

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

UNIVERSITE BADJI MOKHTAR - ANNABA
BADJI MOKHTAR – ANNABA UNIVERSITY



جامعة باجي مختار – عنابة

Faculté : TECHNOLOGIE

Département : GENIE DES PROCEDES

Domaine : GENIE DES PROCEDES

Filière : GENIE DES PROCEDES

Spécialité : GENIE CHIMIQUE

Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master

Thème:

**Etude de la qualité de l'eau d'alimentation de la chaudière
SITERM dans la zone fluide du complexe sidérurgique d'El-
Hadjar-Annaba**

Présenté par : *Mahamat Souleymane Karim*

Oumar Bossere Hissain Hassan

Encadrant : *Leila Menadjlia* M.C.A Université Badji Mokhtar Annaba

Jury de Soutenance :

Farida Bendebane	Dr	U.B.M.A	Présidente
Leila Menadjlia	Dr	U.B.M.A	Encadrant
Zougar Saida	Pr	U.B.M.A	Examineur

Année Universitaire : 2022/2023

Remerciements

Tout d'abord nous tenons à remercier **ALLAH** le tout puissant de nous fournir de la patience au moment de besoin, de la force au moment de la faiblesse et de la volonté contre le désespoir, et de nous avoir permis d'en arriver là.

Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements à notre encadrante **Leila Menadjlia** maître de conférence à l'université **Badji Mokhtar Annaba** ; d'avoir accepté de nous encadrer, orienter et surtout on la remercie pour sa disponibilité au cours de la préparation de notre mémoire.

Ce travail a été réalisé au niveau de **La division fluide** (FLU) du complexe Sidérurgique **d'El Hadjar- Annaba**, dans le cadre de l'obtention du diplôme de fin d'études en **Master**, option **Génie chimique**.

Une pensée particulière est adressée à **Mr Bala Farid**, à **Mr. Abainia Mouhamed** et à tous les membres de l'équipe de la zone EST de la division fluide pour leurs disponibilité et gentillesse tout au long du stage.

Nous remercions également le responsable de laboratoire des analyses d'eaux **Mr. Ziyari Abdelhak** et toute l'équipe pour leurs aides et explications.

Merci également aux membres du jury qui nous ont fait l'honneur d'examiner ce travail, d'assister à la soutenance et d'enrichir ce dernier via leurs commentaires.

Nous ne pourrions pas mettre fin à ces remerciements sans associer nos familles et nos amis pour leurs encouragements.

Nous vous disons tous merci

Dédicace

A chaque fois qu'on achève une étape importante dans notre vie, on fait une pose pour regarder en arrière et se rappeler toutes ces personnes qui ont partagé avec nous tous les bons moments de notre existence, mais surtout les mauvais.

Ces personnes qui nous ont aidés sans le leur dire, soutenus sans réserve, aimé sans compter, ces personnes à qui notre bonheur devient directement le leur, à qui un malheur en nous, en eux se transforme en pleurs.

A mes très chers parents, ce travail représente l'aboutissement de leur soutien tout au long de ma scolarité, mes remerciements ne pourront jamais égaler leur amour, encouragements et sacrifices.

*A ma deuxième maman **HALIME - ADAM - NASSIRE** pour sa présence, son aide, son amour et sa tendresse.*

*A mon très cher grand frère **HASSANE - BOSSERE - HISSEINE** aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours pour vous. Rien au monde ne vaut les efforts fournis jour et nuit pour mon éducation et mon bien être. Ce travail et le fruit de tes sacrifices que tu as consentis pour mon éducation et ma formation le long de ces années.*

A mes chères sœurs.

A toute ma famille de près ou de loin.

A mes cher(e)s ami (e)s pour leurs encouragements, conseils et leur soutien moral.

*A mon binôme **MAHAMAT SOULEMANE KARIM**;*

*Et à tous mes collègues d'étude surtout les étudiants de 2ème année **génie chimique** promotion 2023.*

A toutes ces âmes je dédie ce travail en signe de reconnaissance et de respect.

OUMAR BOSSERE HISSEIN HASSAN

Dédicace

A chaque fois qu'on achève une étape importante dans notre vie, on fait une pose pour regarder en arrière et se rappeler toutes ces personnes qui ont partagé avec nous tous les bons moments de notre existence, mais surtout les mauvais.

Ces personnes qui nous ont aidés sans le leur dire, soutenus sans réserve, aimé sans compter, ces personnes à qui notre bonheur devient directement le leur, à qui un malheur en nous, en eux se transforme en pleurs.

A mes très chers parents, ce travail représente l'aboutissement de leur soutien tout au long de ma scolarité, mes remerciements ne pourront jamais égaler leur amour, encouragements et sacrifices

*A mon cher oncle **TAHIR TERDA DAOUD** aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours pour vous. Rien au monde ne vaut les efforts fournis jour et nuit pour mon éducation et mon bien être. Ce travail et le fruit de tes sacrifices que tu as consentis pour mon éducation et ma formation le long de ces années.*

A mes frères et sœurs.

A toute ma famille de près ou de loin.

A mes cher(e)s ami(e)s pour leurs encouragements, conseils et leur soutien moral.

*A mon binôme **OUMAR BOSSERE HISSEIN HASSAN***

*Et à tous mes collègues d'étude surtout les étudiants de 2ème année **génie chimique** promotion 2023.*

A toutes ces âmes je dédie ce travail en signe de reconnaissance et de respect.

MAHAMAT SOULEMANE KARIM

Sommaire

<i>Remerciements</i>	I
<i>Dédicace</i>	II
<i>Résumé</i>	IX
LISTE DES FIGURES	XIII
LISTES DES TABLEAUX	XVI
LISTES DES ABREVIATIONS	XVII
INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE I : PRESENTATION DE L'ENTREPRISE	4
I Introduction	5
I.1 Situation géographique du Complexe	5
I.2 Organigramme de l'entreprise	7
I.3 Processus de la production	8
I.4 Principales activités	9
I.5 Division fluide	9
I.5.1 Organigramme de la division fluide	10
I.5.2 Organisation de la division fluide	11
I.5.3 Description technique de la <i>division</i> fluide	11
I.5.4 Production de l'eau industrielle	12
I.5.5 Production de l'eau déminéralisée	19
I.6 Conclusion :	20
ETUDE THEORIQUE	21
CHAPITRE II : SEPARATION MEMBRANAIRE	22
II Introduction	23
II.1 Définition d'une membrane	23
II.2 Procédés membranaires	23
II.2.1 Microfiltration (MF)	24
II.2.2 Ultrafiltration (UF)	24

II.2.3 Nano filtration (NF)	25
II.2.4 Osmose inverse OI	25
II.3 Classification des membranes	29
II.3.1 Les modules spirales	31
II.4 Mise en œuvre des membranes.	32
II.4.1 Décollement frontal	32
II.4.2 Écoulement tangentiel	32
II.5 Grandeurs principales et loi de filtration	32
II.6 Conclusion	33
CHAPITRE III : PRESENTATION DES CHAUDIERES A VAPEUR	34
III Introduction :	35
III.1 Chaudières à combustibles	36
III.1.1 Les chaudières à tube de fumées	37
III.1.2 Les chaudières à tube d'eau	38
III.1.3 Comparaison des performances	41
III.2 Mécanisme de la chaudière	42
III.2.1 Qualité d'eau de chaudière et d'alimentation	42
III.2.2 Alimentation en eau	43
III.2.3 Les éléments constituant le site de la chaufferie	44
III.2.4 Circuits d'une chaudière	45
III.3 Principe général de fonctionnement	45
III.3.1 Exploitation	45
III.3.2 Mise en service des brûleurs et fonctionnement	46
III.3.3 Approvisionnement en air de combustion des brûleurs	46
III.3.4 Cycle de l'eau dans une chaufferie	47
III.4 Conclusion :	48
CHAPITRE IV : LES PROBLEMES RENCONTRES DANS LES CHAUDIERES	49
IV Introduction	50

IV.1 Moussage et primage	50
IV.1.1 Définitions et origines de primage et de moussage	50
IV.1.2 Protection contre le moussage et le primage	51
IV.1.3 Entartage	51
IV.1.4 Les corrosions	51
IV.1.5 La corrosion des chaudières	55
IV.1.6 L'action de gaz carbonique	57
IV.1.7 Les facteurs agissant sur la vitesse de corrosion	58
IV.2 Conditionnement des eaux de chaudières	59
IV.3 Conclusion	62
ETUDE PRATIQUE	63
CHAPITRE V : DIAGNOSTIC DU SECTEUR	64
V Problématique	65
V.1 Diagnostique	66
V.2 Cycle d'eau dans l'entreprise	66
V.3 Traitement de l'eau avant son utilisation	67
V.3.1 Production de l'eau industrielle	67
V.3.2 Production de l'eau déminéralisée	68
V.4 Type de chaudière au niveau de la zone Est	71
V.5 CONCLUSION	73
CHAPITRE VI : ETUDE EXPERIMENTALE	74
VI Contexte de l'étude	75
VI.1 Introduction	75
VI.2 Objectif de l'étude	75
VI.3 Laboratoires d'analyses	75
VI.4 Laboratoire des eaux	75
VI.5 Paramètres physico-chimiques analysés	76
VI.6 Variation des paramètres physico-chimiques de l'eau brute et industrielle	78

VI.7 Représentation graphique des paramètres et discussions des résultats	78
VI.8 Détermination du caractère de l'eau d'alimentation	85
VI.8.1 Expression des résultats	85
VI.8.2 Exploitation des résultats	86
VI.8.3 Détermination du caractère de l'eau de chaudière	86
VI.8.4 Expression des résultats	86
VI.8.5 Exploitation des résultats	87
VI.8.6 Etude de l'évolution des teneurs de la chaudière	87
VI.8.7 Représentation graphique et discussions des résultats	87
VI.9 Conclusion	91
CONCLUSION GENERALE	92
VII BIBLIOGRAPHIE	95
ANNEXE 01 : METHODES ANALYTIQUES	97
ANNEXE 02 : RELEVES DES	107
ANNEXE 03 : DIVERS	110

Résumé

L'objectif de cette étude est de faire une étude qualitative des eaux avant et après leur prétraitement classique et leur traitement d'adoucissement par filtration membranaire, destinées à l'alimentation des chaudières de production de la vapeur au niveau du Complexe Sidérurgique d'El Hadjar à Annaba.

Nous avons fait un suivi et un contrôle de la qualité physico-chimique, notamment des paramètres de la dureté (TH , $T_{Ca^{2+}}$, $T_{Mg^{2+}}$), de l'alcalinité (TA et TAC), du pH , de la Salinité (χ et TDS) et des matières en suspension de l'eau de barrage de CHEFFIA, dès son arrivée au réservoir du Complexe, jusqu'à son stockage (chaîne de traitement) dans la bêche alimentaire de chaudière ; les analyses ont été effectuées au niveau du laboratoire Centrale du Complexe.

Cette étude nous a permis de voir l'efficacité de l'adoucissement pour le traitement des eaux. Les techniques membranaires ont permis de faire diminuer les valeurs des teneurs de la minéralisation avec une efficacité variable selon l'élément minéral. La dureté totale de l'eau ainsi que la concentration en ions calcium et magnésium ont subi une diminution tout au long de la filière de traitement.

Mots clés : Etude qualitative des eaux, alimentation, traitement, séparation membranaire, chaudières, Analyse physico-chimique.

Abstract

The objective of this study is to make a qualitative study of the waters before and after their classic pretreatment and their softening treatment by membrane filtration, intended for the supply of the steam production boilers at the level of the Iron and Steel Complex of El Hadjar in Annaba.

We made a follow-up and a control of the physico-chemical quality, in particular of the parameters of the hardness (TH, $T_{Ca^{2+}}$, $T_{Mg^{2+}}$), of the alkalinity (TA and TAC), of the pH, of the Salinity (χ and TDS) and suspended solids from CHEFFIA dam water, from its arrival at the Complex reservoir, until its storage (treatment chain) in the boiler feed tank; the analyzes were carried out at the level of the Central laboratory of the Complex.

This study allowed us to see the effectiveness of softening for the treatment of waters. Membrane techniques have made it possible to reduce the values of the levels mineralization with variable efficiency depending on the mineral element. The total hardness of the water as well as the concentration of calcium and magnesium ions decreased throughout the treatment process.

Keywords: Qualitative study of water, supply, treatment, membrane separation, boilers, physico-chemical analysis.

ملخص

الهدف من هذه الدراسة هو ضبط جودة المياه قبل وبعد معالجتها التقليدية ومعالجتها بالترشيح الغشائي لتزويد الغلايات البخارية المنتجة على مستوى مجمع الحديد من الحجار إلى عنابة.

قمنا بالمتابعة والتحكم في الجودة الفيزيائية والكيميائية ، ولا سيما معلمات الصلابة (TH ، + Tca2 ، TMg2 +) ، القلوية (TA و TAC) ، ودرجة الحموضة ، والملوحة (χ و TDS) والمواد الصلبة العالقة من مياه سد CHEFFIA ، بمجرد وصولها إلى خزان المجمع ، حتى يتم تخزينها (خط المعالجة) في خزان تغذية الغلاية ؛ أجريت التحاليل على مستوى المختبر المركزي للمجمع.

سمحت لنا هذه الدراسة برؤية فعالية التلدين في علاج

مياه. جعلت تقنيات الأغشية من الممكن تقليل قيم المستويات

تمعدن بكفاءة متغيرة حسب العنصر المعدني. انخفض عسر الماء الكلي وكذلك تركيز أيونات الكالسيوم والمغنيسيوم طوال سلسلة المعالجة.

الكلمات المفتاحية: - التحكم - جودة المياه - الإمداد - المعالجة - فصل الأغشية - الغلايات - التحليل الفيزيائي - الكيميائي.

ANNUAIRE

LISTE DES FIGURES

FIG1. 1-IMAGE SATELLITE DU COMPLEXE D'EL HADJAR	6
FIG1. 2-ORGANIGRAMME DE L'ENTREPRISE	7
FIG1. 3-PROCESSUS DE LA PRODUCTION DE SIDER EL HAJAR	8
FIG1. 4-ORGANISGRAMME DE LA DIVISION FLUIDE	10
FIG1. 5-ORGANISATION DE LA DIVISION FLUIDE	11
FIG1. 6-LES DEUX STATIONS D'EAU INDUSTRIELLE DE LA ZONE EST	12
FIG1. 7-SALLE DE POMPAGE	13
FIG1. 8-MACHINE DE LA PRODUCTION DU LAIT DE CHAUX	14
FIG1. 9- DECANTEUR 1 DE LA ZONE EST	15
FIG1. 10-SEPARATION DES BOUES DU LIQUIDE AU NIVEAU DU DECANTEUR 2	15
FIG1. 11-EAU DEBORDANTE DU DECANTEUR	16
FIG1. 12-FILTRE A SABLE	16
FIG1. 13-SALLE DE TRAITEMENT	17
FIG1. 14-STATION DE COMPRESSION	17
FIG1. 15-LES CHAUDIERES DE LA STATION DE CHAUFFERIE	18
FIG2. 1-LES TECHNIQUES SEPARATIVES A MEMBRANES UTILISEES DANS LE TRAITEMENT DES EAUX	24
FIG2. 2-PHENOMENE D'OSMOSE INVERSE	26
FIG2. 3-INSTALLATION D'OSMOSE INVERSE	27
FIG2. 4-PHENOMENE DE POLARISATION	28
FIG2. 5-CLASSIFICATION DES MEMBRANES	30
FIG2. 6-STRUCTURE INTERNE D'UNE MEMBRANE A SPIRALE	31
FIG2. 7-FILTRATION EN MODE FRONTAL	32
FIG2. 8-FILTRATION EN MODE TANGENTIEL	32
FIG 3. 1-SCHEMA DE PRINCIPE D'UNE CHALEUR DE PRODUCTION DE VAPEUR	36
FIG 3. 2-LA CHAUDIERE BABCOCK WANSON DE LA ZONE FLUIDE	37
FIG 3. 3- SCHEMA D'UNE CHAUDIERE A TUBE D'EAU	39
FIG 3. 4-LA CHAUDIERE SITERM DE LA ZONE FLUIDE	39
FIG 3. 5- VUE GENERALE DES APPROVISIONNEMENTS ET DES MECANISMES DE LA CHAUDIERE	42
FIG 3. 6-CYCLE DE L'EAU DANS LA CHAUDIERE	48
FIG 4. 1-CORROSION PAR PIQURE	53
FIG 4. 2-EFFET D'UNE CORROSION PAR PIQURE	53
FIG 4. 3-OBSERVATION INTERNE ET EXTERNE D'UN TUBE DE CHAUDIERE	54
FIG 4. 4-CORROSION GALVANIQUE	55

