml</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Solution tampon ammoniacal Ph=10</li> <li>- indicateur coloré Noir Eriochrome T (NET)</li> <li>- indicateur coloré Murexide</li> <li>- indicateur coloré Phénolphtaléine</li> <li>- indicateur coloré Méthyle orange</li> <li>- indicateur coloré Chromate de potassium</li> <li>- EDTA (0,02N)</li> <li>- Acide sulfurique (0,02N)</li> <li>- Nitrate d'argent AgNO<sub>3</sub> (0,02N)</li> <li>- Réactif R1, R2, R3 et R4 NANOCOLOR UV / VIS.</li> </ul> |

### III.2 Méthodes électrochimiques

#### III.2.1 Le potentiel d'hydrogène (pH)



*Figure III-1 : PH - mètre*

➤ **Principe**

C'est la mesure de la différence de potentiel existant entre une électrode de verre et une électrode de référence plongeant dans une même solution. Le potentiel de l'électrode est lié à l'activité des ions  $H^+$ [27].

➤ **Mode opératoire du pH-mètre**

1. On réalise l'étalonnage du pH-mètre en utilisant deux solutions étalons de pH 7 et 10 ou 4 et 7 (selon la gamme de mesure à réaliser), après on plonge l'électrode du pH-mètre dans un bécher avec l'eau à analyser pour lire le résultat après stabilisation.

### III.2.2 La conductivité



*Figure III-2 : Conductimètre*

➤ **Principe**

La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de  $1\text{cm}^2$  de surface et séparées l'une de l'autre de 1 cm [27].

➤ **Mode opératoire**

Après avoir étalonné le conductimètre, on plonge la cellule de l'appareil préalablement rincée dans un bécher avec l'eau à analyser pour éliminer les bulles d'air on secoue la cellule légèrement et on attends quelques secondes pour mesurer.

### III.3 Méthodes titrimétriques

#### III.3.1 Le titre hydrotimétrique total (dureté total)

➤ **Principe**

Le TH total est déterminé par dosage complexométrique en présence de sel disodique (EDTA) et du noir eriochrome comme indicateur colore. Le sel disodique de l'EDTA (complexon) se combine aux ions calcium puis magnésium en donnant des complexes solubles peu dissociés. La fin de la réaction est mise en évidence par le noir Eriochrome T, qui vire lorsque les dernières traces d'ions magnésium sont complexées [5].

➤ **Mode opératoire**

Dans un erlenmeyer on prendre 100 ml de l'eau à analyse après on ajouter 8 gouttes de la solution Tampon Ammoniacal (qui sert à stabiliser le Ph durant le titrage), mélangeons la solution après on ajout Pincée de l'indicateur Coloré N.E.T. (Noir Eriochrome T). Si une remarque l'apparait d'une coloration bleue, donc le TH est nul ( $\text{TH} = 0^\circ\text{F}$ ). dans le cas d'une colorations violette (présence d'ions de  $\text{Ca}^{++}$  et  $\text{Mg}^{++}$ ), on réalise le titrage du le mélange avec une liqueur hydrométrique d'EDTA à 0,02N jusqu'au virage de la coloration violette vers le bleu vert.

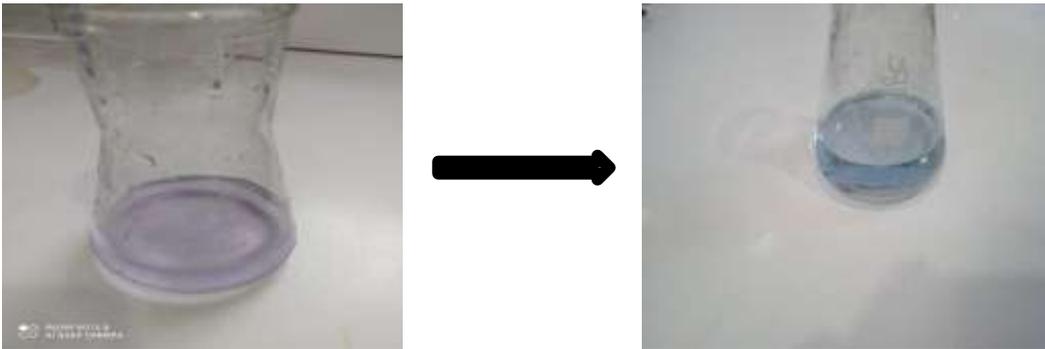
Le schéma du dosage de la dureté totale est représenté par la figure III.3

**1er cas :** coloration bleue n'implique pas de titrage.



TH=0°F

**2eme cas :** coloration violette implique il y a titrage avec EDTA 0,02 N jusqu'à coloration Violette vers le bleu



*Figure III-3 : Dosage de la dureté total*

➤ **Expression des résultats**

Le calcul du TH total :

$$\text{TH total (°f)} = V_{\text{EDTA}} \text{ ml}$$

TH total : Titre hydrotimétrique total.

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

V : Neutralisation de volume en ml

### III.3.2 Le titre alcalimétrique (TA)

➤ **Principe**

Détermination du volume d'acide fort en solution diluée nécessaire pour neutraliser au niveau de  $\text{pH} = 8.3$ , le volume d'eau à analyser[13].

➤ **Mode opératoire**

On prélève 100ml d'eau à analyser dans un erlenmeyer après l'ajout 1 à 2 gouttes de solution alcoolique de phénolphthaléine (un indicateur de pH) on agite.

En remarque Si la solution reste incolore, le TA est considéré comme nul ( $\text{TA}=0$ ), et cela indique que le pH est inférieur à 8,3.

Dans le cas où la solution est colorée avec une coloration rose on fait un titrage avec une solution étalon d'acide sulfurique à 0,04N jusqu'à la décoloration totale.

**1<sup>er</sup> cas :** pas de colorations alors pas de titrage.



$\text{TA}=0^{\circ}F$

2<sup>ème</sup> cas : coloration rose implique il y a titrage avec  $H_2SO_4$  0,02 N jusqu'à décoloration.

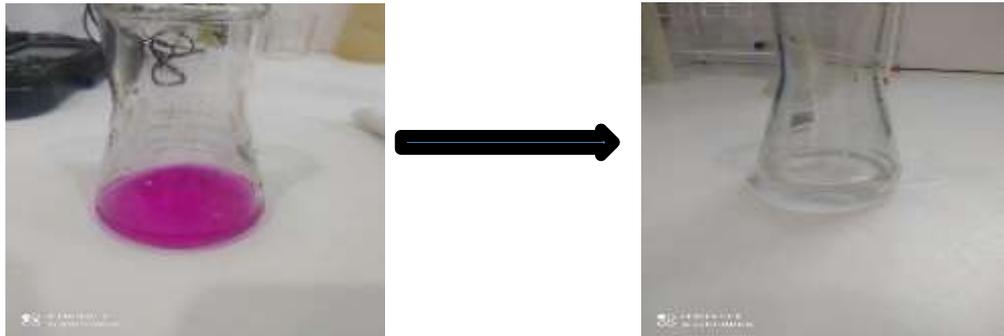


Figure III-4 : Dosage alcalimétrique

➤ **Expression des résultats**

Le calcul du TA : \* TA : Titre alcalimétriqu.

$$TA (^{\circ}f) = V_{H_2SO_4} \text{ ml}$$

TA : Titre alcalimétrique.

$^{\circ}f$  : Degrés français ( $1^{\circ}f = 10\text{mg/l}$  de  $CaCO_3$ ).

V : Neutralisation de volume en ml.

### III.3.3 Le titre alcalimétrique complet (TAC)

➤ **Principe**

Détermination du volume d'acide fort en solution diluée nécessaire pour neutraliser au niveau de pH 8.3, le volume d'eau à analyser[13].

➤ **Mode opératoire**

On prend le même échantillon pour l'analyse du TA et on ajoute 2 gouttes d'Hélianthine ou du Méthyle Orange, on remarque l'apparition d'une coloration jaune, enfin réalisons le titrage avec le même acide ( $H_2SO_4$ ) jusqu'au virage de la coloration jaune vers l'orange.

1<sup>er</sup> cas : coloration orange alors pas de titrage.



TAC = 0°F

2<sup>ème</sup> cas : coloration jaune implique il y a titrage avec H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,02N jusqu'à coloration orange rouge



Figure III-5 : Dosage alcalimétrique complet

➤ **Expression des résultats**

Le calcul du TAC :

$$\text{TAC } ^\circ\text{f} = (V^{\text{H}_2\text{SO}_4} - 0,1) \text{ ml}$$

### III.3.4 Dosage des chlorures par la méthode de « MOHR »

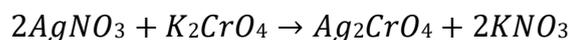
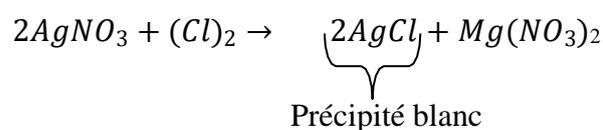
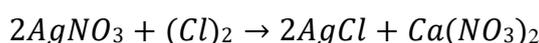
Cette méthode de dosage est pour l'analyse de la teneur en chlorure (Cl<sup>-</sup>) dans l'eau.

- La teneur en chlorures doit être comprise entre 5 et 150 mg/l. En dehors de cet intervalle, la méthode conduit à des résultats erronés.
- Le pH doit être comprise entre 5 et 9 (pour éviter les transformations des ions Ag<sup>+</sup> et CrO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, ce qui rendrait le dosage impossible) [13].

➤ **Principe**

Réaction des ions chlorure 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 ( $Ag_2CrO_4$ ) brun rouge avec des ions chromates qui ont été ajoutés comme indicateur. Cette réaction est utilisée pour l'indication du virage [13].

➤ **Réactions chimiques des chlorures**



De couleur brune

➤ **Mode opératoire**

Dans un erlenmeyer, on prendre un échantillon de 100 ml d'eau à analyser, et on ajouter 5 gouttes de Chromate de Potassium (Indicateur coloré), on remarque l'apparition d'une coloration jaune, enfin réalisons le titrage 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 disparition de la coloration jaune citron.

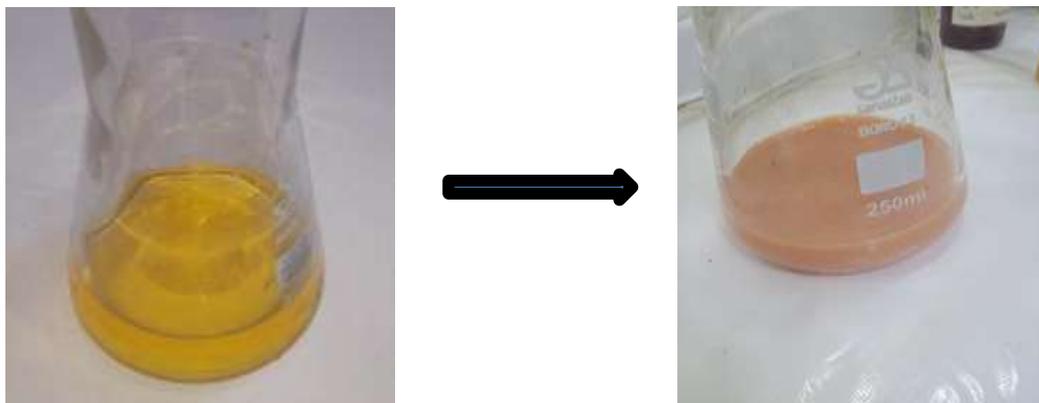
➤ **Expression des résultats**

Le calcul des chlorures :

$$Cl^- \text{ } ^\circ F = V_{AgNO_3} \text{ ml}$$

V : Neutralisation de volume en ml

Coloration jaune implique il y a titrage avec  $\text{AgNO}_3$  0,02N jusqu'à disparition de la coloration jaune citron



*Figure III-6 : Dosage des chlorures*

### III.4 Méthodes spectrophotométriques

Au niveau du laboratoire des eaux, les analyses ont été effectuées à l'aide du spectrophotomètre NANOCOLOR UV/VIS (figure III.8), 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 tous les analysés d'eau en laboratoire [32].



*Figure III-7 : L'appareil NANOCOLOR UV/VIS.*

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

### **III.4.1 Mesure des sulfites**

Dans les eaux naturelles, on ne retrouve pas de sulfites car ils s'oxydent rapidement pour donner place aux sulfates. Dans les chaudières, la concentration de sulfites doit être maintenue à un niveau assez important pour éviter la corrosion et l'oxydation. Une concentration trop élevée doit également être évitée car elle engendre une baisse de PH et facilite la corrosion. Le contrôle des sulfites est important pour l'environnement car ceux-ci sont toxiques pour la flore et la faune aquatiques. De plus, leur capacité d'éliminer l'oxygène dissous détruit l'équilibre fragile des cours d'eau.

#### ➤ **Principe**

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

#### ➤ **Mode opératoire**

Dans une cuve ronde, on ajoute 04 ml de l'échantillon à analyser et 0.2 ml de R2, puis on ferme, mélange et mesure après 5 min. Le blanc est préparé avec 04 ml d'eau distillée et 0.2 ml de R2.

### **III.4.2 Mesure des Phosphate total**

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

#### ➤ **Mode opératoire**

1. Dans une cuve ronde, ajouter 0.5 ml de l'échantillon à analyser et un NANOFIX phosphate total R2.

2. Mélanger, et placer dans un bloc chauffant à 100°C pendant une heure.
3. Sortir la cuve du bloc chauffant et laisser refroidir à température ambiante.
4. Ajouter un NANOFIX phosphate total R3 puis 0.2 ml de phosphate total R4.
5. Fermer, mélanger, nettoyer et mesure après 10 mn la lecture se fait à une longueur d'onde de 690 nm.

### **III.4.3 Mesure du fer**

En abondance le fer est le quatrième élément dans l'écorce terrestre et le premier parmi les métaux lourds. On le trouve surtout sous forme de Fe (II) ou Fe (III).

#### ➤ **Principe**

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

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

#### ➤ **Mode opératoire**

1. Dans une cuve ronde, ajoute 04 ml de l'échantillon à analyser et un NANOFIX R2 (Fermer le tube de NANOFIX immédiatement après l'addition de R2) et mesurer après 10 mn.
2. Le blanc est préparé avec 04 ml d'eau distillée et un NANOFIX R2.
3. La lecture se fait à une longueur d'onde de 540 nm.

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

### **III.4.4 Mesure de la silice**

La silice est un composé chimique (dioxyde de silicium) qui entre dans la composition de nombreux minéraux, de formule SiO<sub>2</sub>, la silice existe à l'état libre sous différentes formes cristallines ou amorphes et à l'état combiné dans les silicates, les groupes SiO<sub>2</sub> étant alors liés à d'autres atomes (Al, Fe, Mg, Ca, Na).

➤ **Principe**

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

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

➤ **Mode opératoire**

1. Introduire respectivement dans une fiole de 25 ml, 20 ml d'échantillon à analyser, 1ml R1, mélange et attendre 3 mn, 1 ml de R2, mélange et attendre 1 mn, 1 ml de R3.

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

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

### **III.4.5 Mesure du chlore libre**

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

➤ **Principe**

Le chlore libre, réagit avec la DPD (N, N- diéthyl-1, 4-phénylénédiamine) pour donner une coloration rouge-violette par addition d'une quantité définie d'ions iodurés.

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 chloré.

➤ **Mode opératoire**

1. Introduire respectivement dans une fiole de 25 ml ; 20 ml d'échantillon à analyser ; 1 ml de R1, mélangé ; une pincée de R2, mélangé ;

2. Ajuster à 25 ml avec de l'eau distillée et mesurer après 30 secondes après avoir transvaser dans des cuves rectangulaires.

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

### **III.4.6 Mesure du manganèse**

Métal de transition ; gris argent avec une teinte rosé. Le minerai le plus abondant est la pyrolusite  $MnO_2$ , utilisé dans les processus industriels des filtres à ables.

➤ **Principe**

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

➤ **Mode opératoire**

1. Dans une cuve ronde, ajoute 04 ml de l'échantillon à analyser et 0.5 ml de R2.

2. Fermer, mélanger et attendre une minute, puis ajouter une cuillère de mesure de R3 mesuré après 5 mn

# *IV. Chapitre IV*

## *Résultats et discussion*

Les résultats des différentes analyses physico-chimiques journalières et hebdomadaires des eaux obtenues à la bache alimentaire LOOS et les trois chaudières au niveau de laboratoire osmose inverse, à travers les différentes étapes de traitement des éléments mesurés au cours de la période d'étude depuis la Source (forage) jusqu'à la production d'une eau (osmose inverse).

Nous avons d'abord mesuré les paramètres journaliers : pH, conductivité, TA, TAC, TH, chlorures, puis des mesures hebdomadaires sur la silice et le fer, phosphate, sulfite.

Les valeurs moyennes des différents paramètres analyses regroupées dans des tableaux IV.1 – IV.11 (voir annexes).

## IV.1 Méthodes électrochimiques (analyses journalières)

### IV.1.1 Potentiel d'hydrogène (PH)

Les variations du pH des eaux analysées (les eaux de la bache alimentaire LOOS, et du chaudière 2, 3, 4) durant les deux semaines de notre stage sont représentées sur la figure IV.1.

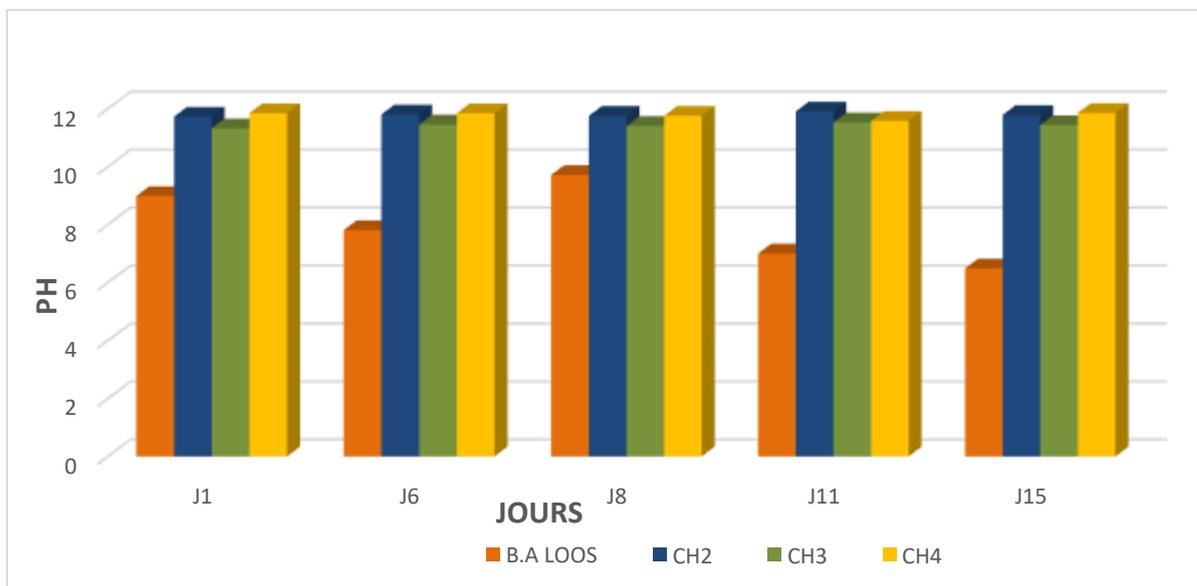


Figure IV-1 : Variation du pH à la chaufferie

D'après la figure IV.1 ci-dessus, on remarque que les valeurs du pH au niveau de la bache alimentaire (B.A LOOS) sont dans l'intervalle de 6,48-9,71 et varient très peu pendant toute la période d'étude. Toutefois, on constate une légère augmentation remarquable des pH des eaux (11,5-12), après leur passage dans trois chaudières. Cette augmentation est due au contact de l'eau avec la chaux ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ), substance très basique. Cependant, les valeurs du pH restent conformes aux normes en vigueur au sein de l'entreprise ( $\text{PH} > 8.5$  au niveau la bache) et entre 10,5-12 pour les chaudières.