FIG 4. 5-EFFET D'UNE CORROSION GALVANIQUE	55
FIG 4. 6-CORROSION PAR O₂	56
FIG 4. 7-FRAGILISATION CAUSTIQUE.....	56
FIG 4. 8-EFFET DE LA CORROSION CAUSTIQUE	56
FIG 4. 9-CORROSION PAR CO₂	58
FIG 4. 10-EFFET D'UNE CORROSION BASIQUE	59
FIG 4. 11-PHENOMENE DE FLUAGE CAUSE PAR FATIGUE (ECLATEMENT D'UN TUBE).....	59
FIG 5. 1-CAPTURE DE FUITE AU NIVEAU DE LA CHAUDIERE.....	65
FIG 5. 2-CYCLE D'EAU SIDER	66
FIG 5. 3-SCHEMA SYNOPTIQUE DES ETAPES DE LA PRODUCTION DE L'EAU INDUSTRIELLE AU NIVEAU DE LA ZONE EST.....	67
FIG 5. 4-PROCEDE D'ULTRAFILTRATION	69
FIG 5. 5-SCHEMA SYNOPTIQUE DU FONCTIONNEMENT DU MONTAGE D'OI	70
FIG 5. 6-CHAUDIERE DE LA ZONE EST.....	72
FIG 6. 1-VARIATION DU TITRE ALCALIMETRIE SIMPLE DE DEUX EAUX (BRUTE ET INDUSTRIELLE)	78
FIG 6. 2- VARIATION DU TITRE ALCALIMETRIE COMPLET DE DEUX EAUX (BRUTE ET INDUSTRIELLE)	79
FIG 6. 3-VARIATION DE LA DURETE TOTALE TH DE DEUX EAUX (BRUTE ET INDUSTRIELLE).....	80
FIG 6. 4-VARIATION DE LA DURETE CALCIQUE TCA²⁺ DE DEUX EAUX (BRUTE ET INDUSTRIELLE)	81
FIG 6. 5-VARIATION DE LA DURETE MAGNESIEN MG²⁺ DE DEUX EAUX (BRUTE ET INDUSTRIELLE)	81
FIG 6. 6- VARIATION DES CHLORURES DANS L'EAU BRUTE ET INDUSTRIELLE.....	82
FIG 6. 7-VARIATION DE TDS DE DEUX EAUX (BRUTE ET INDUSTRIELLE	82
FIG 6. 8-VARIATION DE LA CONDUCTIVITE ELECTRIQUE DE DEUX EAUX (BRUTE ET INDUSTRIELLE)	83
FIG 6. 9-VARIATION DE MES DE DEUX EAUX (BRUTE ET INDUSTRIELLE	83
FIG 6. 10-VARIATION DE LA TEMPERATURE DE DEUX EAUX (BRUTE ET INDUSTRIELLE).....	84
FIG 6. 11-VARIATION DU PH DE DEUX EAUX (BRUTE ET INDUSTRIELLE)	84
FIG 6. 12-VARIATION DU PH DE L'EAU D'ALIMENTATION EN FONCTION DU TEMPS	87
FIG 6. 13-VARIATION DE LA CONDUCTIVITE DE L'EAU D'ALIMENTATION EN FONCTION DU TEMPS	88
FIG 6. 14-VARIATION DU PH DE L'EAU DE CHAUDIERE	88
FIG 6. 15-VARIATION DE LA CONDUCTIVITE DE L'EAU DE LA CHAUDIERE EN FONCTION DU TEMPS	89
FIG 6. 16-VARIATION DE LA CONCENTRATION DU CL- DANS L'EAU D'ALIMENTATION EN FONCTION DU TEMPS	89
FIG 6. 17-VARIATION DE LA CONCENTRATION DE CL- DANS L'EAU DE CHAUDIERE EN FONCTION DU	

TEMPS.....	90
FIG 6. 18-VARIATION DE LA CONCENTRATION DE LA SILICE DANS L'EAU DE LA CHAUDIERE EN FONCTION DU TEMPS.....	90
FIG 7. 1-DOSAGE VOLUMETRIQUE DU TA ET TAC.....	99
FIG 7. 2-DOSAGE VOLUMETRIQUE DU TH.....	100
FIG 7. 3-DOSAGE VOLUMETRIQUE DU TCA++.....	101
FIG 7. 4-DOSAGE VOLUMETRIQUE DU CL-.....	101
FIG 7. 5-COUPLE PH- METRE CONCORTE "C832"/CONDUCTIMETRE.....	102
FIG 7. 6-CONDUCTIMETRE "E587".....	103
FIG 7. 7-PH METRE ET CONDUCTIMETRIE.....	103
FIG 7. 8-SPECTROPHOTOMETRE «H DR 5000 ».....	104
FIG 7. 9-SPECTROPHOTOMETRE « H DR 5000 » DOSAGE DU FER TOTAL.....	105
FIG 7. 10-SPECTROPHOTOMETRE "H DR 5000" DOSAGE DE LA SILICE.....	106
FIG 7. 11-TURBIDIMETRE AL450T-IR.....	106
FIG 8. 2- TABLEAU DE BORD DU FONCTIONNEMENT DE LA CHAUDIERE AU NIVEAU DE LA ZONE - EST DU COMPLEXE EL HADJAR - ANNABA.....	118
FIG 8.3- INHIBITEUR (CETAMINE G810) UTILISE DEPUIS JUIN 2019 DANS LA ZONE EST DU COMPLEXE EL HADJAR-ANNABA.....	119

LISTES DES TABLEAUX

TAB 1.1-PRINCIPALES ACTIVITES DU COMPLEXE.....	9
TAB2. 1-AVANTAGES ET INCONVENIENTS DE L'OSMOSE INVERSE	28
TAB2. 2-PROCEDES CONCURRENTS AUX DIFFERENTES TECHNIQUES MEMBRANAIRES	29
TAB 3. 1-CLASSIFICATION DES CHAUDIERES	35
TAB 3. 2- CARACTERISTIQUES DE LA CHAUDIERE SITERM	40
TAB 3. 3-COMPARAISON DES PERFORMANCES DES CHAUDIERES	41
TAB 3. 4-Q UALITE D'EAU DE CHAUDIERE ET D'ALIMENTATION	43
TAB 4. 1- LES PRODUITS DE CONDITIONNEMENT	59
TAB 5. 1-MEMBRANE DE L'UF-SECTEUR ZONE EST-COMPLEXE SEH-ANNABA	69
TAB 5. 2-DONNEES TECHNIQUES DE L'UNITE D'OI -ZONE EST-COMPLEXE SEH-ANNABA.....	71
TAB 5. 3-CARACTERISTIQUES DE LA CHAUDIERE DE LA ZONE EST	72
TAB 6. 1-CARACTERE DES EAUX SELON LE TH (BERNE F. ET CORDONNIER J., 1991).....	76
TAB 6. 2-CARACTERE DE L'EAU SELON LE PH	77
TAB 6. 3-TENDANCES DE L'EAU SELON L'INDICE DE RYZNAR.....	86
TAB 6. 4-RESULTATS DES CALCULS DE L'INDICE DE RYZNAR.....	86
TAB 7. 1- RESULTATS DES ANALYSES DE L'EAU BRUTE (MARS 2023).....	108
TAB 7. 2- RESULTATS DES ANALYSES DE L'EAU INDUSTRIELLE (MARS 2023)	108
TAB 7. 3- RESULTATS DES ANALYSES DE L'EAU D'ALIMENTATION (MARS 2023)	109
TAB 7. 4-RESULTATS DES ANALYSES DE L'EAU DE LA CHAUDIERE (MARS 2023)	109
TAB 8. 1- DETERMINATION DU FACTEUR DES SELS DISSOUS	111
TAB 8. 2- DETERMINATION DU FACTEUR DE TEMPERATURE	111
TAB 8. 3- DETERMINATION DU FACTEUR DE DURETE DE CALCIUM	112
TAB 8. 4- DETERMINATION DU FACTEUR DE L'ALCALINITE TOTALE	113
TAB 8. 5- TABLES DES NORMES DES EAUX DE LA CHAUDIERE.....	114
TAB 8. 6- TABLEAU DE CALCULS DE CHLORE EN MG/L	116
TAB 8. 7- TABLE DE FACTEUR DE CORRECTION POUR LE CALCUL DE TDS	117

LISTES DES ABREVIATIONS

Ca(OH)₂	Lait de chaux
FeCl₃	Chlorure ferrique
Fe³⁺	Ion fer
Al³⁺	Ion aluminium
Cl⁻	Ion chlorure
Ca(HCO₃)	Bicarbonate de calcium
Mg(HCO₃)	Bicarbonate de magnésium
CaCO₃	Carbonate de calcium
MgCO₃	Carbonate de magnésium
Ca²⁺	Ion calcium
Mg²⁺	Ion magnésium
HCO₃	Bicarbonate
H₂O	Eau
CO	Oxyde de carbone
CO₂	Dioxyde de carbone
µm	Micromètre
nm	Nanomètre
mm	Millimètre
µs	Micro siemens
t/h	Tonnes par heure
°C	Degré Celsius
°F	Degré français
L	Litre
OI	Osmose inverse
NF	nano filtration
MF	micro filtration
UF	ultra filtration
HP	Haute pression
TPM	Pression transmembranaire

GN	Gaz naturel
pH	Potentiel d'hydrogène
pH_s	Potentiel d'hydrogène de saturation
MES	Matière en suspension
TDS	Totalité des sels dissous
TA	Titre alcalimétrique
TAC	Titre alcalimétrique complet
TH	Titre hydrotimétrique
SBS	Société bônoise sidérurgie
SNS	Société nationale de sidérurgie
ACO	Aciérie à Oxygène
HF	Haut fourneau
PMA	Préparation de matière première et agglomération
ACE	Aciérie Electrique
LAC	Laminoir à Chaud
LFR	Laminoir à fils et ronds
COX	Centrale à oxygène
N₂H₄	Hydrazine
O₂	Dioxygène
N₂	Azote
Cu	Cuivre
CuO	Oxyde de cuivre
NH₃	Ammoniac
P	Phosphate
Na₃PO₄	Phosphate de sodium
Na₂HPO₄	Hydrogénophosphate de sodium
NaOH	Hydroxyde de sodium
SiO₃	Silicate
Ca₃(PO₄)₂.Ca(OH)₂	Hydroxyapatite de calcium
MgSiO₃. Mg (OH)₂.H₂O	Serpentine

INTRODUCTION GENERALE

Dans l'industrie, l'eau est nécessaire à plusieurs niveaux et dans de nombreux domaines et secteurs d'activités. Elle est principalement utilisée dans l'industrie lourde comme pour les circuits de chaleurs et l'alimentation des circuits de refroidissement.

Une chaudière est un générateur de vapeur, et dans l'industrie, l'eau est considérée comme une source essentielle d'énergie. Dans notre cas d'étude, cette source d'énergie est utilisée dans une chaudière à tube d'eau pour la production d'une vapeur à basse pression.

Au niveau des chaudières, l'eau peut provoquer des problèmes, souvent, tels que : la corrosion, l'entartrage, le moussage et le primage. Ces phénomènes dépendent de la nature du métal avec lequel l'eau se trouve en contact, des conditions opératoires de l'installation et de la qualité des eaux d'appoint utilisées.

Pour réduire ces problèmes, une bonne qualité d'eau d'alimentation est exigée ; pour cela des différentes techniques de traitement des eaux sont envisagées. Parmi lesquelles, on trouve celle de la séparation membranaire.

L'Osmose Inverse (OI) et la Nanofiltration (NF) sont des opérations de séparation par membranes pour lesquelles la force de transfert est un gradient de pression. Ces membranes peu ou pas poreuses jouent un rôle très important dans le traitement de l'eau. En effet, elles peuvent être employées en traitement des eaux industrielles.

Dans certains cas, ces membranes sont également utilisées comme étapes de finition après l'ultrafiltration et/ou la microfiltration lors du traitement des fluides ou des effluents laitiers [1] [2].

C'est dans ce contexte que s'inscrit ce mémoire, dont l'objectif de notre étude est de contrôler la qualité de l'eau d'alimentation d'une chaudière à vapeur, tout en suivant les différentes étapes de traitement d'une eau brute jusqu'à ce qu'elle devienne une eau déminéralisée pour l'alimentation de la chaudière dans la zone Est du complex sidérurgique d'El-Hadjar.

Cette étude a été réalisée durant une période étendue du mois de mars de l'année 2023, sur des échantillons prélevés des eaux brutes, industrielles, d'alimentation et des eaux de chaudière.

Dans ce sens, la rédaction de ce mémoire est organisée en deux parties :

- ✓ La première partie est la partie théorique qui contient quatre chapitres :

Dans le premier chapitre, une présentation générale du complexe SIDER.

Le second chapitre est entièrement consacré à la littérature des méthodes de séparations membranaires, notamment les procédés membranaires à gradient de pression.

Le troisième chapitre contient une généralité sur les générateurs à vapeur.

Le quatrième chapitre traite les problèmes rencontrés dans les chaudières et le conditionnement des eaux de chaudières.

✓ La partie pratique, en deuxième tranche, est divisée en deux chapitres :

Le premier est destiné à la présentation des procédés de traitement au niveau du complexe, ainsi que le type de chaudière utilisée dans la zone Est.

Le dernier chapitre consiste en une étude expérimentale consacrée au contrôle de la qualité des eaux et notamment celles qui alimentent la chaudière de notre site étudié.

✓ Enfin, une conclusion générale récapitule les principaux résultats obtenus.

CHAPITRE I : PRESENTATION DE L'ENTREPRISE

I Introduction :

La Société nationale de sidérurgie (SNC), a été créée en 1964 avec pour mission de mettre sur pied le complexe d'El Hadjar, inauguré effectivement le 19 juin 1969 dans la commune de Sidi Amar, wilaya d'Annaba, par l'ancien président Houari Boumediène (1932-1978).

Le complexe Sider El Hadjar est un géant de la sidérurgie à l'échelle nationale et régionale, un symbole de la politique d'industrialisation de l'Algérie et une locomotive de l'industrie et de la relance économique dont l'activité dépend directement des produits ferreux.

La fonte est la matière première qui se trouve au niveau de l'Ouenza « Tébessa », en option la fonte et l'acier qui par la suite sont transformés en produit semi finis dans différents ateliers ou secteur ; l'aciérie à oxygène « ACO1/ACO2 », le laminoir à chaud et à froid « LAC/LAF », les tubes soudés « TUS », la turbine sans soudure « TSS », le laminoir à fil et rond « LFR », le laminoir rond à béton « LRB » [3].

I.1 Situation géographique du Complexe

Le Complexe Sidérurgique d'EL-HADJAR est situé à l'Est du pays dans la zone industrielle d'ANNABA. Il est implanté à 15Km, au sud de la ville, et occupe une superficie plus de 800 ha.

La superficie se répartie approximativement en trois zones :

- Les ateliers de la production, « 300 ha ».
- Les zones de stockage, « 300 ha ».
- Les surfaces des services, « 200 ha ».