### IV.1.2 Conductivité

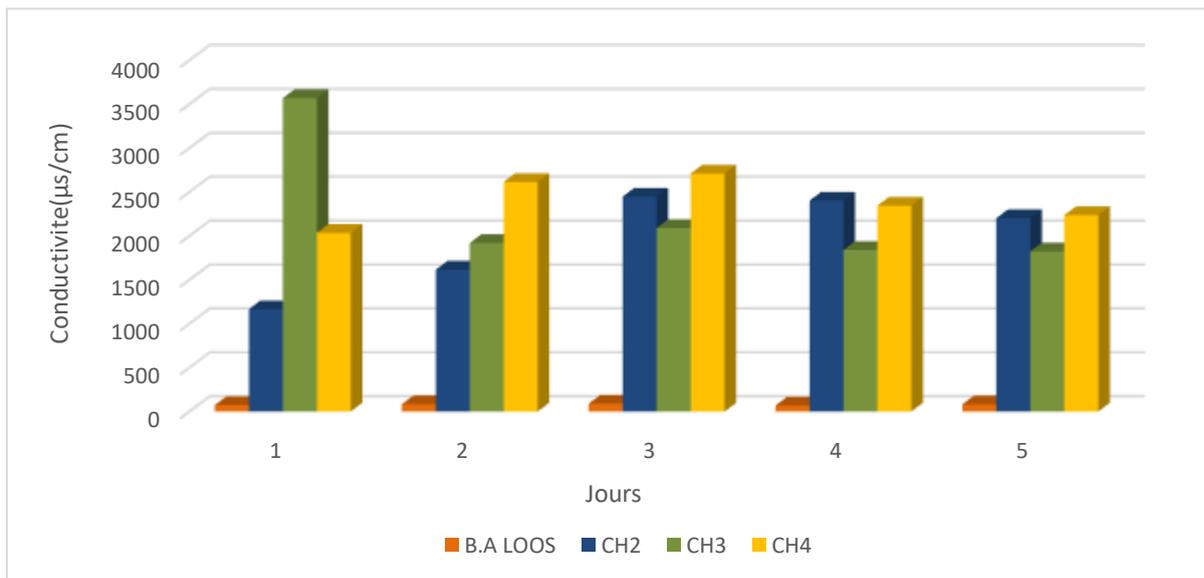


Figure IV-2 : Variation de la conductivité électrique à la chaufferie

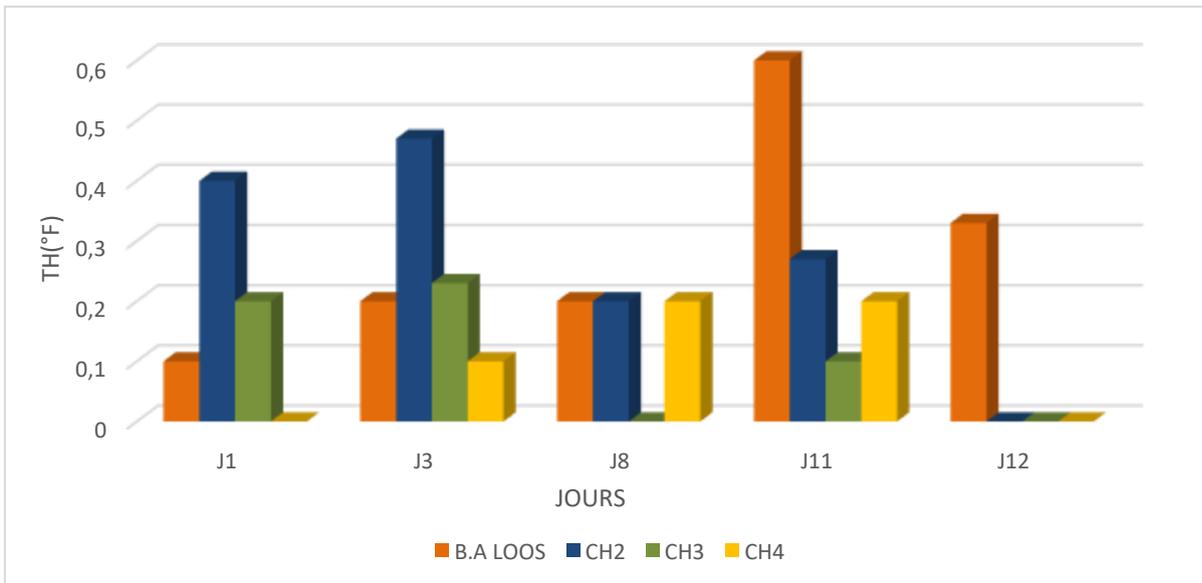
D'après nos résultats, les valeurs obtenues [68-89] µs/cm de la conductivité de l'eau dans la bache alimentaire LOOS, au cours de la période d'étude après leur transit par les chaudières, sont inférieures aux normes (200µs/cm) ceci s'explique par la faible présence d'ions dans l'eau d'alimentation.

On remarque qu'il y a une augmentation importante de la conductivité dans les trois chaudières [1160-3500] µs/cm et surtout la troisième ce qui est lié au rajout de produits chimiques tel que le sulfite de sodium (NALCO77216) et le phosphate trisodique (NALCO77225) pour purger les chaudières pendant cette période. Ces valeurs restent cependant conformes aux normes (30-4000) µs/cm.

## IV.2 Méthodes titrimétriques (analyses journalières)

### IV.2.1 Le titre hydrotimétrique (TH)

La figure IV.3 représente la variation de la dureté (TH) des échantillons d'eaux prélevés au niveau des chaudières.



*Figure IV-3 : Variation de TH à la chaufferie*

D'après celle-ci, une nette augmentation de la dureté des eaux a été observée dans J11 (0,6°F) néanmoins, la valeur reste inférieure à la norme (<1°F). On remarque que à J12 le TH des eaux des chaudières 2, 3 et 4 est nul ceci est dû aux traitements internes des eaux au niveau de celle-ci. Qui est due à la près. Ces résultats restent conformes aux norme(<1°F).

### IV.2.2 Le Titre alcalimétrique (TA)

L'ensemble des résultats de mesure du titre alcalimétrique des différents échantillons d'eau sont illustrés sur la figure IV.4 ci-dessous.

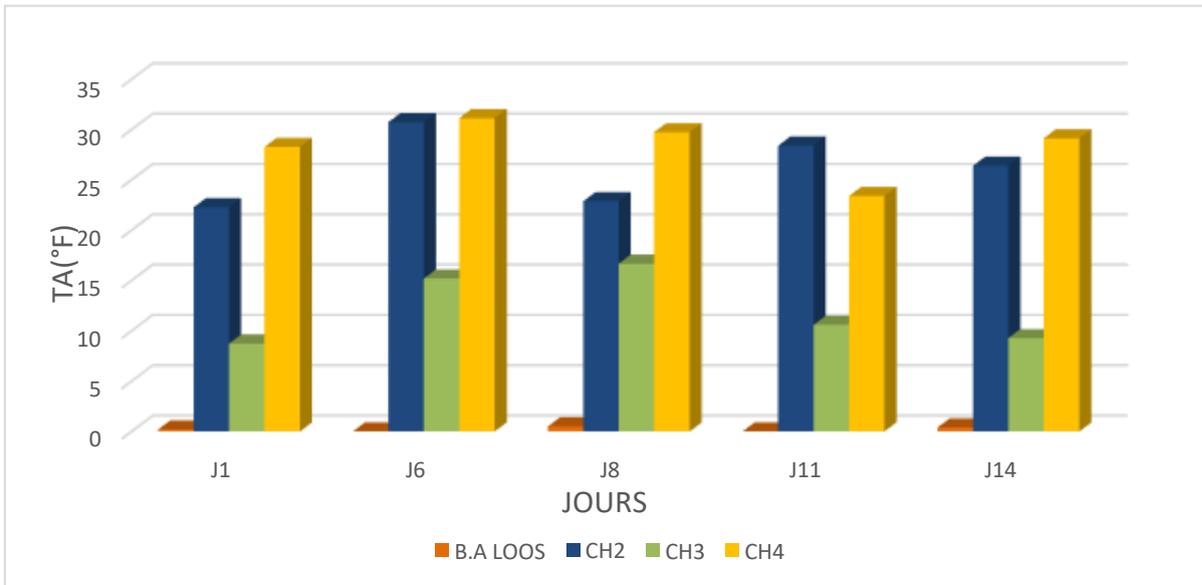


Figure IV-4 : Variation de TA à la chaufferie.