Fig1. 1-Image satellite du complexe d'El Hadjar

I.2 Organigramme de l'entreprise

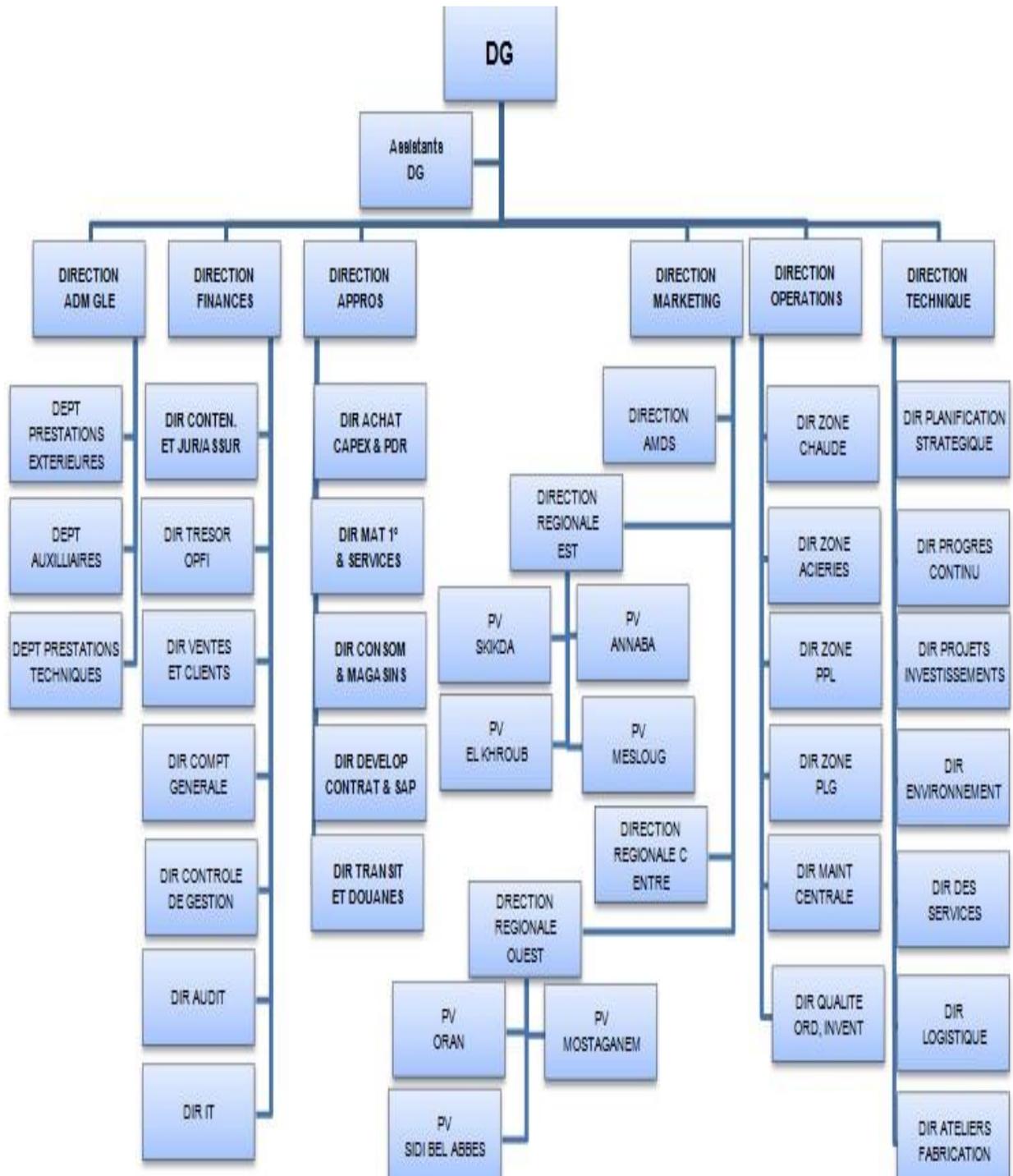


Fig1. 2-organigramme de l'entreprise

I.3 Processus de la production

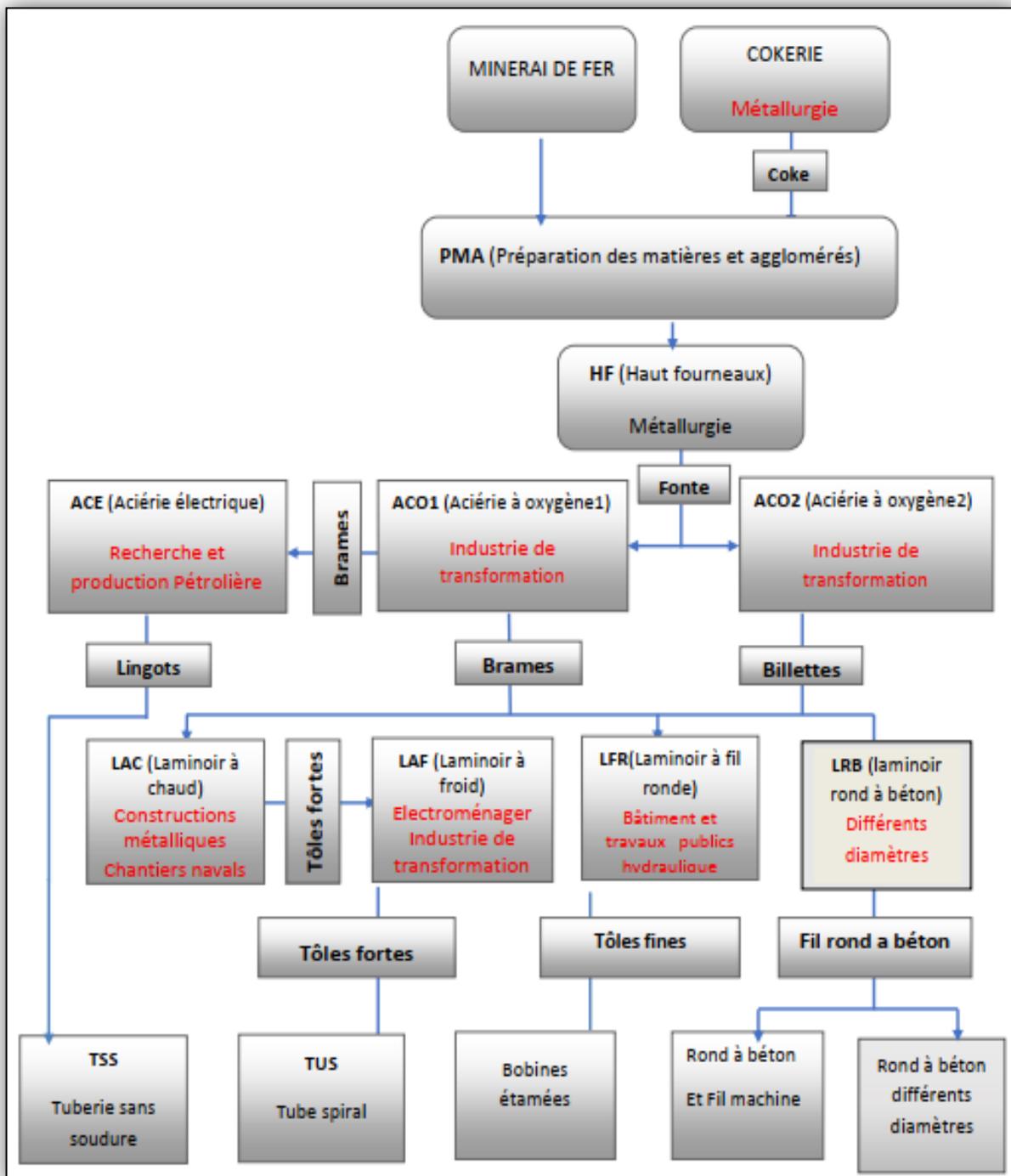


Fig1. 3-processus de la production de Sider El Hajar

I.4 Principales activités :

« SIDER EL-HADJAR » est une entreprise qui comprend tous les ateliers intervenant dans le processus de production de l'acier. Les installations intervenantes dans ce processus sont regroupées dans le tableau suivant :

Tab 1.1-principales activités du complexe

Installation	Utilisations
PMA	Production de la matière première (agglomérée et coke)
HF1, HF2	Produisent de la fonte liquide, et le laitier sert pour les cimenteries
ACO₁	Solidifier l'acier sous forme de brame qui sera acheminé vers le laminoir à chaud.
ACO₂	L'acier liquide est solidifié sous forme de billette qui sera laminé par la suite au niveau des laminoirs à fil et rond.
(ACE)	Alimente principalement la tuerie sans soudure en lingots. Elle produit également des billettes pour le LFR et le LRB.
LAC	Transforme les brames produites par l'ACO ₁ en bobines.
LFR	Produit du rond à béton lisse et du fil à machine à partir des billettes
COX	Produit les gaz industriels de l'air et approvisionne sans arrêt les différents ateliers et installations du Complexe.

Pendant la période du stage, des visites de la division fluide et spécifiquement de la zone Est et du laboratoire central ont été convenablement organisées.

I.5 Division fluide :

La division fluide s'occupe principalement de la distribution des différents fluides à travers le Complexe et assure la protection à partir d'un réseau de conduite (le rack), tout diamètre confondu, qui s'étend à plus de 25 Km [4].

Ce service assure la production de plusieurs fluides à savoir :

La distribution et la protection de l'eau industrielle, de l'air de service, de la vapeur saturée, du gaz naturel et de l'eau potable.

I.5.1 Organigramme de la division fluide

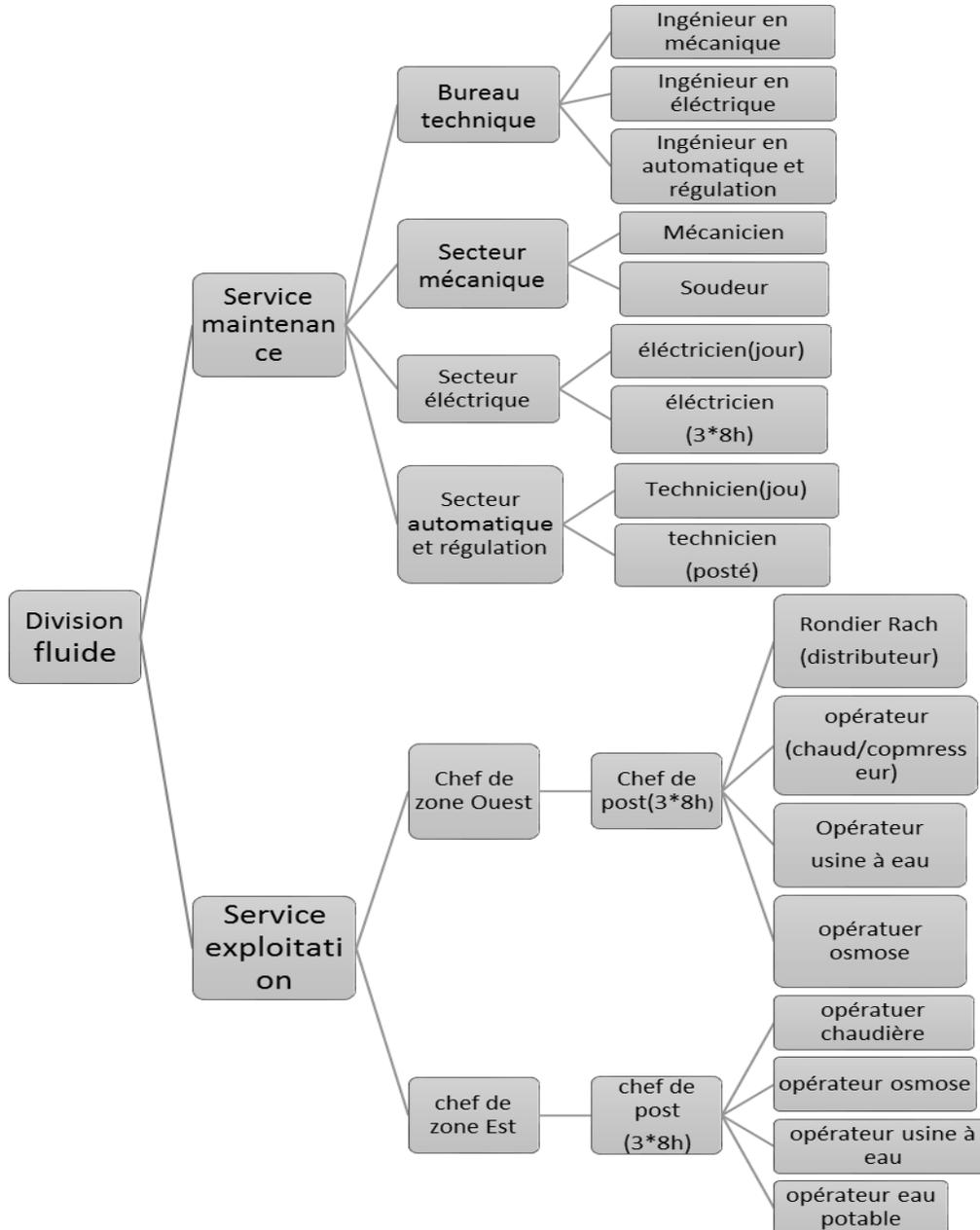


Fig1. 4-Organigramme de la division fluide

I.5.2 Organisation de la division fluide :

Cet organigramme (Figure I.4) montre la planification et l'organisation des différents équipements de la division fluide [5];

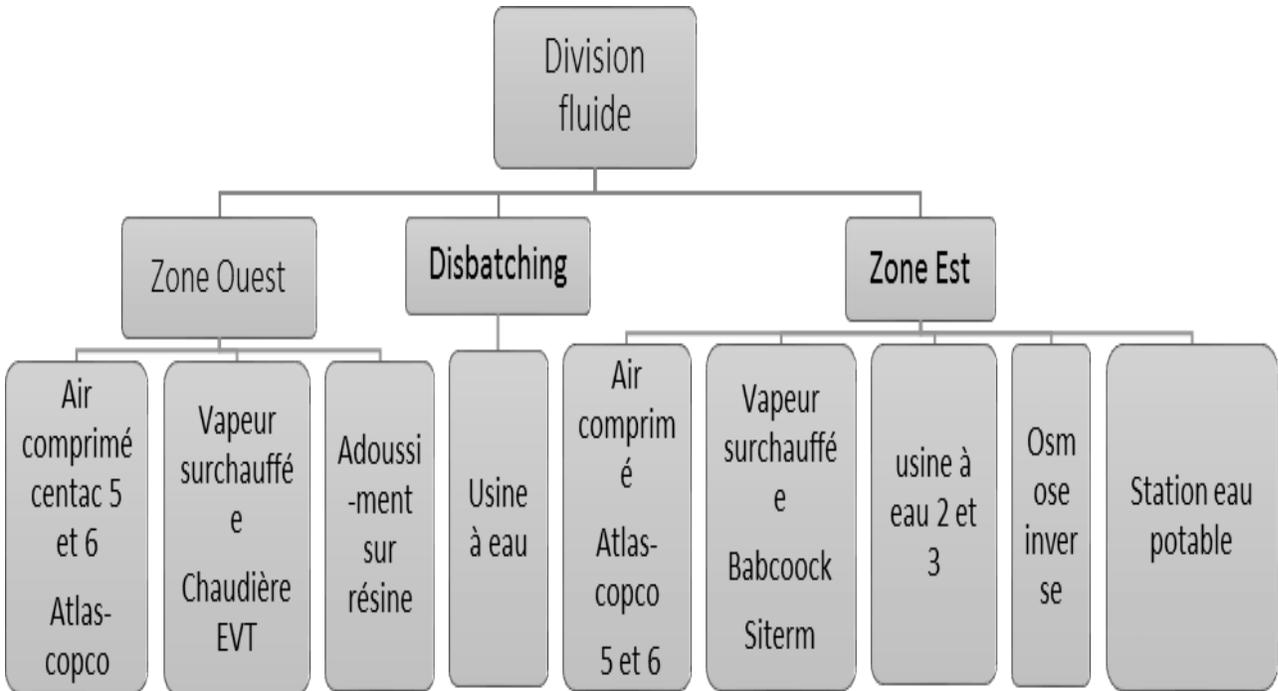


Fig1. 5-Organisation de la division fluide

I.5.3 Description technique de la *division fluide* :

➤ **La Zone Est** : est constituée des stations suivantes :

Stations d'eau industrielle : elle est constituée de 2 Usines à eau N=° 2 et 3 avec une capacité de 2*1000 m³/h et une salle réactive.



U.A.E 2



La salle des pompes



5 filtres à sable



Décanteur

U.A.E 3



La salle des pompes



5 filtres à sable



Décanteur



La salle réactive

**Fig1. 6-Les deux stations d'eau industrielle de la zone Est**

La plupart des processus du Complexe ont besoin de l'eau industrielle, et la production de ce dernier, passe par plusieurs étapes de traitement de l'eau brute, qu'on va les présenter dans le paragraphe suivant ;

I.5.4 Production de l'eau industrielle : Le processus de conversion de l'eau brute en eau industrielle est comme suit :

- **Eau brute :** Le réseau d'eau qui alimente l'usine provient du barrage de CHAFIA à travers la station de pompage qui se trouve à SIDI AMAR, cette dernière alimente l'usine par gravité par des conduites de 1050 mm, à une pression de 4 bars et à un débit de 2000 m³/h.
- **Arrivée d'eau :** L'eau arrive dans cette conduite provenant de la réserve privée du Complexe dont la pression est régulée dans la salle de pompage EBS (figure I.7).



Fig1. 7-Salle de pompage

L'eau qui arrive dans cette conduite est amortie dans un bassin appelé aussi le brise charge. C'est dans cet équipement qu'il est injecté le lait de chaux $\text{Ca}(\text{OH})_2$, chlorure ferrique (FeCl_3) et le polymère (Sp6).

- **Coagulation et floculation** : L'eau brute contient des particules extrêmement fines. Ces particules peuvent rester en suspension dans l'eau durant de très longues périodes ; c'est la raison pour laquelle il est nécessaire d'ajouter à l'eau traitée un électrolyte permettant de neutraliser les charges négatives qui sont à l'origine du maintien des suspensions stables. On utilise généralement des sels d'un métal trivalent ; Fe^{3+} ou Al^{3+} . Le traitement se déroule en deux étapes successives :

- * Décharger les colloïdes généralement électronégatifs présents dans l'eau (traitement de coagulation, dans notre cas le FeCl_3) ;
- * Favoriser l'agglomération des particules en floes plus volumineux et accélérer leurs chutes (traitement de floculation dans notre cas) [6].

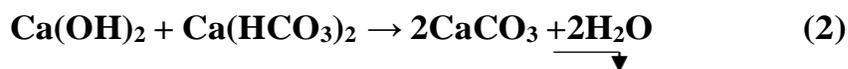
- **Décarbonatation à la chaux** : La décarbonatation à la chaux est un traitement de précipitation qui a pour effet de réduire la dureté temporaire d'une eau qui est due à la présence des bicarbonates de calcium $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ et de magnésium $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ [7].

La chaux, employée sous forme de lait de chaux $\text{Ca}(\text{OH})_2$, précipite les bicarbonates de calcium et de magnésium sous forme de cristaux (petits grains fins). Les réactions de décarbonatation sont les suivantes :

- * En premier temps, l'eau contient du CO_2 ; celui-ci réagit le premier sur la chaux pour former de l'hydrogénocarbonate de calcium :



*Par conséquent, une augmentation du TAC et de TCa^{2+} favorise la précipitation du CaCO_3 , selon la réaction :



*Si $\text{TCa}^{2+} < \text{TAC}$, on obtient la réaction suivante :



* S'il y a un excès de chaux, cela conduira à la réaction :



Il suffit de retirer les petits grains contenus dans l'eau pour avoir une eau partiellement épurée [8].

Après avoir été stockée, l'eau passe dans le décanteur à travers une conduite souterraine pour purifier l'eau des particules, dans le but d'avoir une eau industrielle.



Fig1. 8-Machine de la production du lait de chaux

- **Décantation** : La décantation est une opération de séparation mécanique, par différence de gravité de phases non-miscibles dont l'une au moins est liquide. On peut séparer les phases liquides, une phase solide en suspension dans une phase liquide grâce au "décanteur" qui possède un bras pivotant, et ayant un fond conique comme on peut le voir sur la figure I.18.

Le bras rotatif est muni d'un racleur qui pousse la boue dans le cône positionné au fond ; c'est d'ailleurs à cette position où se passe la floculation qui en résulte une eau traitée séparée de la boue.



Fig1. 9- Décanteur 1 de la zone Est



Fig1. 10-Séparation des boues du liquide au niveau du décanteur 2

Après avoir été traitée, l'eau déborde dans ce canal qui va suivre un autre traitement pour être mieux filtrée et de bonne qualité possible.



Fig1. 11-Eau débordante du décanteur

- **Filtration à sable :** La filtration lente est une méthode d'épuration biologique qui consiste à faire passer l'eau à traiter à travers un lit de matériau filtrant à une vitesse de 0,1 à 0,2 m/h. Le matériau filtrant le plus approprié est le sable. Au cours de ce passage, la qualité de l'eau s'améliore considérablement par la diminution du nombre de micro-organismes (bactéries, virus, kystes), par l'élimination de matières en suspension et par des changements dans sa composition chimique. A la surface du lit se forme une couche mince appelée « membrane biologique ». Cette mince couche superficielle est essentielle, car c'est là que les processus d'épuration se déroulent. Donc, dans le cas de la station de la zone Est, l'eau déborde du décanteur et se dirige vers les batteries de filtration ; On obtient, finalement, une eau industrielle [7] [9].



Fig1. 12-Filtre à sable

Après la filtration à sable, l'eau se dirige vers la salle de traitement des eaux (fig. I.13)



Fig1. 13-Salle de traitement

Cette eau industrielle est utilisée essentiellement pour le refroidissement, à titre d'exemple, on cite : des machines à couler continue et des billettes ; de l'épuration des gaz (CO, CO₂) et des poussières (calamines et graphites) des convertisseurs ; des échangeurs, des paliers presse-étoupes, des pompes, des moteurs et divers [9].

- **Station de compression** : Elle se compose de 3 compresseurs à savoir : Centac N=°1 indisponible, Atlas-copco N=° 2 et 3 avec une capacité de 2*15000 l/h et Une tour de refroidissement.



Compresseur N=1



Compresseur N=2



Compresseur N=3

La tour de refroidissement



Fig1. 14-Station de compression

Cette station alimente les différents services de production par l'air comprimé nécessaire au niveau du complexe, on donne pour consigne une pression de 5 bars. Le refroidissement des compresseurs se fait par l'eau déminéralisée, à partir de la tour de refroidissement qui contient 2 pompes et 2 ventilateurs.

- **Station chaufferie :** Est constituée de 2 chaudières : Babcock, d'une capacité de 15 t/h et Siterm, d'une capacité de 30 t/h.

La zone EST, est équipée par deux chaudières de capacité globale de 45 t/h, la chaudière SITERM est alimentée par l'eau déminéralisée grâce à la structure de l'osmose inverse, ces chaudières ont pour l'objectif d'alimenter toute l'installation du complexe par la vapeur surchauffée : LAF. LRB. LAC. AMM, HF, et les autres structures de la zone OUEST dans le cas de défaillance de la chaudière EVT.



La chaudière Siterm



la chaudière Babcock Wanson

Fig1. 15-les chaudières de la station de chaufferie

- **Station d'eau potable** : elle est composée 2 chaînes de traitement N° 1 et 2, d'une capacité de 2*30 m³/h.
- **Station de Déminéralisation (osmose-inverse)** : elle est constituée 2 chaînes de filtration, avec une capacité réelle de 2*50 m³/h et 2 chaînes de l'eau osmose, avec une capacité réelle de 2*25 m³/h.
- **La zone ouest** : Elle est constituée des stations suivantes :
- **Station chaufferie** : est constituée de 2 chaudières : EVT N° : 01 et 02 avec une Capacité installée 2 × 60 T/h et Capacité réelle 1 × 40 T/h
- **Station de Compression** : elle est constituée de 3 Compresseurs N° : 04, 05 et 06 ayant une capacité installée de : 1 * 13700 Nm³/h + 1 * 13000 Nm³/h + 1 * 11700 et une capacité réelle de : 1 * 13700 Nm³/h + 1 * 13 000 Nm³/h + 1* 8000 Nm³/h.
- **Dispatching** : cette station est responsable du suivi de la distribution du fluide sur Rack (les conduits de distribution de tous les fluides à travers toutes les unités de complexe de longueur Km), et contient aussi l'UAE N°1(capacité : 500m³/h).

I.5.5 Production de l'eau déminéralisée :

Ainsi, pour l'alimentation de la chaudière, qui sert à la production de la vapeur surchauffée, et pour éviter la formation de tartre, le constructeur procède alors aux traitements de déminéralisation de l'eau à l'aide d'une :

- ✓ Osmose inverse qui est un système de filtrage très fin, qui ne laisse passer que les molécules d'eau. Ce système ingénieux permet un gain de temps et déminéralise beaucoup plus l'eau pour une meilleure qualité.
- ✓ Mais il faut un prétraitement avant la déminéralisation par le système ultrafiltration pour éliminer les microorganismes et la turbidité de l'eau.

L'eau déminéralisée est destinée spécialement pour l'alimentation de la chaudière et pour le refroidissement, dans le cas où la température est assez élevée afin d'éviter le phénomène d'entartrage et de corrosion, à titre d'exemple : des lances, des puits de lance, des goulottes d'addition et des lingotières.

Elle est aussi utilisée pour le refroidissement des systèmes de captation des gaz et des poussières des convertisseurs (jupe, hotte mobile, hotte fixe) [7].

I.6 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons fait une brève présentation du complexe avec ses principales activités, de son organigramme, de son organisation, de ses différentes stations d'eau et leurs descriptions respectives et les différentes techniques de clarification de l'eau brute.

Qui de plus, envers notre étude, le secteur de la production de l'eau industrielle où sa destination, vers le secteur de la production de l'eau osmosées, pour servir à la chaudière considérée, nous incite à établir une étude théorique sur la technique des membranes en s'accroissant, d'avantage, sur le type qui est déployé dans le secteur.

ETUDE THEORIQUE

CHAPITRE II : SEPARATION MEMBRANAIRE

II Introduction :

Dans ce chapitre nous présentons une étude bibliographique, dont la majeure partie porte sur les différents aspects des membranes, à savoir leurs classifications, leur structure et nature, leurs principes de mise en œuvre, les différentes configurations des modules membranaires et les procédés Baro-membranaires d'une manière générale. Ensuite, nous détaillons les deux procédés membranaires ultrafiltration et osmose inverse.

II.1 Définition d'une membrane :

Une membrane est une paroi mince, liquide ou solide qui oppose une résistance sélective au transfert de différents constituants d'un fluide. Elle possède donc la propriété de séparer sélectivement les espèces chimiques moléculaires ou ioniques. Le transfert sélectif des espèces repose soit sur leur capacité à diffuser à travers le matériau membranaire, soit sur leur taille par rapport à celle des pores de la membrane (effet de tamis ou effet stérique). Pour ce faire, des membranes sélectives sont utilisées, c'est-à-dire des barrières minces, qui sont sous l'effet d'une force arrêtent ou laissent passer des substances entre les deux milieux qu'elles séparent [10].

II.2 Procédés membranaires :

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

- Purification : les impuretés doivent être extraites du composé d'intérêt ;
- Concentration : élimination d'une partie du solvant ;
- Fractionnement : séparation d'un mélange complexe en plusieurs mélanges différents [11].

La technologie de la filtration sur membrane peut être appliquée pour la séparation fluide / fluide ou particules / fluide en vue de récupérer les espèces valorisables (eau, lactose, sels minéraux...). Les membranes ont des structures poreuses ou denses permettant de laisser passer de manière sélective les composants d'une solution sous l'action d'une différence de pression entre l'amont et l'aval de la membrane. Deux fractions sont obtenues : le retentât, en amont de la membrane, qui contient les éléments retenus par la membrane, et le perméat, en aval, qui contient les éléments qui ont traversé la membrane. Les performances de filtration des procédés membranaires utilisant la pression comme force agissante sont évaluées par les notions de productivité (perméabilité) et d'efficacité (sélectivité) [12].

Il est d'usage de séparer les membranes en différentes catégories selon leurs capacités de rétention et de définir ainsi des domaines de filtration. Il en existe plusieurs procédés membranaires tels que ; la nano filtration (NF), la microfiltration (MF), l'ultrafiltration (UF) et l'osmose inverse (OI).

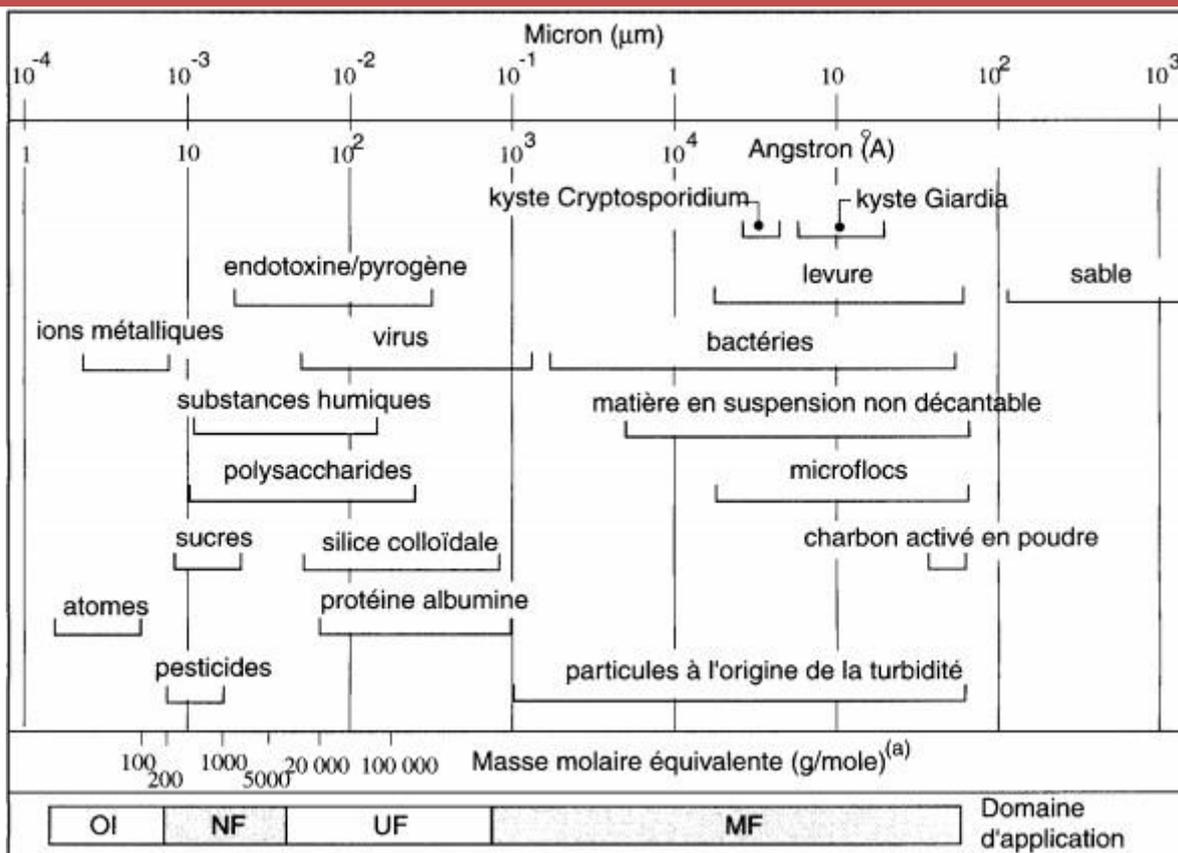


Fig2. 1-les techniques séparatives à membranes utilisées dans le traitement des eaux

II.2.1 Microfiltration (MF) :

Elle est définie comme un procédé de séparation solide/liquide. Le mécanisme est basé sur l'effet tamis (taille) et rend possible la rétention de particules en suspension ou de bactéries dont la taille se situe entre (0,1 et 10 μm). Il permet de retenir entre autres : les émulsions d'huile, les bactéries, les levures, les plus gros colloïdes, les gros pigments. La pression d'opération est relativement basse entre (0.5 et 3 bars) [13] [12]. Ses principales applications sont :

- La clarification des eaux
- La séparation d'émulsions eau / huile
- La débactérisation de solutions
- La production d'eau potable (la microfiltration intervient ici comme une étape de prétraitement)
- Les bioréacteurs à membranes (BAM)

II.2.2 Ultrafiltration (UF) :

L'ultrafiltration est un procédé de séparation à membrane permettant d'exclure par la taille de petits solutés. La nature de la force fournissant l'énergie nécessaire à la séparation permet une première classification de l'ultrafiltration parmi les procédés de séparation. Dans le cas de la filtration, la force agissante permettant le transfert sélectif des espèces est un gradient de pression mais pour d'autres procédés de séparation cela peut être un gradient de concentration, un gradient de potentiel électrique ou un gradient de potentiel chimique.

L'osmose inverse qui moyennant des différences de pression de 30 à 80 bars à travers des membranes non poreuses permet de retenir toutes les espèces dissoutes dans l'eau dont les sels. Les principales applications industrielles de l'ultrafiltration sont les suivantes :

- ✓ Le traitement de bains de peinture par électrophorèse
- ✓ Le traitement de bains de dégraissage (élimination des matières en suspensions (MES) et d'huile émulsifiée)
- ✓ La récupération de cations métalliques par ultrafiltration assistée par complexation
- ✓ La standardisation protéique du lait
- ✓ La concentration des protéines du lactosérum
- ✓ Les bioréacteurs à membranes
- ✓ La rétention des ions par ultrafiltration assistée par modélisation

II.2.3 Nano filtration (NF) :

Cette technique se situe entre l'osmose inverse et l'ultrafiltration. Elle permet la séparation de composants ayant une taille en solution voisine de celle du nanomètre. Les membranes de NF sont conçues pour assurer un enlèvement poussé des ions multivalents (Ca^{+2} , Mg^{+2} , Mn^{+2} , Fe^{+2}). La NF permet aussi un enlèvement poussé de la matière organique naturelle (MON) et donc une forte réduction de la concentration en carbone organique total (COT). La couleur, en relation avec le Fe et la MON, est très bien enlevée par ce procédé. Les pressions transmembranaires mises en œuvre sont entre (5 et 25 bars). Initialement, les membranes de nano filtration (NF) ont été développées pour l'adoucissement de l'eau. En raison de ses qualités de séparation, elle a été étendue à plusieurs autres domaines : [14] [15]

- ✓ Le recyclage d'eau dans les effluents de teinturerie
- ✓ La production d'eau potable
- ✓ La déminéralisation du lactosérum
- ✓ Le traitement des eaux de blanchiment de la pâte à papier (contenant des dérivés organiques halogénés)
- ✓ Le recyclage des eaux de lavage dans l'industrie des traitements de surface
- ✓ La concentration d'antibiotiques
- ✓ L'élimination de pesticides et d'herbicides

II.2.4 Osmose inverse OI:

L'osmose est le transfert de solvant à travers une membrane sous l'effet d'un gradient de concentration. Si l'on considère un système à deux compartiments séparés par une membrane semi sélective et contenant deux solutions de concentrations différentes, l'osmose se traduit par un flux d'eau dirigé de la solution diluée vers la solution concentrée. Si l'on applique une pression sur la solution concentrée, la quantité d'eau transférée par osmose va diminuer. Avec une pression suffisamment forte, le flux d'eau va même s'annuler : cette pression est nommée la pression osmotique. Si l'on dépasse la valeur de la pression osmotique, on observe un flux d'eau dirigé en sens inverse du flux osmotique : c'est le phénomène d'osmose

inverse [16]. Typiquement utiliser pour le dessalement de l'eau de mer ou déminéraliser des eaux saumâtre, l'osmose inverse est la plus ancienne des techniques de séparation par membrane. Elle utilise des membranes denses pour retenir la majorité des solutés et ne laisse passer que le solvant (l'eau, en général). Le principe repose sur l'application, coté alimentation, d'une pression supérieure à la différence de pression osmotique du retentât et du perméat pour forcer le solvant à passer à travers la membrane. Les pressions appliquées sont comprises entre 30 et 80 bars. [10]

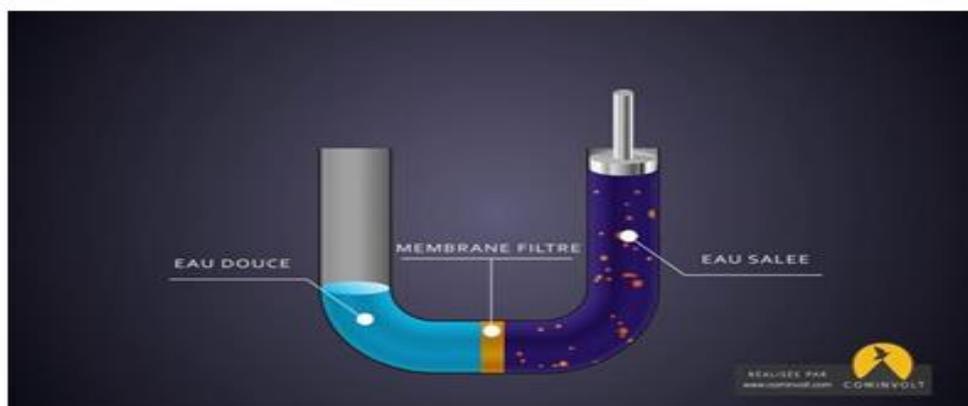


Fig2. 2-phénomène d'osmose inverse

II.2.4.1 Pression osmotique π :

En première approximation, la pression osmotique peut être calculée en assimilant le comportement des molécules du soluté à celles de molécules gazeuses. Dans le cas d'une solution diluée on peut appliquer la loi des gaz parfaits. [10]

$$\Pi V = n RT \quad (1)$$

Π = pression osmotique

V = volume de la solution

n = nombre de moles de soluté

R = constante des gaz parfaits

T = température

La loi de Van't Hoff exprime que la pression osmotique exercée par le soluté est égale à la pression que ce corps aurait exercée dans l'état gazeux parfait dans le même volume V et à la même température T . Si le soluté est dissocié en ' i ' ions, la pression osmotique sera ' i ' fois supérieure. La pression osmotique d'une solution est directement proportionnelle à la concentration en soluté.

$$\Pi = i C R T \quad (2)$$

Π = pression osmotique en bar

i = nombre d'ions dissociés dans le cas d'un électrolyte

C = concentration molaire mol/L

T = température en degré Kelvin

II.2.4.2 Force motrice :

La force ionique, notée I (ou FI de manière à la distinguer de l'intensité), est un des principaux facteurs influençant l'activité des ions en solution aqueuse. Elle s'exprime en mol/L et est calculée de la manière suivante : [10]

$$I = 1/2 \sum [C_i] Z_i^2 \quad (3)$$

Où I : est la force ionique en (mol/L)

$[C_i]$: est la concentration de chaque ion en solution en (mol/L)

z_i : est la charge (+ pour les cations et – pour les anions).