Nous observons que le TA de l'eau dans la bache alimentaire LOOS est presque nul le huitième jour, cela peut être expliqué les concentrations négligeables des alcalins libres (OH) et les carbonates. L'alcalinité augmente dans les eaux des chaudières 2, 3, et 4 mais ne dépassent pas guère les normes exigées (5-60°F).

### IV.2.3 Titre alcalimétrique complet (TAC)

La figure IV.5 représente la variation du titre alcalimétrique (TAC) des échantillons d'eaux prélevés au niveau des différentes chaudières.

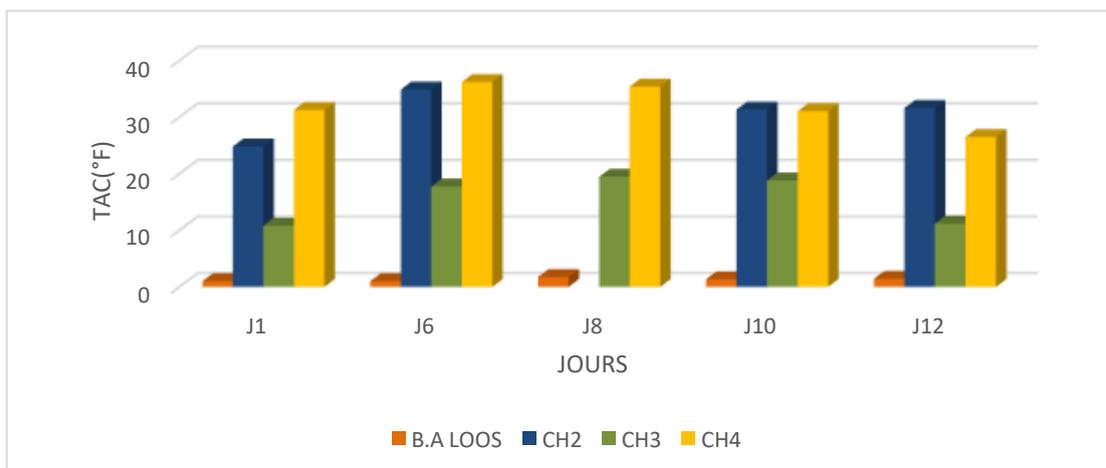
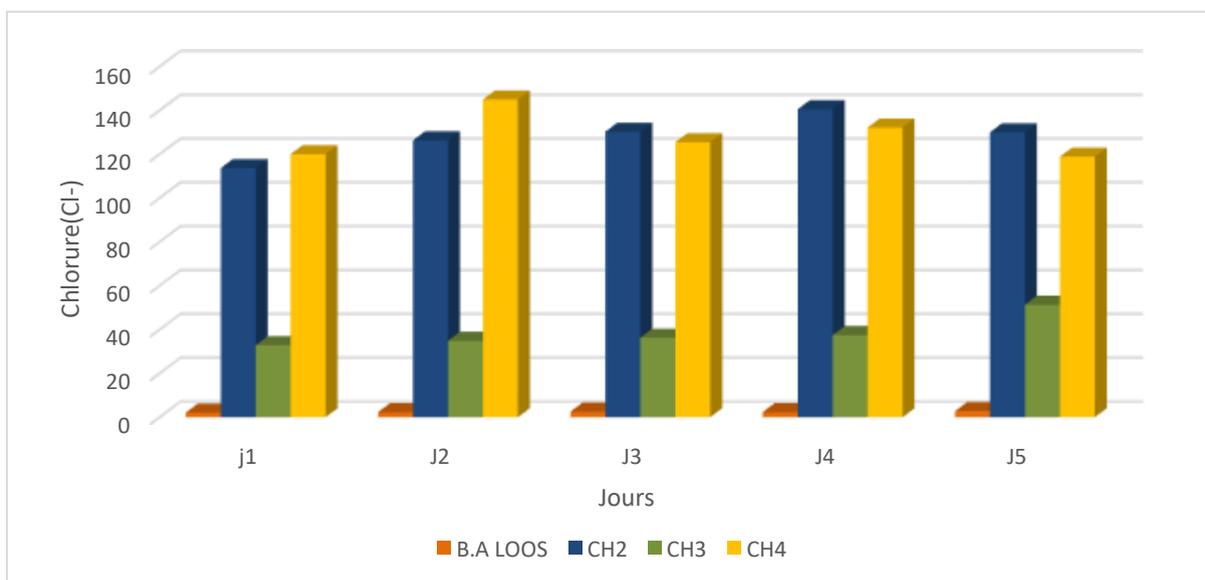


Figure IV-5 : Variation de TAC à la chaufferie.

La figure IV.5, montre que les valeurs du TAC des eaux des chaudières sont supérieures par rapport à celle des eaux de la bêche alimentaire (B.A LOOS) cette augmentation est due à la présence d'espèces basique telles que les ions hydroxyde( $\text{OH}^-$ ), les ions carbonate( $\text{CO}_3^{2-}$ ), les ions hydrogénocarbonate( $\text{HCO}_3^-$ ). Ces valeurs restent cependant conformes aux normes(7-85°F).

#### IV.2.4 Mesure de chlorures ( $\text{Cl}^-$ )

L'ensemble des résultats de mesure de chlorures des différents échantillons d'eau sont illustrés sur la figure IV.6 ci-dessous.



*Figure IV-6 : Variation des Chlorures à la chaufferie*

Sur la figure IV.6, on observe que les chlorures varient peu dans les eaux de la bêche alimentaire au cours de la période d'étude (autour de 2.13°F et 3.2°F). Les seules variations observées s'opèrent au sein des chaudières, avec des augmentations sensibles après le passage des eaux dans la troisième et la quatrième chaudière (32°F et 145°F). Cette variation est due au degré de minéralisation des eaux en cette période.

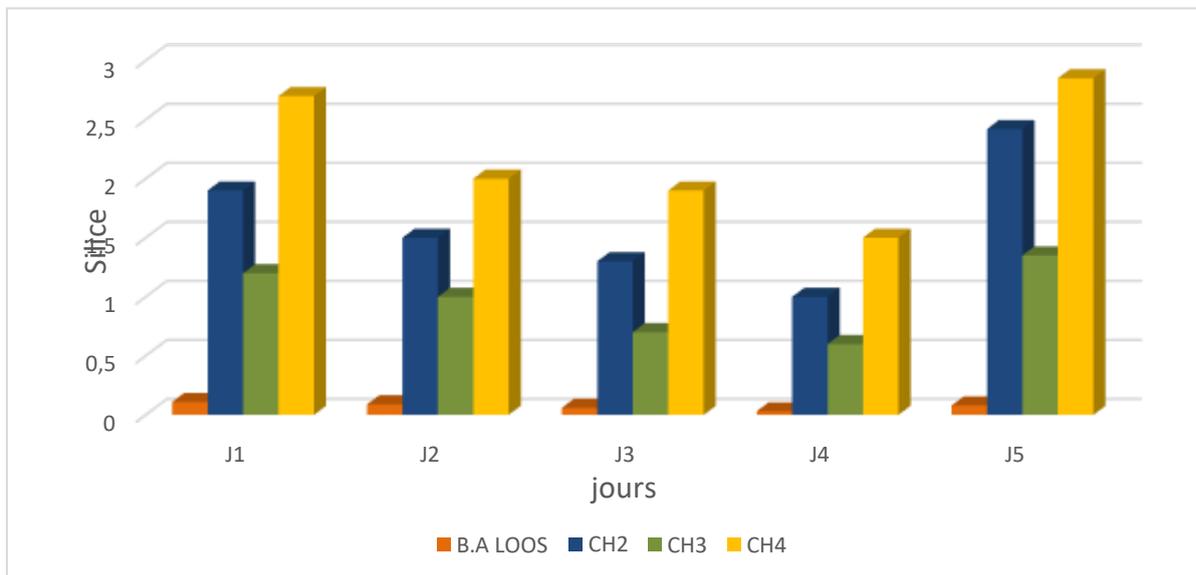
Ces résultats restent conformes aux normes (<150).

#### IV.3 Méthodes spectrophotométriques (analyses hebdomadaires)

Dans cette partie, seront représentées les valeurs des paramètres mesurés avec un pas d'échantillonnage d'une seule fois par semaine pendant la même période d'étude.

### IV.3.1 Teneur en Silice

Les valeurs hebdomadaires de la silice mesurées dans les mêmes points d'échantillonnage que précédemment sont représentées sur la figure IV.7 ci-dessous.



*Figure IV-7 : Variation de Silice à la chaufferie*

Dans la figure IV.7, qui représente la variation de la teneur de la silice de l'eau de la bêche LOOS et des chaudières en fonction du temps pris en jours, malgré des variations notables, le taux de silice dans les eaux demeure très largement inférieur à la norme (<4ppm pour la bêche et <150ppm pour les chaudières).

### IV.3.2 Mesure de la teneur en Fer

L'ensemble des résultats de mesure hebdomadaire de la teneur en fer des différents échantillons d'eau sont illustrés sur la figure IV.8 ci-après.

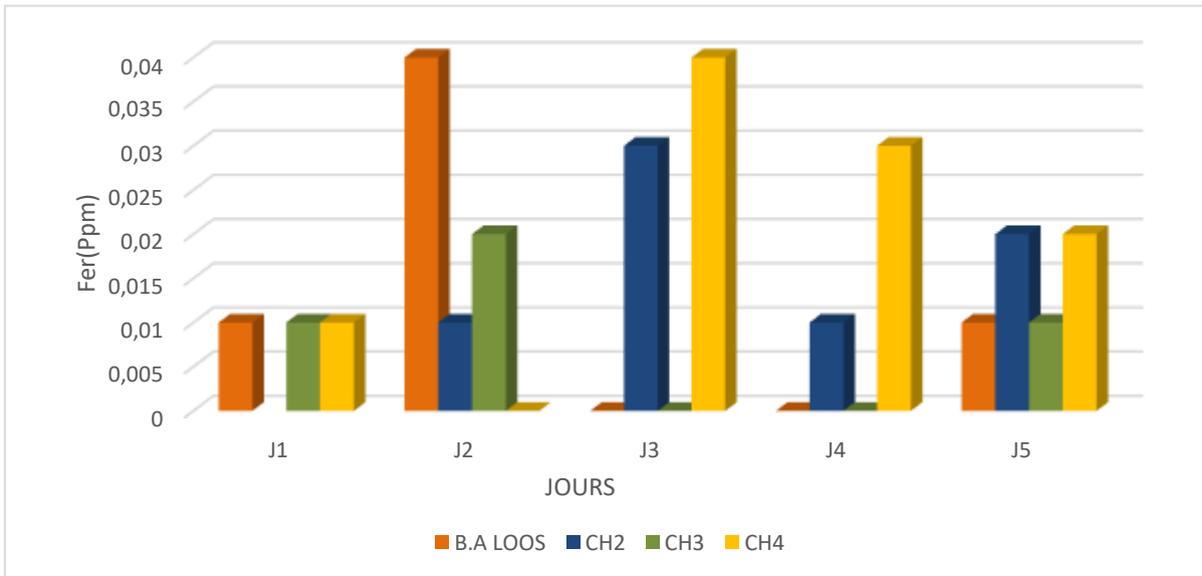


Figure IV-8 : Variation de la quantité de Fer total à la chaufferie.

Les teneurs en fer total de l’eau de la bache alimentaire (B.A LOOS) et des 3 chaudières représentées sur la figure IV.8 montrent des concentrations presque nulles. Elles varient entre 0ppm et 0,02ppm au niveau de la bache alimentaire et 0 ppm et 0,04 ppm dans les chaudières 2, 3, et 4 tout en inférieures aux normes requises (<0.3ppm pour la bache et <150ppm pour la chaudière).

### IV.3.3 Mesure de la teneur en Phosphates

Les valeurs hebdomadaires mesurées de la teneur en phosphates dans les mêmes points d’échantillonnage que précédemment sont représentées sur la figure IV.9 suivante.

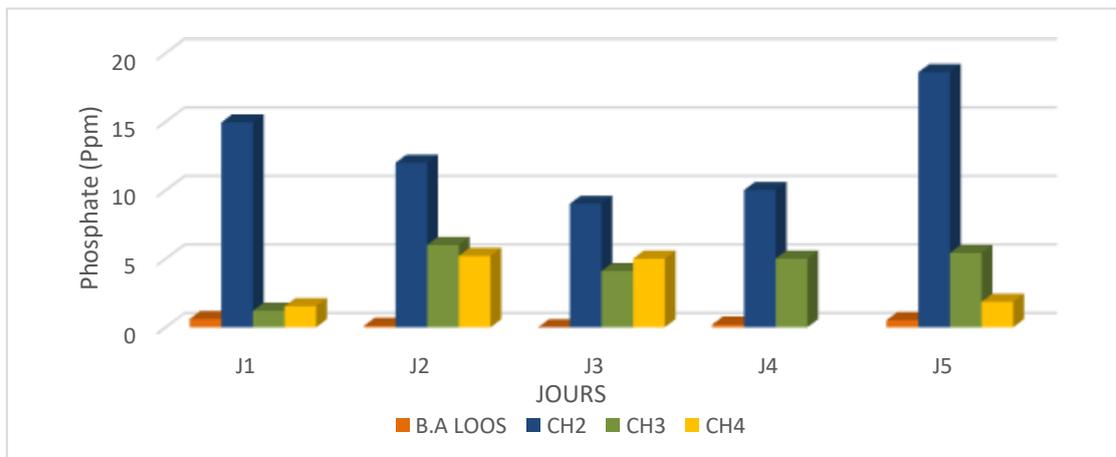
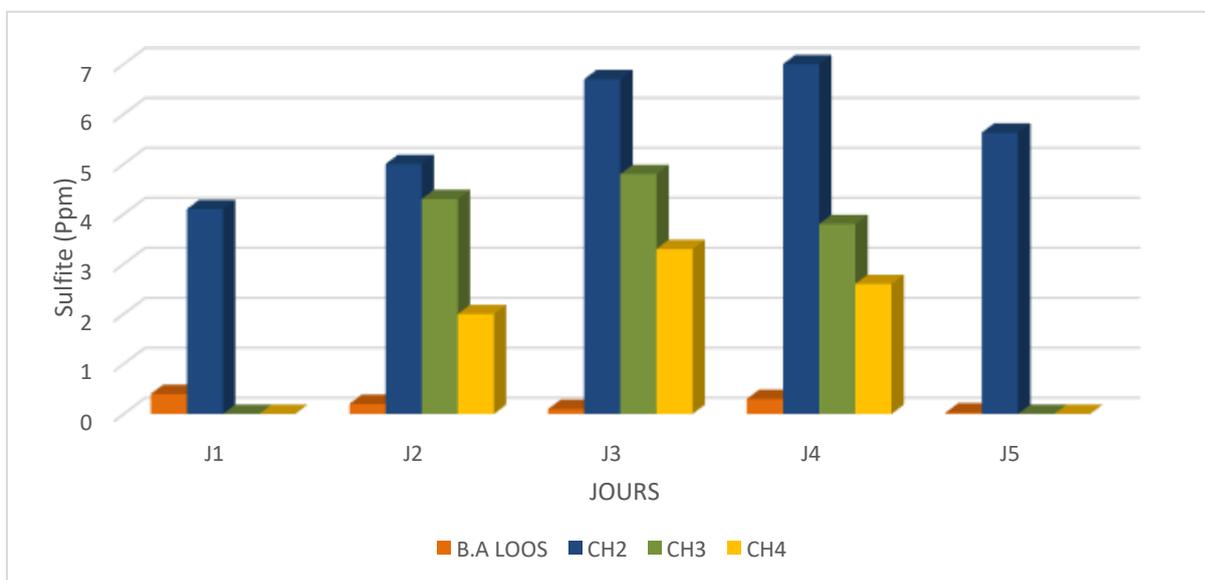


Figure IV-9 : Variation de la teneur en phosphate à la chaufferie.

D'après la figure IV.9, on constate une augmentation de concentration des phosphates de première jour et dernière jour au niveau de la chaudière 2, Ceci s'explique par le rajout d'un produit chimique à base de phosphates (phosphate trisodique) aux chaudières pour diminuer l'alcalinité au cours de cette période. Ces valeurs restent cependant conformes aux normes (10-30ppm).

#### IV.3.4 Mesure de la Teneur en Sulfites

L'ensemble des résultats de mesure hebdomadaire de la teneur en sulfites des différents échantillons d'eau sont illustrés dans la figure IV.10 ci-après.



*Figure IV-10 : Variation de la teneur en Sulfite à la chaufferie.*

D'après nos résultats représentés dans la figure IV.10, on remarque que les variations de la teneur en sulfites dans les eaux sont très faibles au niveau de la bache alimentaire (B. A LOOS) (varient entre 0.03ppm et 0,4ppm). On constate cependant, une augmentation légère des teneurs au cours de J3 et J4 de chaudière 2 et demeurent inférieures aux normes requises (<10ppm à 20ppm). Ceci est dû à des sulfites dans les chaudières (l'addition des sulfites pour réduire la teneur en oxygène de l'eau).

# ***Conclusion Générale***

## *Conclusion Générale*

---

Ce présent travail constitue une contribution à l'étude et contrôle de qualité des chaudières et des eaux de chaudières productrices de vapeurs alimentaires. Pour ce faire, le suivi des propriétés physico-chimiques des eaux d'alimentation des chaudières et des condensats a été effectué au sein de l'entreprise CEVITAL.

Les différents résultats des paramètres étudiés, à savoir le pH, la conductivité, la dureté totale TH, le titre alcalimétrique TA, le titre alcalimétrique totale TAC, la teneur en chlorures, les teneurs en silice, en Fer, en phosphate et en sulfite, ont abouti aux remarques et conclusions suivantes :

- Pour la qualité recherchée de l'eau, les valeurs estimées du pH sont de l'ordre de 8,5 et [10-12] au niveau de la bache et de la chaudière respectivement.
- Pour la conductivité électrique, les résultats des analyses obtenues [68-89]  $\mu\text{s}/\text{cm}$  de la conductivité de l'eau dans la bache alimentaire LOOS, sont inférieures aux normes (200 $\mu\text{s}/\text{cm}$ ) ceci s'explique par la faible présence d'ions dans l'eau d'alimentation.

On remarque qu'il y a une augmentation importante de la conductivité dans les trois chaudières [1160-3500]  $\mu\text{s}/\text{cm}$  et surtout la troisième ce qui est lié au rajout de produits chimiques tel que le sulfite de sodium et le phosphate trisodique pour purger les chaudières pendant cette période. Ces valeurs restent cependant conformes aux normes (30-4000)  $\mu\text{s}/\text{cm}$ . Ceci s'explique par la présence d'ions dans l'eau d'alimentation.