II.2.4.3 Installation d'osmose inverse :

L'écoulement du fluide sur la membrane est continu et tangentielle. La solution à traiter (débit Q_0 , concentration C_0 en soluté) se divise au niveau de la membrane en deux parties de concentrations différentes.

- Une partie qui passe à travers la membrane ou perméat Q_p
- Une partie qui ne passe pas à travers la membrane, appelée concentrât ou retentât (Q_c) et qui contient les ions, molécules ou particules retenues par la membrane.

L'objectif de l'écoulement tangentiel est d'éviter l'accumulation continue sur la membrane des espèces (particules, molécules, ions) retenus par cette dernière.

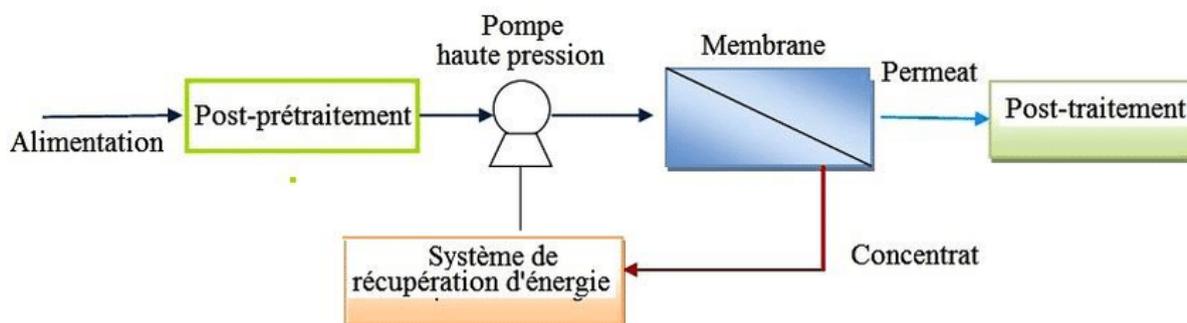


Fig2. 3-Installation d'osmose inverse

II.2.4.4 Principales applications de l'osmose inverse :

Les applications de l'osmose inverse sont multiples. On distingue : [8]

- ❖ Traitement des eaux : dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres, production de l'eau ultra pure (industries électronique, pharmaceutique ...).
- ❖ Extraction de protéines du lactosérum dans l'industrie laitière.
- ❖ Elimination de pesticides et d'herbicides.
- ❖ Concentration d'antibiotiques.

Les techniques présentées ont les avantages et les inconvénients suivants :

Tab2. 1-Avantages et inconvénients de l'osmose inverse [8]

Avantage	Inconvénient
<ul style="list-style-type: none"> - Opération à température ambiante ce qui évite la dégradation des molécules fragiles dans le domaine agroalimentaire. - Pas d'intervention de réactifs chimiques comme des agents d'extraction qui sont des sources de pollution. - Consommation énergétique faible vis à vis de la distillation pour le dessalement de l'eau. 	<ul style="list-style-type: none"> - Baisse de la perméabilité et modification de la sélectivité en cas de colmatage des membranes. - Sélectivité entre les espèces chimiques: "soluté" toujours inférieure à 100 %. - Durée de vie limitée des membranes: soit par perte de résistance mécanique soit par suite d'une mauvaise tenue aux réactifs utilisés pour le nettoyage.

II.2.4.5 Problèmes rencontrés en osmose inverse :

❖ Polarisation de concentration :

Lors de la filtration, les solutés sont retenus à la surface de la membrane. Leur concentration augmente car il y a eu accumulation progressive des espèces arrêtées à la surface de la membrane. Si C_m est la concentration moyenne du soluté dans la solution, un gradient se crée et entraîne une rétrodiffusion des molécules loin de la membrane. On assiste à la formation de la polarisation primaire de concentration. Concentration appelée C_m , le facteur de polarisation δ est défini par la relation :

$$\delta = C_m / C_0 \quad (4)$$

C_m : concentration du soluté près de la membrane et C_0 : concentration initiale du soluté.

Si la concentration en soluté à l'interface membrane-solution atteint le seuil de la solubilité, il y a précipitation ou formation d'un gel. Il s'agit de la couche de polarisation secondaire de concentration. Cette couche ionique provoque une augmentation de la différence de pression osmotique de part et d'autre de la membrane.

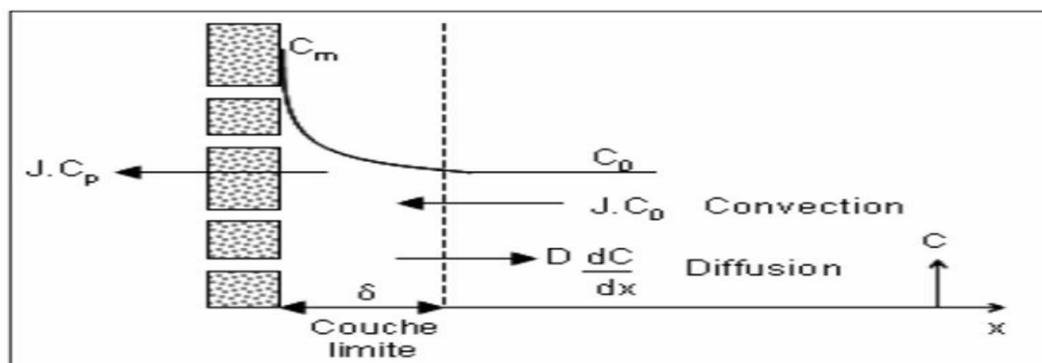


Fig2. 4-Phénomène de polarisation

La polarisation est un phénomène réversible qui disparaît par un simple rétro lavage des membranes. Les conséquences du phénomène de polarisation sont :

- ✓ Diminution du flux de perméat
- ✓ Augmentation de la pression osmotique
- ✓ Encrassement de la membrane

❖ Colmatage de la membrane :

On distingue deux types de colmatage en termes de conséquence sur le flux du perméat.

- ❖ Le colmatage réversible est dû à l'accumulation des particules sur la face amont de la membrane. Le rétro lavage à l'eau est suffisant. Il s'agit du décolmatage physique. Le rétro lavage à l'eau ou à l'air permet de décolmater les pores. La pression du rétro lavage est supérieure à la pression de service.
- ❖ Le colmatage irréversible est la conséquence du dépôt de matières minérales et organiques au niveau des pores. Un procédé chimique est nécessaire pour récupérer le colmatage irréversible. L'utilisation d'acides tels que l'acide citrique ou nitrique est indispensable pour éliminer les matières minérales. La soude ou les détergents alcalins font disparaître les matières organiques. L'eau du rétro lavage doit contenir un oxydant (souvent le chlore) pour inhiber tout développement bactérien sur la membrane.

Les procédés membranaires s'utilisent en général dans une cascade de procédés de traitement. Ce sont des procédés facilement intégrables et contrôlables ; ils n'altèrent pas la qualité des produits et sont respectueux de l'environnement. Un certain nombre de procédés se révèlent concurrents des procédés membranaires. Ils sont résumés dans le Tableau 2-2.

Tab2. 2-Procédés concurrents aux différentes techniques membranaires

Osmose inverse	Nano filtration	Ultrafiltration	Microfiltration
*Evaporation	*Echange d'ions	*Précipitation	*Centrifugation
*Electrodialyse	*Chromatographie	chimique	Filtration sur
*Echange d'ions		*Chromate sur gel	diatomées
		Dialyse	*Décantation

II.3 Classification des membranes :

L'élément au cœur du procédé de filtration membranaire est la membrane. Il convient de choisir la membrane adaptée au procédé utilisé, ce qui n'est pas toujours une tâche aisée. Le type de membrane, la conception de l'installation et les paramètres de traitement doivent être adaptés et sélectionnés avec soin afin d'obtenir les performances et la rentabilité voulues sur l'ensemble du procédé. Les membranes peuvent être classées selon la structure (membranes isotropes, anisotropes et liquides), la nature (les membranes organiques, inorganiques, composites et échangeuses d'ions) et les modules (tubulaires, fibre creuses, plans spirales) [13].

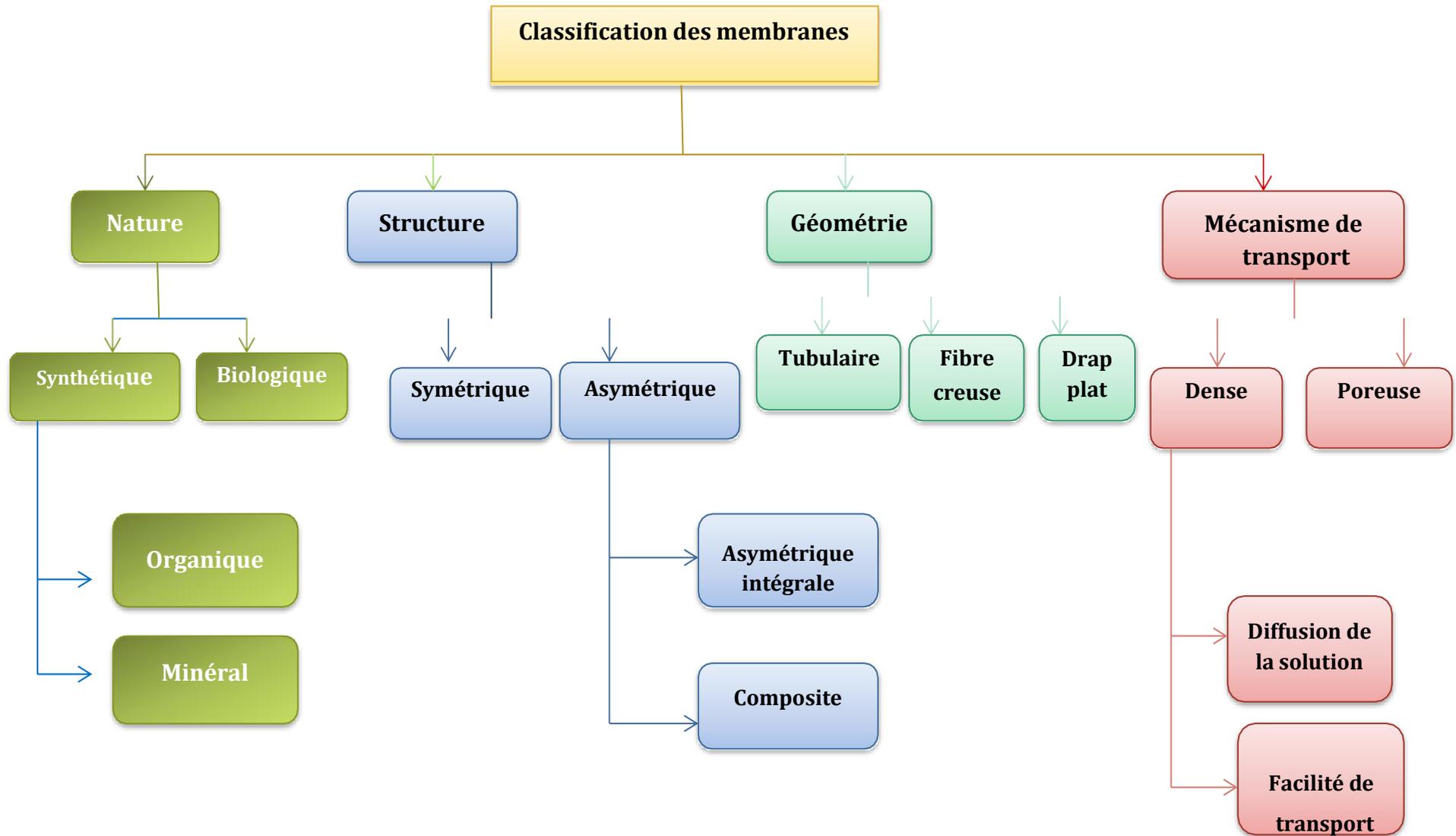


Fig2. 5-Classification des membranes [17]

II.3.1 Les modules spirales :

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

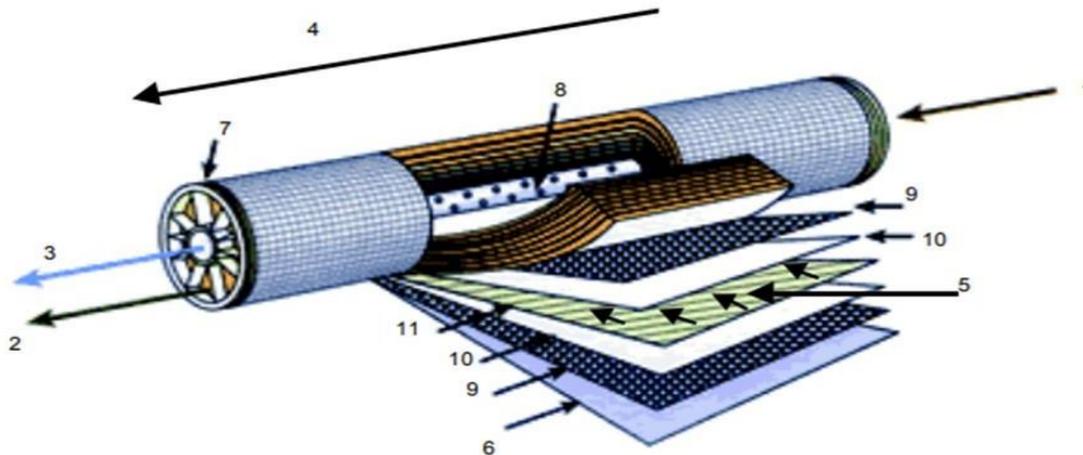


Fig2. 6-Structure interne d'une membrane à spirale

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

Avantages du module spiral :

- ✓ Résistance au colmatage
- ✓ Maintenance facile
- ✓ Variété de matériaux et fabricants

II.4 Mise en œuvre des membranes : Il existe deux grands types de mise en œuvre des membranes : l'écoulement frontal et l'écoulement tangentiel [18].

II.4.1 Décollement frontal :

Dans le cas d'une filtration en mode frontal, le fluide à filtrer circule perpendiculairement à la membrane. Les particules solides et les solutés sont retenus à la surface et leur dépôt entraîne une superposition de couches qui vont induire à une accumulation importante de matière à la surface de la membrane au cours de son utilisation, ce qui provoque par la suite un colmatage par la formation d'un gâteau. Ce colmatage réduira progressivement la perméabilité et engendrera un besoin de nettoyage périodique.

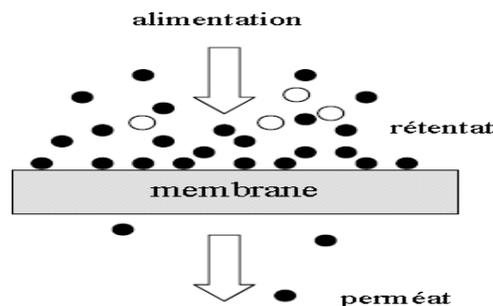


Fig2. 7-Filtration en mode frontal

II.4.2 Écoulement tangentiel :

Dans ce cas, la solution à filtration circule parallèlement à la membrane. Le fonctionnement du système de filtration s'effectue en continu et l'accumulation des espèces retenues à la surface de la membrane est moins importante qu'en filtration frontale. Cette configuration permet d'obtenir dans une certaine gamme de débits, des contraintes de cisaillement constantes à la surface de la membrane, et donc, de limiter le colmatage.