- Les valeurs enregistrées de la dureté totale montrent que les ions  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$  sont présents en faibles quantités dans l'eau analysée. Ces derniers restent conformes aux normes (<1°F).
- Les valeurs obtenues pour TA et TAC sont dans les normes pour les eaux du processus, ce qui indique que l'eau ne contient pas de base forte ( $\text{OH}^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$  et  $\text{HCO}_3^-$ ).
- Les ions chlorures sont présents dans l'eau d'alimentation ainsi que les eaux de processus mais les résultats restent toujours inférieurs aux normes (<150°F).
- On remarque que la teneur en silice  $\text{SiO}_2$  dans les eaux demeure très largement inférieure aux normes (<4ppm pour la bache et <150ppm pour les chaudières), cela revient à la bonne qualité de l'eau de cette source d'alimentation.

## *Conclusion Générale*

---

- Les valeurs de fer sont inférieures aux normes (<150ppm).

D'après ces résultats obtenus par les différentes analyses physico-chimiques effectuées au cours de notre stage pratique au niveau de l'entreprise CEVITAL, on conclut que le traitement des eaux par le procédé d'osmose inverse produit une eau osmosée satisfaisante et de bonne qualité qui répond aux normes exigées par l'entreprise. Cette performance s'explique par :

- L'efficacité de l'unité osmose inverse et le bon fonctionnement des modules.
- Le système de prétraitement appliqué.
- L'entretien et le nettoyage permanent de l'installation des membranes d'osmose inverse.

# ***Liste bibliographie***

## *Liste bibliographique*

---

- [1] : **Cément 1979** « Larousse agricole » édition Larousse p48.
- [2] : **Karfallh N. et Mohdeb L.** Mémoire D.E.U.A. Contrôle de fluor, sodium, potassium et les métaux lourds dans les eaux. Bejaia.2007.
- [3]: **Thielborger P. (2014).** The right(s) to water. Ed. Springer- verlage. Berlin. 231p.
- [4] : **Slimani, H., & Medjnoun, D. (2022).** Évaluation de la qualité d'une eau de surface avant et après traitement : cas du Barrage Koudiat Acerdoune Wilaya de Bouira (Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammeri).
- [5] : **Roval, J.M., 1995.** Memento technique de l'eau Tome 1. 10e Edition Degrémont suéz. France .146p. 2503p.
- [6] : **BENGOUGA, K. (2010).** Contribution à l'étude du rôle de la végétation dans l'épuration des eaux usées dans les régions arides (Doctoral dissertation, Université Mohamed Khider Biskra).
- [7] : **Abissy, M., & Mandi, L. (1999).** Utilisation des plantes aquatiques enracinées pour le traitement des eaux usées urbaines : cas du roseau. Revue des sciences de l'eau, 12(2), 285-315.
- [8] : **Tharreau, V., 2009.** Techniques du traitement de l'eau dans les bâtiments. 3e édition, paris.551p.
- [9] : **Desjardins, R.** Le traitement des eaux, 2e Édition. (1997). Montréal, pages 22-31 ET 304p.
- [10] : **CARDOT Claude, (1999).** Génie de l'environnement : les traitements de l'eau. Paris, P : 9
- [11] : **Ben Belkacem, M., & Belaid, M. A. (2013).** Contribution à l'étude de régénération des membranes et des filtres à laine d'une station de dessalement de l'eau de mer (Doctoral dissertation, UMMTO).
- [12] : **RODIER, J. (1996).** L'analyse de l'eau : Eaux naturelles, Eaux résiduaires, Eau de mer.6 ème édition : Dunod, Paris. 557-570p et 968-1079p.

## *Liste bibliographique*

---

- [13] : **REJSEK, F. (2002)**. Analyse des eaux. Aspect réglementaire et techniques, Tome I. Edition Scrérén CRDPA quitaine, Bordeaux. 71, p144.
- [17] : **Dégrément**, « Mémento technique de l'eau », Première édition, (1952).
- [18] : **Issaadi, M, Khebat. A, (2015)**, « Etude et contrôle du procédé comnine osmose inveres –électrode ionisation par analyse physico-chimique des eaux de process de Cevital», mémoire de master en génie des procédés et d'environnement, Université A- Mira, Bejaia
- [19] : **Manuel du complexe Cevital**.
- [20] **Tristan., R, (2014)**. **Chimie PC /PC\*** : Un accompagnement au quotidien prépare Scientifique. Page 168-169.
- [21] **BENSACI T. (2006)**. Détermination De la Qualité Physico-chimique Et Bactériologiques Des Eaux De Surface : Cas du Barrage Timgad (W. d'Oum El Bouaghi). Mémoire de Magister, Centre Université Larbi Ben M'hidi, Oum El-Bouaghi.98 p.
- [22] : **J. REYNAUD** « Concertation par évaporation et recompressions mécanique de vapeur », Ed EYROLLES, 1984
- [23] : **Ztouche., A et Bouakkaz., S, (2012)**. Etude et redimensionnement du tableau général basse tension de l'unité osmose Cevital, Mémoire d'ingénieur, Bejaia. Pages 55
- [24] : **Gaid, K., Treal, Y., (2007)**. Le dessalement des eaux par osmose inverse, l'expérience de Véolia water, Mémoire master. Université de Bejaia. Pages 54-65.
- [25] : **Wolf, P., Siverns, S., et Monti, S., (2005)**. Ultrafiltration membranes for RO désaliénation prétraitement, Mémoire d'ingénieur. Pages 182-293-300.
- [26]: **Sadler (1993)**. **Sadler M.A**. Développements in the production and control of ultra-pure water. In: Ion exchanges processus : Advance and application <sup>2</sup> of the Internationale conférence on Ion-Exchange (Ion-Ex'93)1993.
- [27]: **Rodier J., et Legube, (2009)**. L'analyse de l'eau. Dunod (éditeur), Paris, France. 9e édition. Pages 234-293.

## *Liste bibliographie*

---

[28] : **Dégerment, 2005.** « Mémento technique de l'eau », « quelles eaux à traiter ? Pourquoi ? Tome 1 » et « traitement et conditionnement des eaux industrielles. Tome 2 », 10<sup>ème</sup> édition, PP-79-81 ; PP-1599-1601.

[29]: **Dearborn, B., 1991.** Handbook of - Industrial water conditioning. 6th Édition BETZ laboratoires.417p

[30]: **Song, L; Elimelech, M ;( 1995).** Theory of concentration polarization in cross-flow filtration. Faraday Trans thèse de doctorat, Norway University of science and technology 91. Pages 33-39

[31] **Dumont, M.N., 2005.** Simulation et Aide au Dimensionnement des Chaudières de Récupération, thèse grade de Docteur en Sciences de l'Ingénieur, Université de Liège.

[32] : **MM. Alexandre LALEYE et Cheick o. SANOU** “Bond MODELISATION ET REGULATION D'UNETURBINE A VAPEUR DANS UNE CENTRALE ingénieur 2005.

# ***Annexes***

### Annexe 01

#### Définition

##### ➤ **Pression osmotique**

La pression osmotique, dans un 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 passant de la solution moins concentrée vers la solution la plus concentrée. La pression osmotique définit le minimum de pression qui doit être appliquée à une solution pour empêcher l'écoulement vers l'intérieur de l'eau à travers une membrane semi-perméable. Elle est également définie comme la mesure de la tendance d'une solution à prendre de l'eau par osmose. Les valeurs sont régies par le coefficient osmotique.

##### ➤ **Métabisulfite de sodium (Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)**

Le métabisulfite de sodium ou pyrosulfite de sodium 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 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 TD-FLOC**

Un flocculant est un polymère (c'est –à-dire une longue molécule constituée par la répétition d'un motif de base) qui emprisonne les matières colloïdales agglomérées et forme ainsi des flocons volumineux qui se déposent par sédimentation et peuvent être plus facilement arrêtés par les filtres. Le flocculant (TD-FLOC) est le nom commercial du flocculant utilisé au niveau des filtres à sable.

##### ➤ **Produits biocide**

Le mot biocide (étymologiquement : bio + cide « qui tue la vie ») désigne une large famille de substances chimiques qui regroupe les pesticides, les antiparasitaires et les

antibiotiques à usages médicaux, vétérinaires, domestiques ou industriels, les désinfectants de l'eau, de l'air de sols, surfaces de travail...etc.

### ➤ **Produits séquestrant**

Les séquestrant sont au sens chimique des ligands qui forment des complexes chimiques avec les ions métalliques, tels que le cuivre, le fer et le nickel, qui servent comme catalyseurs dans l'oxydation des matières grasses. Les séquestrant communs sont :

- Acide éthylène-diamine-tétra acétique (C<sub>10</sub>H<sub>16</sub>N<sub>2</sub>O<sub>8</sub>).
- Acétate de sodium (CH<sub>3</sub>COONa).

### ➤ **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. 1meq/l = 50 F.

### ➤ **CIP (cleaning in place "Nettoyage en place (NEP)"**

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

### ➤ **Bâche d'alimentation**

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

### ➤ **Primage dans les chaudières**

Le primage de l'eau de chaudière est la contamination de la vapeur par des solides présents dans l'eau. Les billes ou la mousse sont créées à la surface de l'eau des chaudières et sortent avec la vapeur. Ceci est appelé le moussage et causé par de forte concentration en solide dans l'eau des chaudières.