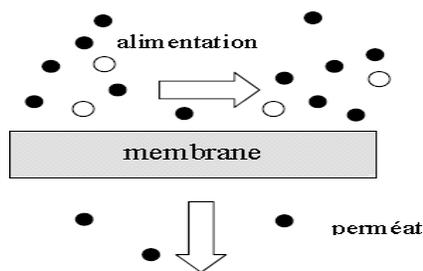


Fig2. 8-Filtration en mode tangentiel

II.5 Grandeurs principales et loi de filtration :

Quels que soient le mode de filtration et la mise en œuvre des membranes en différents modules, les principaux paramètres utilisés dans les modèles de filtration, ainsi que dans la pratique pour le dimensionnement et l'exploitation, sont :

❖ La sélectivité (TR)

La sélectivité d'une membrane est en générale définie par le taux de rétention ou taux de rejet de l'espèce (sel, macromolécule, particule) que la membrane est censée retenir.

$$TR = (C_0 - C_p)/C_0 = 1 - C_p/C_0 \times 100 (\%) \quad (5)$$

C_0 = concentration de l'espèce à retenir dans la solution (mg/l)

C_p = concentration de la même espèce dans le perméat (mg/l)

Le soluté de référence est souvent le chlorure de sodium (NaCl), compte tenu du fait que la déminéralisation des eaux est l'application la plus importante de l'osmose inverse.

❖ **Taux de conversion (Y) :** Le taux de conversion "Y" est, par définition, la fraction du débit d'eau qui traverse la membrane.

$$Y = Q_p / Q_0 \times 100 (\%) \quad (6)$$

Q_p : débit de perméat (m³/h) et Q_0 : débit d'alimentation (m³/h)

❖ **Flux de perméation (J) :**

Productivité du procédé défini par le débit de perméation, Q_p , divisé par la surface membranaire. $J = Q_p/S \quad (7)$

Avec J : flux (m/h) ; Q_p : débit de perméat (m³/h) et S : surface de la membrane (m²)

II.6 Conclusion

Nous nous sommes attachés, dans cette étude bibliographique à poser les bases théoriques de notre travail de façon précise. Les principes de base de la filtration membranaire ont été exposés dans ce chapitre. Les différentes classes de membranes disponibles sur le marché ont tout d'abord été présentées. Nous nous sommes attachés à décrire le principe de différentes techniques de séparation membranaire à gradient de pression. Les quatre procédés de séparation ont été présentés à savoir la microfiltration, l'ultrafiltration, la nano filtration et l'osmose inverse.

La filtration membranaire est un procédé de séparation, performant, sûr et facile à conduire. La qualité de l'eau distribuée et la quantité suffisante sont donc les clés à considérer pour le traitement des eaux. Les opérations de séparation par membranes sont bien placées pour aider à résoudre les problèmes. En effet, comme les membranes jouent le rôle de barrière physique, elles produisent avec une grande fiabilité et une eau de qualité pour la consommation humaine et industrielle. Cette étude théorique des membranes, élucidée, va nous servir dans l'avancement de nos travaux en voyant la destination de leur production d'eau vers les chaudières et notamment vers le type du secteur qu'on a considéré.

CHAPITRE III : PRESENTATION DES CHAUDIERES A VAPEUR

III Introduction :

Une chaudière est un appareil dans lequel, par apport de chaleur, un fluide caloporteur subit un chauffage et éventuellement un changement d'état (la vaporisation). La chaudière est, en fait, un générateur de vapeur. La vapeur d'eau est obtenue à l'aide de l'eau et de la chaleur dégagée par la combustion des combustibles.

Industriellement, on utilise les chaudières pour produire la vapeur nécessaire au fonctionnement des procédés. La source de chaleur peut être fournie par un combustible (gaz, fioul, charbon...) ou une résistance électrique. [19]

Il existe une grande variété de types de chaudières. Une classification peut considérer plusieurs points de vue, elles peuvent être classées en deux principales catégories :

- Les chaudières à vapeur d'eau ;
- Les chaudières à eau chaude ou aux fluides spéciaux ;

Tab 3. 1-Classification des chaudières [20]

Classification	
Par gammes de puissance	- Puissance < 70 kW : chaudières individuelles. - Puissance > 70 kW : chaudières de type industriel
Par type de fluide caloporteur	- L'eau (eau chaude, eau surchauffée) - La vapeur d'eau (vapeur saturée, vapeur surchauffée) - Des fluides thermiques - Des sels fondus
Par application	- Chauffage central - Production d'énergie électrique avec Turbine à vapeur - chauffage d'eau sanitaire
Par source de chaleur	- Chaudières à combustion : (combustibles liquides, solides ou gazeux) - Chaudières de récupération - Chaudières électriques
Par construction	- Chaudières à tubes de fumées - Chaudières à tubes d'eau
Par type de circulation	- A circulation naturelle - A circulation assistée - A circulation forcée

III.1 Chaudières à combustibles : [21]

Les chaudières à combustible sont des équipements statiques, destinées à produire de la vapeur à partir de l'énergie calorifique d'un combustible (GN, fuel gaz, fuel liquide, etc....).

Ce type de chaudière se compose de deux compartiments distincts :

- Un dans lequel brûle le combustible ; circuit air- fumée
- Un autre dans lequel l'eau est chauffée : circuit eau- vapeur.

Ce schéma représente le principe de la production de vapeur (fig.III.1) :

- ✓ Une bache alimentaire avec appoint d'eau traitée (décarbonatée, déminéralisée, dégazée...)
- ✓ Une pompe alimentaire (pression de refoulement supérieure à la pression de la vapeur produite)
- ✓ Des économiseurs (primaire et secondaire) permettant de refroidir les fumées en préchauffant l'eau d'alimentation
- ✓ Un foyer avec brûleur (système de production de vapeur non représenté)
- ✓ Un réseau de vapeur avec soupapes de protection (doublées conformément à la réglementation)
- ✓ Un analyseur d'oxygène sur les fumées pour réglage de l'excès d'air
- ✓ Une cheminée pour rejet des fumées

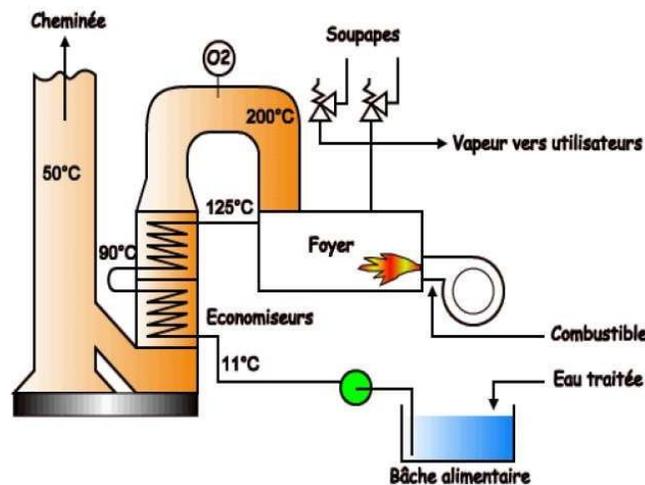


Fig 3. 1-Schéma de principe d'une chaudière de production de vapeur

On distingue ainsi deux types de chaudière à combustible en fonction de la circulation de l'eau à chauffer par rapport à la chaleur de combustion, il s'agit de :

- ✓ Les chaudières à tube de fumées
- ✓ Les chaudières à tube d'eau

III.1.1 Les chaudières à tube de fumées :

III.1.1.1 Présentation :

Ce type de chaudière est le plus généralement de petite chaudière fournissant un débit de vapeur saturée de 1 à 25 tonnes/heure, en basse et moyenne pression (inférieure à une vingtaine de bars). Le combustible utilisé est soit du gaz soit du fioul. [21]



Fig 3. 2-La chaudière Babcock Wanson de la zone fluide

III.1.2 Les chaudières à tube d'eau :

III.1.2.1 Présentation : [22]

Ce type de chaudière fournit un débit de vapeur saturée supérieur à 60 tonnes/heure, en moyenne et haute pression (jusqu'à 100 bars). Le combustible utilisé est soit du gaz, du fioul, du charbon ou des déchets.

III.1.2.2 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.

Ces chaudières sont équipées de différentes zones d'échange de chaleur (conduction, convection et rayonnement), permettant de surchauffer la vapeur produite (surchauffeur) et de préchauffer l'eau alimentaire à l'aide des fumées déjà préalablement refroidies (économiseur primaire, secondaire...).

Dans ce qui suit nous allons présenter, pour les trois types de transport de la chaleur, les lois générales qui les gouvernent. Puis nous traiterons, de manière simple, quelques applications où le mode de transport de chaleur étudié est prédominant.

* **La Conduction** : C'est le transfert d'énergie dans la matière sans aucun déplacement de cette matière, c'est un transport par les électrons ou les phonons (conducteur et isolant respectivement).

Ce mode de transfert est très favorable dans les solides et il est négligeable dans le cas des gaz.

La quantité de chaleur transmise par conduction est donnée par la loi de **Fourier** : $Q = -\lambda A \frac{dT}{dx}$ (1)

Pour un régime de transfert unidimensionnel, permanent et sans génération de chaleur

Q : Direction débit de chaleur par unité de temps [J/s]

λ : étant la conductivité thermique du système considéré [W/m-2.K-1]

A : est la surface d'échange de chaleur [m²]

* **La Convection** : C'est principalement un transport d'énergie dans la matière avec déplacement, par écoulement de fluide (liquides, gaz) sous l'action de la différence de la masse volumique.

La quantité de chaleur transmise par convection est donnée par la loi de **Newton** : $Q = hA (T_c - T_f)$ (2)

Q : Débit de chaleur travers le solide [W]

h : coefficient de transfert de chaleur par convection (coefficient du film).

A : est la surface d'échange de chaleur [m²]

T_f : Température moyenne de fluide [K]

T_c : Température moyenne de fluide [K]

* **Le Rayonnement** : c'est le transfert d'énergie sous forme d'ondes électromagnétiques sans un déplacement de matière et sans contact entre les objets ou les milieux qui échangent cette énergie.

CHAPITRE III : PRESENTATION DES CHAUDIERES A VAPEUR

La quantité de chaleur transmise par Rayonnement est donnée par la loi de **Stéphane-Boltzmann** :

$$e = \epsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \quad (3)$$

e : Densité du flux de chaleur ; ϵ : Emissivité thermique [adimensionnelle]

σ : La constante de Stephan-Boltzmann qui vaut dans le système international $5.666971 [W/m^2.K^4]$;

T : Température du corps [K]

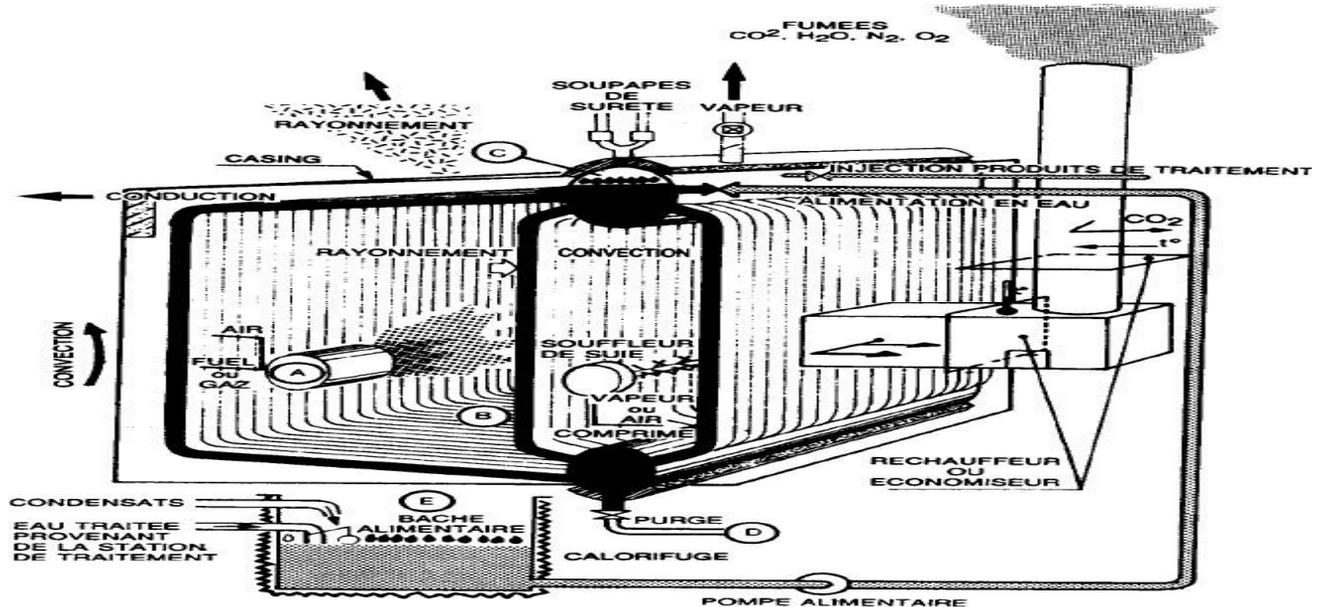


Fig 3. 3- Schéma d'une chaudière à tube d'eau



Fig 3. 4-La chaudière Siterm de la zone fluide

III.1.2.3 Précautions :

La formation de tartre dans les tubes serait préjudiciable au fonctionnement de la chaudière à tubes d'eau pour les mêmes raisons que celles évoquées à propos des chaudières à tubes de fumée. En outre, l'obturation des tubes pourrait se révéler dangereuse, ce qui ajoute à la nécessité de traiter l'eau de chaudière.

CHAPITRE III : PRESENTATION DES CHAUDIERES A VAPEUR

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.

III.1.2.4 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.

La chaudière que l'on a utilisée à la zone fluide est une chaudière à tube d'eau nommé **SITERM** de type **SB-30/176/240C/NG** une marque Turque fabriquée en **Istanbul** en **2016**.

Tab 3. 2- Caractéristiques de la chaudière Siterm

Capacité	30 t/h
Volume	15 m ³
Pression de travail	17 bars
Pression de design	25 bars
Pression max	45 bars
Pression de la valve de purge	22 bars
Température de travail	0-240°C
Température de l'eau d'alimentation	100~110°C
combustible	Gaz naturel
Pression d'alimentation	155 KW-28A-380V-50HZ

CHAPITRE III : PRESENTATION DES CHAUDIERES A VAPEUR

III.1.3 Comparaison des performances :

Tab 3. 3-Comparaison des performances des chaudières [23]

Propriétés	Chaudières à tubes de fumée	Chaudières à tubes d'eau
Mise en route (à puissance équivalente)	Lente (grand volume d'eau à chauffer)	rapide
Adaptation aux changements de régime	médiocre (inertie importante)	bonne
Surface de chauffe	moyenne	élevée
Sécurité	médiocres	bonne
Encombrement	faible	fort
Prix	limité	élevé
Applications usuelles		
<ul style="list-style-type: none"> • Puissance • Débit • Timbre (pression max. d'utilisation) 	<ul style="list-style-type: none"> • moyennement élevée • 1,5 à 25 t/h • 10 à 20 bars 	<ul style="list-style-type: none"> • importante • 4 à 200 t/h • 90 à 100 bars (en circulation naturelle) et jusqu'à 225 bars (circulation forcée)

III.2 Mécanisme de la chaudière :

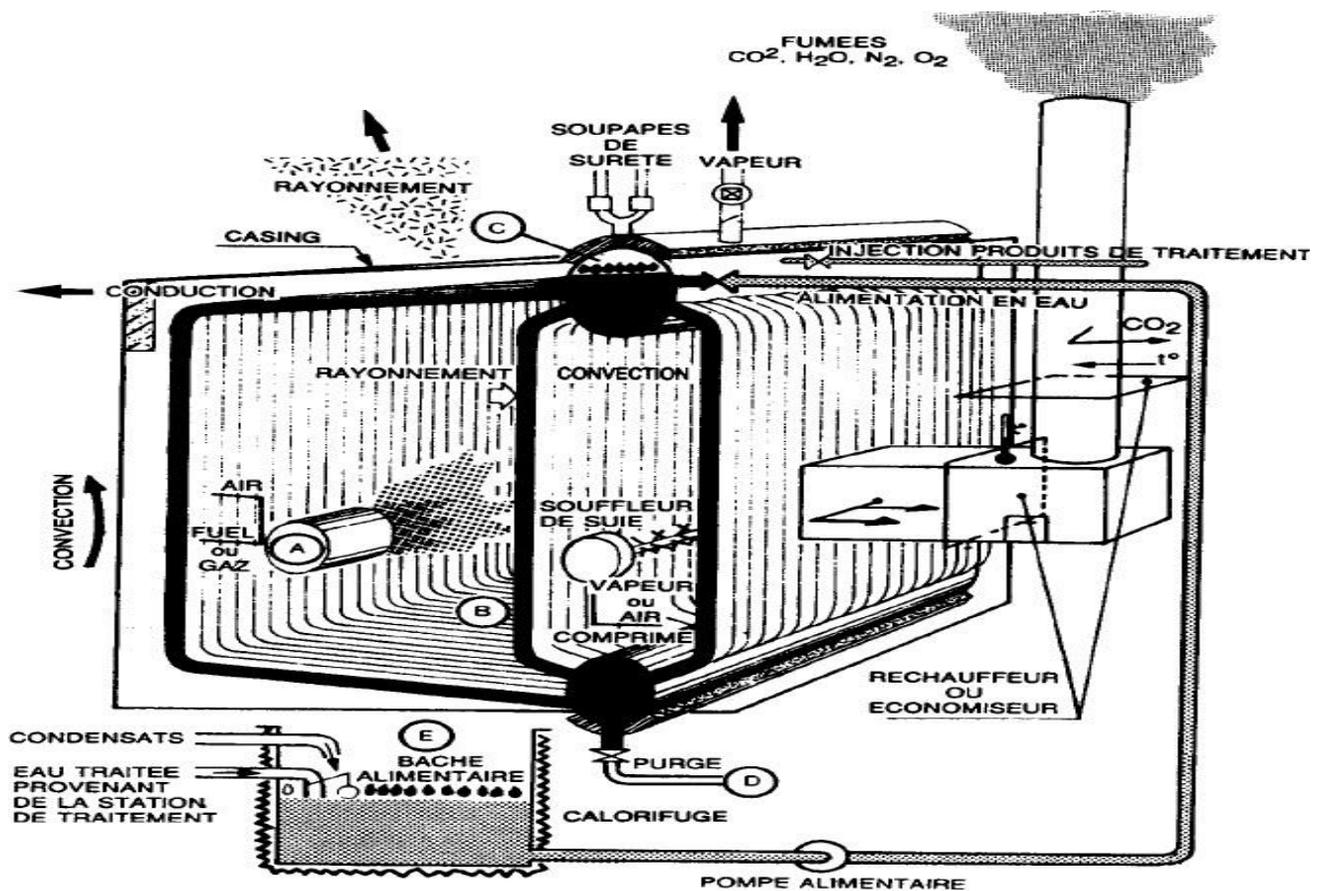


Fig 3. 5- Vue générale des approvisionnements et des mécanismes de la chaudière

III.2.1 Qualité d'eau de chaudière et d'alimentation

✓ Qualité d'eau de chaudière :

L'analyse de l'eau de chaudière aux échantillons obtenus par allumage du tambour à vapeur de chaudière doit fournir les valeurs indiquées ci-dessous.