**Annexe 02**

**Les substances minérales dissoutes**

**Le fer**

➤ **Définition**

Fer, élément métallique blanc argenté, de symbole Fe et de numéro atomique 26. Le fer appartient au groupe VIII (colonne 8) des éléments de transition et est situé dans la quatrième période du tableau périodique. En abondance, le fer est le quatrième élément dans l'écorce terrestre et le premier parmi les métaux lourds. On le trouve surtout sous forme de Fe (II) ou de Fe (III).

**La silice**

➤ **Définition**

La silice est un composé chimique (dioxyde de silicium) qui entre dans la composition de nombreux minéraux de formule  $\text{SiO}_2$ , la silice existe à l'état libre sous différentes formes cristallines ou amorphes et à l'état combiné dans les silicates, les groupes  $\text{SiO}_2$  étant alors liés à d'autres atomes (Al, Fe, Mg, Ca, Na).

**Les orthophosphates**

➤ **Définition**

Les orthophosphates représentent la forme la plus simple des phosphates ( $\text{PO}_4$ ). Cette molécule existe sous des formes variées dépendant du pH de l'eau et des concentrations de sels minéraux.

**Le chlore libre**

➤ **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  $\text{MnO}_2$ .

### **Le manganèse**

➤ **Définition**

Métal de transition ; gris argent avec une teinte rosé. Le minerai le plus abondant est la pyrolusite  $\text{MnO}_2$ , utilisé dans les processus industriels des filtres à ables.

**Annexe 03**

**Préparation des solutions pour le laboratoire 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 d'eau distillée.
- **Acide sulfurique H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> à 1N**  
2707ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> à 96%.
- **Acide sulfurique H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> à 0.02 N**  
0.5548 ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> à 96 %.
- **EDTA C<sub>10</sub>H<sub>16</sub>N<sub>2</sub>O<sub>8</sub> à 0.02N**  
3.722 g EDTA dans 1L d'eau distillée.
- **Métabisulfite (Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) anhydre à 1N**  
158.11g dans 1L d'eau distillée.
- **Métabisulfite (Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) 5H<sub>2</sub>O à 1N**  
248.2 g dans 1L d'eau distillée.
- **Nitrate d'argent AgNO<sub>3</sub> 1N**  
169 g 1L d'eau distillée.
- **Nitrate d'argent (AgNO<sub>3</sub>) à 0.04 N**  
6.828 g dans 1 L d'eau distillée.
- **Méthyle orange**  
1g dans 100 ml d'eau distillée.

➤ **Phénolphtaléine**

1g dans 100 ml d'alcool.

➤ **Noir eriochrome**

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.

**Annexe 04**

**Chaufferie**

*Tableau IV-1: Valeurs de PH à la chaufferie.*

| <b>PH</b>     |                              |                  |            |            |
|---------------|------------------------------|------------------|------------|------------|
| <b>Normes</b> | <b>Sites de prélèvements</b> |                  |            |            |
|               | <b>B.A (LOOS)</b>            | <b>CH2</b>       | <b>CH3</b> | <b>CH4</b> |
| <b>jours</b>  | <b>&gt;8.5</b>               | <b>10.5 - 12</b> |            |            |
| <b>j1</b>     | 8,98                         | 11,72            | 11,32      | 11,84      |
| <b>j2</b>     | 7,42                         | 11,72            | 11,31      | 11,82      |
| <b>j3</b>     | 8,53                         | 11,77            | 11,42      | 11,88      |
| <b>j4</b>     | 7,48                         | 11,74            | 11,42      | 11,80      |
| <b>j5</b>     | 7,29                         | 11,81            | 11,46      | 11,86      |
| <b>j6</b>     | 7,81                         | 11,80            | 11,45      | 11,86      |
| <b>j7</b>     | 7,88                         | 11,76            | 11,42      | 11,80      |
| <b>j8</b>     | 9,71                         | -                | 11,11      | 11,75      |
| <b>j9</b>     | 7,71                         | 11,78            | 11,45      | 11,81      |
| <b>j10</b>    | 9,23                         | 11,82            | 11,42      | 11,79      |
| <b>j11</b>    | 7,00                         | 11,90            | 11,52      | 11,57      |
| <b>j12</b>    | 6,91                         | 11,94            | 11,46      | 11,85      |
| <b>j13</b>    | 9,08                         | 11,85            | 11,45      | 11,81      |
| <b>j14</b>    | 9,42                         | 11,77            | 11,38      | 11,83      |
| <b>j15</b>    | 6,48                         | 11,78            | 11,43      | 11,85      |

**Tableau IV-2: Valeur de la conductivité à la chaufferie**

| <b>Conductivité (µs/cm)</b> |                              |                       |            |            |
|-----------------------------|------------------------------|-----------------------|------------|------------|
| <b>Normes</b>               | <b>Sites de prélèvements</b> |                       |            |            |
|                             | <b>B.A (LOOS)</b>            | <b>CH2</b>            | <b>CH3</b> | <b>CH4</b> |
| <b>Jours</b>                | <b>&lt;200<br/>(µs/cm)</b>   | <b>30 – 4000µs/cm</b> |            |            |
| <b>1</b>                    | 73,00                        | 1163,33               | 3568,67    | 2033,33    |
| <b>2</b>                    | 82,97                        | 1614,67               | 1917,67    | 2613,33    |
| <b>3</b>                    | 88,57                        | 2446,33               | 2088,10    | 2710,00    |
| <b>4</b>                    | 67,47                        | 2400,79               | 1840,00    | 2344,54    |
| <b>5</b>                    | 81,33                        | 2201,43               | 1822,86    | 2235,38    |
| <b>6</b>                    | 74,77                        | 2826,67               | 2400,00    | 3950,00    |
| <b>7</b>                    | 78,90                        | 1323,33               | 2213,33    | 2660,00    |
| <b>8</b>                    | 78,60                        | -                     | 2573,33    | 1390,00    |
| <b>9</b>                    | 88,03                        | 2793,33               | 2736,67    | 1770,00    |
| <b>10</b>                   | 85,10                        | 1843,33               | 2530,00    | 2783,33    |
| <b>11</b>                   | 84,83                        | 1530,00               | 2406,67    | 2533,33    |
| <b>12</b>                   | 6,91                         | 2050,00               | 2089,00    | 2923,33    |
| <b>13</b>                   | 78,17                        | 2920,00               | 2200,00    | 1053,00    |
| <b>14</b>                   | 87,43                        | 2353,33               | 2080,67    | 1700,00    |
| <b>15</b>                   | 76,20                        | 2063,33               | 2143,33    | 1806,67    |

**Tableau IV-3: Valeur de la dureté totale à la chaufferie**

| <b>TH</b>  |                       |      |       |      |
|------------|-----------------------|------|-------|------|
| Normes     | Sites de prélèvements |      |       |      |
|            | B.A (LOOS)            | CH2  | CH3   | CH4  |
| jours      | <1 (°F)               |      |       |      |
| <b>j1</b>  | 0,1                   | 0,40 | 0,20  | 0,00 |
| <b>j2</b>  | 0,20                  | 0,40 | 0,20  | 0,10 |
| <b>j3</b>  | 0,20                  | 0,47 | 0,23  | 0,10 |
| <b>j4</b>  | 0,17                  | 0,40 | 0,300 | 0,20 |
| <b>j5</b>  | 0,40                  | 0,40 | 0,00  | 0,20 |
| <b>j6</b>  | 0,40                  | 0,40 | 0,00  | 0,20 |
| <b>j7</b>  | 0,40                  | 0,40 | 0,00  | 0,20 |
| <b>j8</b>  | 0,20                  | -    | 0,00  | 0,20 |
| <b>j9</b>  | 0,37                  | 0,10 | 0,00  | 0,00 |
| <b>j10</b> | 0,27                  | 0,17 | 0,07  | 0,07 |
| <b>j11</b> | 0,60                  | 0,27 | 0,10  | 0,20 |
| <b>j12</b> | 0,33                  | 0,00 | 0,00  | 0,00 |
| <b>j13</b> | 0,30                  | 0,00 | 0,00  | 0,00 |
| <b>j14</b> | 0,30                  | 0,00 | 0,00  | 0,00 |
| <b>j15</b> | 0,30                  | 0,00 | 0,00  | 0,00 |

*Annexes*

**Tableau IV-4: Valeurs de titre alcalimétrique à la chaufferie.**

| TA (°F)             |                       |                |       |        |
|---------------------|-----------------------|----------------|-------|--------|
| Normes<br><br>jours | Sites de prélèvements |                |       |        |
|                     | B.A (LOOS)            | CH2            | CH3   | CH4    |
|                     | <b>0,5 -4,5 °F</b>    | <b>5 -60°F</b> |       |        |
| <b>j1</b>           | 0,20                  | 22,27          | 8,73  | 28,27  |
| <b>j2</b>           | 0,00                  | 22,53          | 9,33  | 27,53  |
| <b>j3</b>           | 0,10                  | 23,93          | 9,93  | 28,40  |
| <b>j4</b>           | 0,00                  | 28,07          | 10,13 | 25,00  |
| <b>j5</b>           | 0,00                  | 30,27          | 14,40 | 30,800 |
| <b>j6</b>           | 0,00                  | 30,73          | 15,20 | 31,13  |
| <b>j7</b>           | 0,00                  | 29,60          | 14,47 | 30,07  |
| <b>j8</b>           | 0,50                  | –              | 16,67 | 29,73  |
| <b>j9</b>           | 0,00                  | 27,87          | 17,00 | 28,07  |
| <b>j10</b>          | 0,30                  | 28,13          | 16,20 | 27,80  |
| <b>j11</b>          | 0,00                  | 28,40          | 10,60 | 23,40  |
| <b>j12</b>          | 0,00                  | 29,07          | 9,67  | 23,67  |
| <b>j13</b>          | 0,23                  | 30,33          | 10,13 | 20,93  |
| <b>j14</b>          | 0,40                  | 26,40          | 9,27  | 29,13  |
| <b>j15</b>          | 0,00                  | 26,60          | 9,60  | 30,16  |