✓ Qualité d'eau d'alimentation :

La qualité de l'eau d'alimentation envoyée à la chaudière est très importante en ce qui concerne le fonctionnement sans problème de chaudière et tous les accessoires installés sur elle, et pour cela, le système ne calcifie pas et ne se calque pas.

L'analyse de l'eau de chaudière aux échantillons obtenus auprès du dégazeur doit fournir les valeurs indiquées ci-dessous.

CHAPITRE III : PRESENTATION DES CHAUDIERES A VAPEUR

Tab 3. 4-Q ualité d'eau de chaudière et d'alimentation

Analyse d'eau à l'entrée des pompes d'alimentation de chaudière			
1.1	Aspect général		Propre & Sans couleur
1.2	Crudité totale (CaCO ₃)	ppm	0.00
1.3	Fe total	ppm	0.01
1.4	Cu total	ppm	0.005
1.5	O ₂ dissous	ppm	0.007
1.6	Huile & Organique	ppm	0.00
1.7	25°C valeur pH		8,5 – 9,5
1.8	Solides dissous totaux	ppm	0.1
1.9	Silice SiO ₂	ppm	< 0.02

Analyse d'eau qui circule dans la chaudière			
3.1	Crudité totale	ppm	0
3.2	pH		10,2 – 10,7
3.3	TDS	ppm	50
3.4	Silice – max.	ppm	1.33
3.5	PO ₄	ppm	< 15
3.6	Solides dissous totaux	ppm	0.00
3.7	Huile & Organique		0.00

III.2.2 Alimentation en eau :

L'eau de chaudière provient de la station de traitement, de la bache de récupération des condensas, du dégazeur, l'appoint en eau dans la chaudière est réalisé grâce à une pompe alimentaire (souvent doublée) fonctionnant à une pression légèrement supérieure à la pression interne du ballon.

L'Extraction et le purge continue sont deux opérations contribuant à maintenir la qualité de l'eau dans la chaudière, paramètre essentiel pour le bon fonctionnement de l'installation.

III.2.2.1 Extraction :

L'eau d'alimentation contient des traces de produits de traitement, de sels minéraux et d'impuretés diverses ; les résidus se déposent au fond du ballon sous forme de boues et doivent être évacués à l'aide d'un robinet d'extraction. Ce robinet spécial, dont la manœuvre doit être : brutale, de courte durée (afin d'éviter d'entraîner trop d'eau avec les boues), répétée plusieurs fois par jour, est généralement soit un robinet manuel équipé d'un levier allongé et d'un ressort de rappel fermeture, soit un robinet ¼ tour automatisé. Il doit supporter la pleine ΔP et ne pas être endommagé par le passage des impuretés.

Dans un souci d'économies d'énergie, la vapeur de vaporisation, qui se forme lors de l'évacuation de l'eau chaude chargée dans ce que l'on appelle le pot de débouillage, peut être récupérée et envoyée dans un dégazeur, à température et pression faibles. Les boues et eau excédentaire sont par ailleurs évacuées après refroidissement.

III.2.2.2 Purge continue

Les produits de traitement et sels minéraux, arrivant avec l'eau d'alimentation et ne partant pratiquement pas avec la vapeur produite, ont tendance à se concentrer dans le ballon, qu'ils soient en solution ou en suspension. D'où la nécessité de procéder à une purge de déconcentration permanente, grâce à un robinet de dégazage spécial, à très faible débit. Le prélèvement continu se fait à environ 10,0 cm sous le plan d'eau, le dispositif pourra être mis à profit pour réaliser une prise d'échantillon pour analyse, après refroidissement.

Par ailleurs, la vapeur de revaporisation pourra être récupérée et réutilisée. [21]

III.2.3 Les éléments constituant le site de la chaufferie :

Il s'agit de bêche dégazant, bac pour eau déminéralisée, ballons, Faisceau tubulaire, appareils de récupération, foyer, la circulation naturelle.

Dans le paragraphe suivant nous allons décrire quelques-uns de ces éléments :

a) **Appareils de récupération** : Leur rôle est d'épuiser le plus possible la chaleur contenue dans les gaz brûlés avant leurs rejets dans l'atmosphère en améliorant le rendement de la chaudière. Trois appareils répondent à cet objectif :

➤ **Surchauffeur (S)** : Il est destiné pour produire de la vapeur surchauffée à partir de la vapeur saturée sortant du ballon supérieur, il est constitué d'un faisceau de tube en acier recourbé en serpentin placé devant le circuit des fumées.

➤ **Economiseur (ECO)** : permet de refroidir les fumées en préchauffant l'eau d'alimentation.

b) **Foyer « chambre de combustion »** : La chambre de combustion est tapissée de tube d'eau qui compose les surfaces de chauffe soumises au rayonnement de la flamme.

c) **Rôle de la circulation naturelle** : La circulation naturelle a deux principaux objectifs

:

- Assurer le refroidissement correct des tubes situés dans les zones les plus chaudes ou exposés au rayonnement direct du feu, là où ils reçoivent le flux maximal de chaleur ;

- Assurer la génération de vapeur saturée, c'est-à-dire le passage du fluide chauffé de l'état eau à l'état émulsion et vapeur.

III.2.4 Circuits d'une chaudière :

La chaudière est constituée de deux circuits à savoir : le circuit air-gaz de combustion (porteur des calories de la combustion au quel on s'intéresse dans notre étude) et le circuit eau-vapeur (récepteur de ces mêmes calories).

d) Le circuit air-gaz de combustion : L'air destiné à la combustion est poussé par le ventilateur de soufflage, il traverse d'abord un réchauffeur où il récupère la chaleur encore contenue dans les gaz de sortie de la combustion ; ce qui a pour effet d'élever sa température. Puis l'air est envoyé aux brûleurs et participe à la production de la chaleur. Les gaz de combustion produits dans cette chambre de combustion cèdent une partie de la chaleur aux tubes vaporisateurs, ces gaz sont ensuite véhiculés au niveau des surchauffeurs où ils cèdent encore de la chaleur.

e) Le circuit eau- vapeur :

L'eau d'alimentation est réchauffée dans l'économiseur avant d'être envoyé au ballon supérieur. Le ballon supérieur alimente en eau le ballon inférieur au moyen des tubes d'alimentation. Dans les tubes vaporisateurs l'eau se transforme en vapeur. La vapeur est collectée et retourne au ballon.

La circulation de l'eau dans les tubes se fait naturellement. En effet, à mesure que l'eau monte en température elle se charge de bulle de vapeur et devient de ce fait plus léger : elle a donc tendance à monter.

Par contre dans les tubes d'alimentation venant du ballon, l'eau est moins chaude, donc plus dense et de ce fait elle descend. Cette circulation naturelle est dite thermosiphon. Un schéma général de circulation eau et vapeur dans la chaudière.

III.3 Principe général de fonctionnement :

Les chaudières à tube d'eau diffèrent des chaudières à tubes de fumées car l'eau circule à l'intérieur des tubes et la source de chaleur est à l'extérieur. Ces chaudières sont utilisées lorsque l'on souhaite des productions vapeur, des pressions importantes ou de la vapeur surchauffée. Ces chaudières sont beaucoup plus onéreuses que les chaudières à tubes de fumées plus compactes. Et elles fonctionnent sur le principe de la circulation d'eau.

III.3.1 Exploitation : Les appareils de contrôle et de sécurité équipant la chaudière et ses auxiliaires sont définis pour un fonctionnement en mode Surveillance Permanente depuis un local voisin selon la définition de la norme NFE 32020-1. Ce mode d'exploitation nécessite la présence d'un opérateur près de la chaudière au moment du démarrage et en cas d'arrêt sur incident ; il n'y a pas de séquences programmées pour les démarrages et les arrêts.

III.3.2 Mise en service des brûleurs et fonctionnement : La mise en service des brûleurs est réalisée suivant les instructions et les conditions ci-après :

- f) Brûleurs :** Est un élément mécanique qui met en présence le combustible (le gaz naturel) et le comburant (air chargée en oxygène) au sein de la chambre de combustion. Le principe de fonctionnement de cet élément est de mélanger le comburant et le combustible jusqu'à la création de la combustion. Le rôle fondamental du brûleur est de changer l'état physique du combustible de telle façon qu'il passe de l'état liquide à l'état de vapeur ou à l'état de très fines gouttelettes afin qu'il puisse s'enflammer
- g) Combustion de gaz naturel :** Le gaz à brûler passe dans l'anneau de distribution du gaz du brûleur par un raccord avec une quantité maximale de 6988 Nm³/h, une pression maximale de 2,0 bars. De là, le gaz se répand vers les 8 lances à gaz réparties uniformément sur la périphérie. Les tuyères à gaz qui sont vissées sur les lances à gaz sont obliquées sous un angle. Sur ce biseau, il y a les trous des tuyères dont les dimensions dépendent de la quantité de gaz qui doit être brûlée et de la pression de gaz qui est à disposition. Le gaz émergeant à grande vitesse rencontre l'air de combustion déplacé par l'écran d'allumage en rotation. De cette façon, un mélange est créé qui est facile à allumer. Ce mélange est allumé par un allumeur électrique à gaz.

III.3.3 Approvisionnement en air de combustion des brûleurs :

Le réglage de la quantité d'air de combustion ainsi que le mesurage sont effectués en commun pour les deux brûleurs. L'air de combustion est partagé en air primaire et air secondaire dans le dispositif d'alimentation en air. Ainsi, deux chambres séparées sont disposées à l'intérieur du dispositif d'alimentation en air. La chambre pour l'air primaire est munie d'un volet d'incidence manuelle pour permettre une répartition optimale des quantités d'air de combustion. [24]

1. Air primaire : L'air primaire est conduit sans rotation dans le foyer par le tuyau d'air de chemise. L'écran d'allumage en rotation provoque une certaine rotation afin de stabiliser la flamme.

2. Air secondaire : L'air complémentaire entre encore dans le dispositif d'alimentation en air par un raccord. Ensuite, il traverse le registre à air qui se compose de pales directrices courbées. Puis, il passe dans le foyer par le passage annulaire entre le tube à air central et la pièce intercalaire. Suivant l'incidence des pales directrices, la rotation d'air est plus au moins forte. Les pales directrices sont ajustées à l'aide d'un levier actionné à la main et qui remue toutes les pales uniformément. De cette manière, les bords de la flamme sont refroidis, ce qui a pour conséquence une réduction de NOX. Plus le registre est fermé, plus l'air tourne et plus la flamme se raccourcit. Ainsi, il est possible dans certaines limites d'influencer la forme de la flamme par la rotation d'air. Le réglage du registre à air s'effectue pendant la mise en service et reste alors inaltéré.

3. Allumeur : L'allumage du brûleur s'effectue par un allumeur électrique à gaz qui utilise du gaz naturel comme gaz d'allumage. La flamme de l'allumeur est contrôlée par une électrode d'ionisation montée à l'allumeur qui est interrogée par un relais de flammes.

4. Contrôle flamme du brûleur principal : Chaque brûleur est surveillé par son propre contrôleur de flammes compact. Dans le cas où le contrôleur de flammes n'émet aucun signal de flammes, le brûleur concerné s'arrête sur le réglage du brûleur.

5. Approvisionnement en air de commande : L'air de commande est nécessaire à la manœuvre des soupapes d'arrêt d'urgence pneumatiques et des commandes pneumatiques pour la soupape de réglage du gaz et les volets d'air de combustion.

6. Démarrage depuis l'état froid : Au premier démarrage (mise en marche après un long temps d'arrêt) la température de la chaudière est inférieure à 100°C, celle-ci est mise en communication avec l'atmosphère (vannes d'évents ouvertes) ; la circulation interne et l'homogénéisation des températures sont assurées en circulation naturelle par la différence de densité des colonnes d'eau plus ou moins chauffées, ce qui limite à 50/60 °C/h la vitesse d'échauffement admissible.

7. Démarrage à chaud : Ce type de démarrage peut avoir lieu après un arrêt de courte durée (un quart d'heure, par exemple), dans ce cas, la procédure la plus directe consiste à reprendre très rapidement la charge, en profitant de l'inertie thermique des tuyauteries de liaison pour ne pas soumettre la turbine (ou un autre organisme connecté à la chaudière) à un coup de froid.

8. La combustion : La combustion dans la chaudière, se produit grâce à des brûleurs dans un foyer ; en introduisant de l'oxygène nécessaire à cette combustion sous forme d'air. La combustion par les brûleurs dans le foyer est réalisée par un mélange d'air comburant et d'un combustible. Les produits de la combustion sortent à haute température du foyer sous forme de fumées et passent à travers des échangeurs qui transfèrent leur chaleur à de la vapeur saturée pour la surchauffer dans des surchauffeurs et des resurchauffeurs et progressivement, dans la mesure où la température des fumées diminue, vers des faisceaux vaporisateurs et vers l'économiseur, pour les rejeter dans l'atmosphère par une cheminée.

III.3.4 Cycle de l'eau dans une chaufferie : [25]

Quel que soit le type de chaudière considéré, on peut schématiser très simplement le cycle de l'eau de la manière suivante (figure III.6).

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 des gaz (en particulier le gaz carbonique). Aux pressions élevées, elle véhicule des sels volatilisés par un véritable « entraînement à la vapeur », tels que de la silice et, aux très hautes températures, des chlorures.

CHAPITRE III : PRESENTATION DES CHAUDIERES A VAPEUR

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 celles qui ont été entraînées 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 est supposée pure).

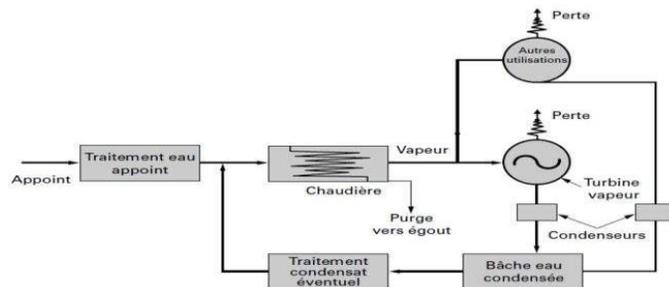


Fig 3. 6-Cycle de l'eau dans la chaudière

III.4 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons décrit la chaudière étudiée, son fonctionnement et ses différents éléments périphériques. Cette étude nous permet de conclure que la chaudière est un système assez complexe vu sa composition en plusieurs sous-systèmes, Chacun d'entre eux réalise une fonction spécifique (combustion, évaporation, surchauffage...etc.) et qu'elle nécessite un haut niveau de surveillance pour obtenir un degré de sécurité suffisant.

Ce chapitre nous a permis de nous familiariser avec la littérature des chaudières et, plus précisément, de celle qui est implantée au niveau de la zone Est du Complexe et avec leur type de conditionnement ; cet aperçu va nous servir, lors de notre étude pratique, à mieux cibler le contexte de nos travaux qui sont de contrôler la qualité des eaux et notamment de celles distribuées au niveau de la chaudière étudiée afin de voir, d'une part, l'efficacité des traitements du site et, d'autre part, leur impact sur le fonctionnement de la chaudière concernée.

CHAPITRE IV : LES PROBLEMES RENCONTRES DANS LES CHAUDIERES

IV Introduction :

Les chaudières à tubes d'eaux peuvent rencontrer des problèmes liés à la qualité de l'eau d'alimentation qui doivent être contrôlés pour éviter la corrosion, l'entartage, le moussage et le primage.

La chaudière reçoit de l'eau d'alimentation qui est constituée en proportion d'une eau condensée récupérée qui ne contient pratiquement pas de sels, et d'une eau d'appoint traitée. Si cette eau n'est pas correctement traitée, des phénomènes surviennent qui altèrent la fiabilité du matériel, perturbent son fonctionnement et augmentent les coûts d'exploitation.

Les inconvénients provoqués par les sels et les impuretés de l'eau dans une chaudière sont :

- Les incrustations dues au dépôt de précipités cristallins sur les parois de la chaudière, qui, gênant la transmission de la chaleur, provoquent des surchauffes locales et sont à l'origine des « coups de feu ». Elles sont d'autant plus dangereuses qu'elles sont moins conductrices.