*Annexes*

*Tableau IV-5: Valeurs de titre alcalimétrique complet à la chaufferie.*

| <b>TAC</b> |                       |               |       |       |
|------------|-----------------------|---------------|-------|-------|
| Normes     | Sites de prélèvements |               |       |       |
|            | B.A (LOOS)            | CH2           | CH3   | CH4   |
| jours      | -                     | <b>7-85°F</b> |       |       |
| <b>j1</b>  | 1,00                  | 24,80         | 10,80 | 31,27 |
| <b>j2</b>  | 0,83                  | 25,60         | 11,53 | 29,93 |
| <b>j3</b>  | 1,10                  | 27,40         | 12,13 | 30,87 |
| <b>j4</b>  | 0,87                  | 31,33         | 12,47 | 29,53 |
| <b>j5</b>  | 0,97                  | 33,73         | 16,80 | 35,00 |
| <b>j6</b>  | 1,00                  | 34,87         | 17,73 | 36,20 |
| <b>j7</b>  | 1,10                  | 32,33         | 17,60 | 35,00 |
| <b>j8</b>  | 1,73                  | -             | 19,47 | 35,40 |
| <b>j9</b>  | 1,17                  | 30,60         | 20,07 | 30,20 |
| <b>j10</b> | 1,73                  | 31,33         | 18,80 | 31,03 |
| <b>j11</b> | 1,03                  | 31,13         | 12,20 | 29,27 |
| <b>j12</b> | 1,40                  | 31,60         | 11,20 | 26,47 |
| <b>j13</b> | 1,43                  | 33,60         | 12,07 | 23,60 |
| <b>j14</b> | 1,67                  | 30,00         | 11,47 | 31,07 |
| <b>j15</b> | 0,80                  | 29,33         | 11,80 | 32,27 |

**Tableau IV-6: Valeurs des chlorures à la chaufferie.**

| Cl(°F)     |                       |        |       |        |
|------------|-----------------------|--------|-------|--------|
| Normes     | Sites de prélèvements |        |       |        |
|            | B.A (LOOS)            | CH2    | CH3   | CH4    |
| jours      | -                     | <150°F |       |        |
| <b>j1</b>  | 2,13                  | 113,67 | 32,87 | 120,00 |
| <b>j2</b>  | 2,30                  | 126,33 | 34,87 | 145,00 |
| <b>j3</b>  | 2,53                  | 130,27 | 36,33 | 125,47 |
| <b>j4</b>  | 2,30                  | 149,53 | 37,47 | 132,20 |
| <b>j5</b>  | 2,77                  | 130,00 | 51,33 | 118,87 |
| <b>j6</b>  | 2,63                  | 120,00 | 56,53 | 133,20 |
| <b>j7</b>  | 2,87                  | 109,00 | 55,53 | 100,67 |
| <b>j8</b>  | 3,17                  | -      | 65,87 | 140,33 |
| <b>j9</b>  | 3,37                  | 122,33 | 70,87 | 135,00 |
| <b>j10</b> | 3,20                  | 115,67 | 67,87 | 119,00 |
| <b>j11</b> | 2,50                  | 109,27 | 63,87 | 129,13 |
| <b>j12</b> | 3,33                  | 145,40 | 56,07 | 130,00 |
| <b>j13</b> | 3,03                  | 142,73 | 50,20 | 132,73 |
| <b>j14</b> | 3,17                  | 130,73 | 56,93 | 135,20 |
| <b>j15</b> | 1,90                  | 142,33 | 58,53 | 140,33 |

**Tableau IV-7: Valeurs de Silice à la chaufferie**

| <b>Silice (ppm)</b> |                              |                   |             |             |
|---------------------|------------------------------|-------------------|-------------|-------------|
| Normes              | <b>Sites de prélèvements</b> |                   |             |             |
|                     | <b>B.A (LOOS)</b>            | <b>CH2</b>        | <b>CH3</b>  | <b>CH4</b>  |
| Jours               | <b>&lt;4ppm</b>              | <b>&lt;150ppm</b> |             |             |
| <b>J1</b>           | <b>0,11</b>                  | <b>1,9</b>        | <b>1,2</b>  | <b>2,7</b>  |
| <b>J2</b>           | <b>0,09</b>                  | <b>1,5</b>        | <b>1</b>    | <b>2</b>    |
| <b>J3</b>           | <b>0,06</b>                  | <b>1,3</b>        | <b>0,7</b>  | <b>1,9</b>  |
| <b>J4</b>           | <b>0,03</b>                  | <b>1</b>          | <b>0,6</b>  | <b>1,5</b>  |
| <b>J5</b>           | <b>0,08</b>                  | <b>2,42</b>       | <b>1,35</b> | <b>2,85</b> |

**Tableau IV-8: Valeurs de Fer à la chaufferie**

| <b>Fer Total (ppm)</b> |                              |                |             |             |
|------------------------|------------------------------|----------------|-------------|-------------|
| Normes                 | <b>Sites de prélèvements</b> |                |             |             |
|                        | <b>B.A (LOOS)</b>            | <b>CH2</b>     | <b>CH3</b>  | <b>CH4</b>  |
| Jours                  | <b>&lt;0.3ppm</b>            | <b>&lt;150</b> |             |             |
| <b>J1</b>              | <b>0,01</b>                  |                | <b>0,01</b> | <b>0,01</b> |
| <b>J2</b>              | <b>0,04</b>                  | <b>0,01</b>    | <b>0,02</b> | <b>0</b>    |
| <b>J3</b>              | <b>0</b>                     | <b>0,03</b>    | <b>0</b>    | <b>0,04</b> |
| <b>J4</b>              | <b>0</b>                     | <b>0,01</b>    | <b>0</b>    | <b>0,03</b> |
| <b>J5</b>              | <b>0,01</b>                  | <b>0,02</b>    | <b>0,01</b> | <b>0,02</b> |

**Tableau IV-9: Valeurs des Phosphates à la chaufferie**

|           |                       | <b>PO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (ppm)</b> |             |             |  |
|-----------|-----------------------|--|-------------|-------------|--|
| Normes    | Sites de prélèvements |  |             |             |  |
|           | B.A (LOOS)            | CH2                                      | CH3         | CH4         |  |
| Jours     | -                     | 10 – 30 ppm                              |             |             |  |
| <b>J1</b> | <b>0,6</b>            | <b>14,93</b>                             | <b>1,2</b>  | <b>1,53</b> |  |
| <b>J2</b> | <b>0,1</b>            | <b>12</b>                                | <b>6</b>    | <b>5,2</b>  |  |
| <b>J3</b> | <b>0</b>              | <b>9</b>                                 | <b>4,1</b>  | <b>5</b>    |  |
| <b>J4</b> | <b>0,2</b>            | <b>10</b>                                | <b>5</b>    |             |  |
| <b>J5</b> | <b>0,52</b>           | <b>18,6</b>                              | <b>5,42</b> | <b>1,86</b> |  |

**Tableau IV-10: Valeurs des Sulfites à la chaufferie**

|           |                       | <b>Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> (ppm)</b> |            |            |  |
|-----------|-----------------------|---|------------|------------|--|
| Normes    | Sites de prélèvements |   |            |            |  |
|           | B.A (LOOS)            | CH2                                       | CH3        | CH4        |  |
| Jours     | -                     | 10 – 20 ppm                               |            |            |  |
| <b>J1</b> | <b>0,4</b>            | <b>4,1</b>                                | <b>0</b>   | <b>0</b>   |  |
| <b>J2</b> | <b>0,2</b>            | <b>5</b>                                  | <b>4,3</b> | <b>2</b>   |  |
| <b>J3</b> | <b>0,1</b>            | <b>6,7</b>                                | <b>4,8</b> | <b>3,3</b> |  |
| <b>J4</b> | <b>0,3</b>            | <b>7</b>                                  | <b>3,8</b> | <b>2,6</b> |  |

## ***Résumé***

Notre travail a été effectué au sein du complexe agroalimentaire CEVITAL reposant sur suivi des paramètres physico chimiques des eaux d'alimentation des chaudières.

Les différents propriétés physico-chimiques des eaux d'alimentation des chaudières et des condensats a été effectué au sein de l'entreprise, et ces analyses ont été réaliser au sein du laboratoire osmose inverse de l'entreprise, dont les résultats ont montré que cette eau présente une légère acidité avec une moyenne minéralisation, nous l'avons considérée comme une eau douce.

### **Mots clés**

Paramètres physico chimiques ; eaux d'alimentation ; chaudières ; osmose inverse ; condensats ; eau douce

## ***Abstract***

Our work was carried out with in the CEVITAL agri-food complex based on monitoring the physico-chemical parameters of the boiler feed water.

The different physico-chemical properties of boiler feed water and condensates were carried out within the company, and these analyzes were carried out in the company's reverse osmosis laboratory, the results of which showed that this water has a slight acidity with a medium mineralization, we considered it as soft water.

### **Keywords**

Physico-chemical parameters; the boiler; feed water; condensates; analyzes; reverse osmosis; soft water