Ces incrustations sont dues principalement à la présence dans l'eau de sels de calcium (carbonates ou sulfates) moins solubles à chaud qu'à froid, ou à une trop forte concentration en silice par rapport à l'alcalinité de l'eau dans la chaudière. Dans les chaudières à très forte vaporisation, il peut y avoir une sur saturation de sels dans le film superficiel surchauffé avec une salinité moindre de la purge.

IV.1 Moussage et primage :

IV.1.1 Définitions et origines de primage et de moussage :

- **Le primage** : entraînement plus ou moins important de vésicules liquides dans la vapeur (mousse et brouillard), provoque à la fois une baisse de rendement énergétique de la vapeur et le dépôt de cristaux salins sur les surchauffeurs et sur les turbines. Il est en relation avec la viscosité et la tension superficielle de l'eau. Celles-ci sont fonction de l'alcalinité, de la présence de certaines substances organiques et de la salinité totale. L'importance du primage dépend aussi des caractéristiques de la chaudière et de son régime de vaporisation ;
- **Le Moussage** : Les moussages sont les bulles ou les mousses qui sont créés à la surface de l'eau des chaudières et sortent avec la vapeur, sont causés par des fortes concentrations en solide dans l'eau des chaudières. Cependant, on croit généralement que les substances spécifiques telles que les semences alcalines, les huiles, les corps gras, les graisses, certains types de matière organique et les solides suspendus sont particulièrement favorables à la formation de moussage. En théorie, les solides en suspension se rassemblent sur un film à la surface entourant la bulle de vapeur et la rendent plus dure. Ainsi, la bulle de vapeur résiste à la cassure et s'accumulent en mousse. Plus les particules sont fines, meilleure est leur accumulation en bulle.

IV.1.2 Protection contre le moussage et le primage :

La mesure la plus courante pour empêcher le moussage et le primage est de maintenir la concentration en solides dans l'eau de chaudière à des niveaux raisonnablement faibles. En évitant de hautes teneurs dans l'eau, des charges excessives dans les chaudières et les changements soudains de charge ont aidé à éviter ces phénomènes.

Très souvent, les condensats contaminés retournent dans les systèmes de chaudières entraînant des problèmes de transfert. Dans ce cas, le condensat devrait être temporairement rejeté jusqu'à ce que la source de contamination soit trouvée et éliminée. L'utilisation d'agents chimiques anti-moussage et anti-primage, mélanges d'agents tensio-actifs, élimine la mousse, empêche le transfert de fines particules dans la vapeur, et peut-être très efficace en empêchant le primage dû aux hautes concentrations d'impuretés dans l'eau de chaudières.

IV.1.3 Entartage :

IV.1.3.1 Définition et origine de l'entartage : Désigne la précipitation sous une forme cristalline directement sur les surfaces métalliques ou autres. Causé par les impuretés contenues dans l'eau tels que : le carbonate de calcium, le sulfate de calcium etc qui vont être transformés en sels peu solubles ou non solubles par l'effet de la température où le composé de tartre est composé de plus d'un seul constituant.

La déposition des couches de tartres sur la surface du métal diminue le coefficient de transfert de chaleur et peut conduire à l'éclatement des tubes sous l'effet du point chaud.

IV.1.3.2 Protection contre l'entartage : Les solutions les plus couramment appliquées sont :

- Décarbonations à la chaux et sur les résines carboxyliques ;
- Injection des acides (lessivages) ;
- Séquestration par poly phosphate ;
- Adoucissement sur résines échangeuses d'ions.

L'entraînement dans la vapeur de corps minéraux volatils à la température d'ébullition, dont le plus nocif est celui de la silice qui se produit au-dessus de 250°C. Ces sels se déposent sur les ailettes des turbines entraînant de graves désordres dans leur fonctionnement. Les entraînements sont d'autant plus importants que la pression, et donc la température, sont plus élevées. Ils sont en relation avec la concentration des éléments concernés dans l'eau du ballon.

IV.1.4 Les corrosions :

La corrosion des installations utilisant les circuits de vapeur, l'eau condensée et la vapeur, est en effet un problème majeur dans l'industrie. Elle se traduit généralement par la nécessité de remplacer fréquemment les tuyauteries, les vannes, les purgeurs corrodés, ce qui entraîne de lourdes pertes financières, en matériel, d'une part, en main-d'œuvre, d'autre part, ainsi que des heures de production pendant l'arrêt de l'usine nécessaire pour leurs remplacements.

IV.1.4.1 Définition de la corrosion :

On définit la corrosion comme étant la destruction des métaux qui se produit sous l'effet des réactions chimiques ou électrochimiques, lorsqu'ils sont en contact avec un milieu aqueux ou gazeux. La corrosion est un phénomène naturel. Les métaux élaborés industriellement à partir d'un minerai à la suite d'opérations souvent complexes, ont tendance lorsqu'ils sont livrés à eux même à se transformer en composés chimiques nouveaux. Ce phénomène pose une réelle préoccupation. On estime que pour ce qui concerne l'acier, 10 à 15% de la production mondiale de ce dernier serait détruite chaque année par la corrosion. La corrosion est généralement décelée par les effets qu'elle induit, par exemple la diminution du poids. [26]

IV.1.4.2 Les différentes formes de corrosion : La corrosion se présente sous différentes formes qui sont :

IV.1.4.3 Corrosion uniforme : Le métal se dissout régulièrement et uniformément, la résistance mécanique décroît proportionnellement avec la diminution d'épaisseur, d'où une perte de poids. Ce type de corrosion est généralement contrôlable (mesure de perte d'épaisseur, analyse des fluides... etc.). Cette corrosion est dite aussi généralisée du fait que les parois des tubes s'amincissent d'une façon uniforme.

IV.1.4.4 Corrosion localisée : L'attaque de la surface métallique se fait localement sur des zones sensibles, présentant des caractéristiques différentes de la surface. Elle qui s'amorce en surface se propage en profondeur, la perte de poids dans ce cas ne peut pas constituer un indice de suivi du phénomène. Le contrôle de ce type de corrosion est beaucoup plus complexe que dans le cas précédent.

IV.1.4.5 Corrosion par piqûre : L'oxygène est très corrosif en eau chaude, même à une faible concentration, il peut occasionner de graves problèmes. Etant donné que les piqûres peuvent s'étendre profondément dans le métal, la corrosion par l'oxygène peut engendrer une rupture rapide de la canalisation de condensât.

En outre, l'oxyde de fer produit par la corrosion peut s'introduire dans la chaudière fournissant les frottements et l'usure.

La corrosion par l'oxygène peut être très localisée ou couvrir une grande surface. Elle se traduit par des piqûres bien définies ou par une surface très marquée. Les piqûres peuvent être de formes diverses (fig : IV.1 et fig : IV.2).

CHAPITRE IV : PROBLEMES RENCONTRES DANS LA CHAUDIERE

L'attaque par l'oxygène constitue un phénomène électrochimique.

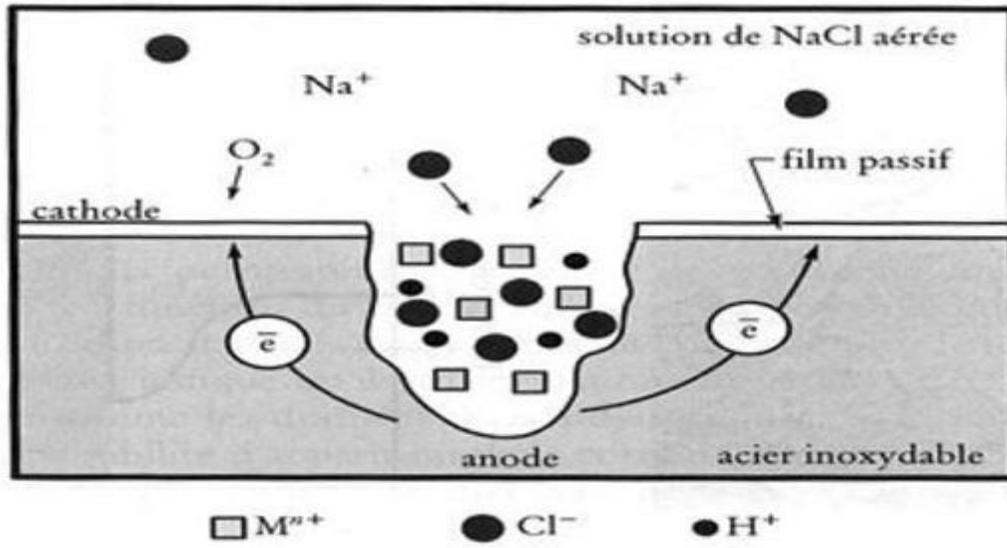


Fig 4. 1-Corrosion par piqûre



Fig 4. 2-Effet d'une corrosion par piqûre

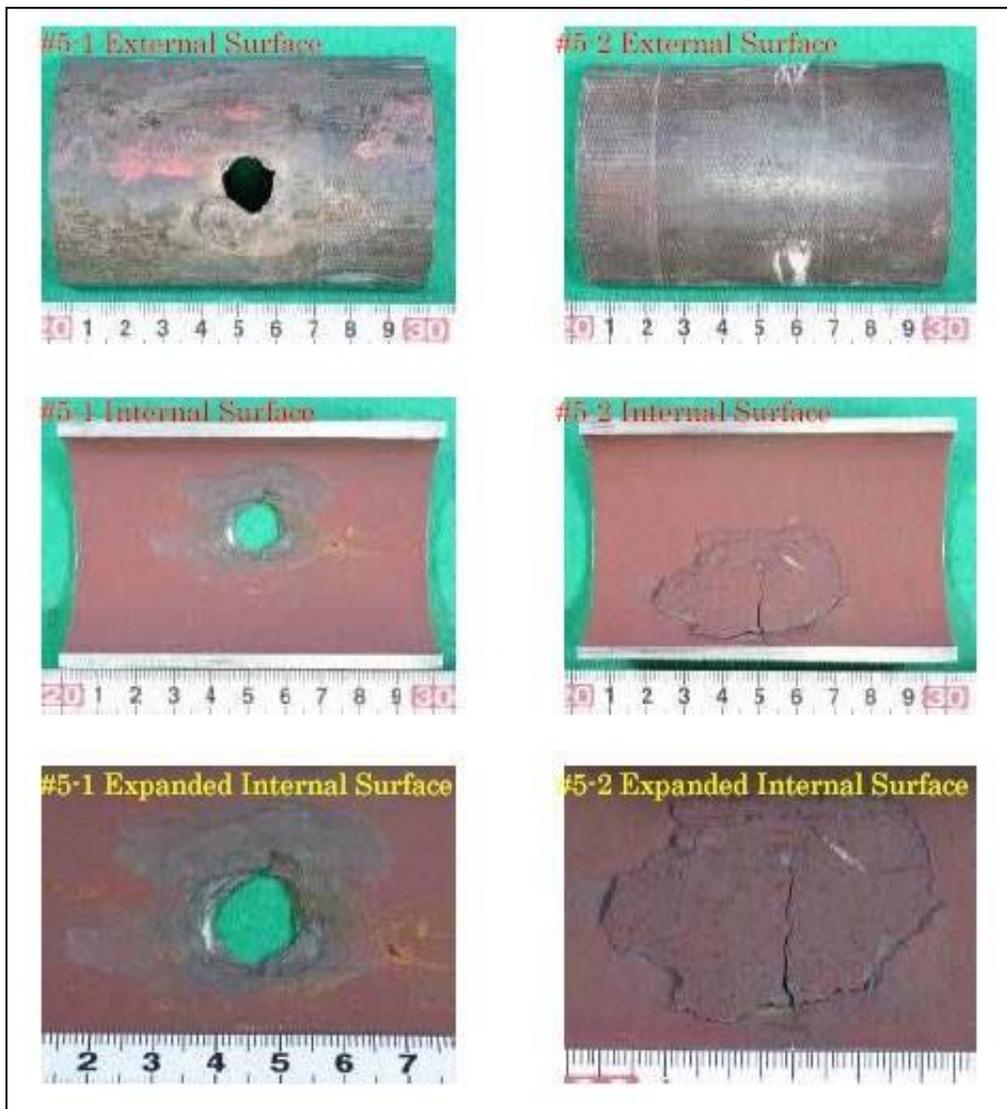


Fig 4. 3-Observation interne et externe d'un tube de chaudière

IV.1.4.6 Corrosion galvanique : La corrosion galvanique survient lorsque deux métaux différents sont en contact dans une solution, de façon à permettre le passage d'un courant électrique.

L'élément moteur de la corrosion galvanique est la différence de potentiel qui s'établit entre les deux métaux, la vitesse de corrosion du métal plus actif (moins noble) augmente et celle du métal plus noble diminue. (Fig. : IV.4 et fig. : IV.5) [26]

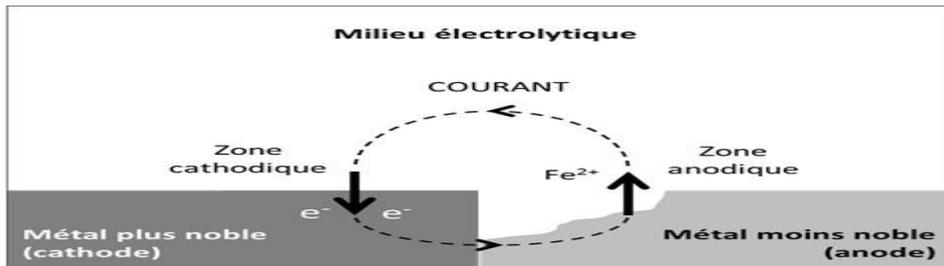


Fig 4. 4-Corrosion galvanique



Fig 4. 5-Effet d'une corrosion galvanique

IV.1.5 La corrosion des chaudières :

Dans la chaudière proprement dite les facteurs de corrosion sont nombreux, mais les principaux sont incontestablement l'eau elle-même, l'oxygène dissous et à un degré moindre, la soude caustique et la salinité. [27]

L'eau : L'eau pure désaérée attaque lentement le fer à la température ambiante selon la réaction suivante :



Aux températures plus élevées, telle que celles rencontrées dans les générateurs de vapeur, l'attaque s'accélérerait par l'augmentation de la dissociation des molécules d'eau.

- **L'oxygène dissous :** La corrosion par l'oxygène est le problème le plus sérieux que l'on rencontre quand on met une chaudière en observation.

Un mauvais contrôle de l'oxygène engendrera une corrosion par piqûres qui peuvent rapidement « creuser » les surfaces métalliques. Ces sites affaiblis peuvent créer des éclatements dans les réchauffeurs et les économiseurs.

L'oxygène dissous, d'une manière générale, exerce une action très néfaste lors de la corrosion du fer par l'eau. [28]

La présence simultanée d'oxygène et d'eau est un facteur favorable de la corrosion, qui

CHAPITRE IV : PROBLEMES RENCONTRES DANS LA CHAUDIERE

se traduit par une réaction à laquelle des espèces chimiques et des charges électriques prennent part. On parle alors de corrosion électrochimique.



Fig 4. 6-Corrosion par O₂

- **La soude caustique :** La soude caustique, dont la présence en faible quantité est généralement bénéfique (fixation de pH dans une zone légèrement alcaline), peut donner lieu à un phénomène de corrosion, appelé fragilisation caustique, lorsqu'elle se trouve présente en concentration très importante.



Fig 4. 7-Fragilisation caustique

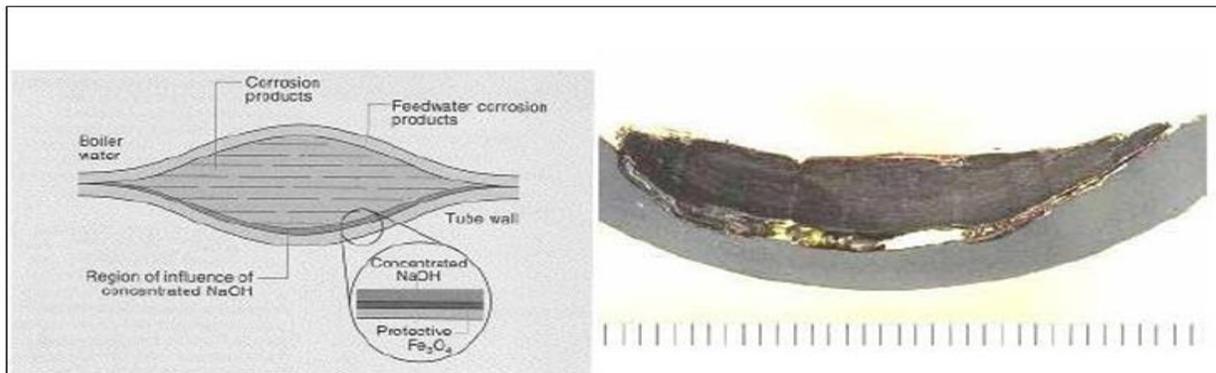
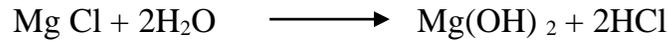
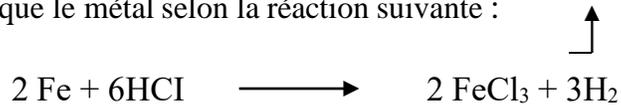


Fig 4. 8-Effet de la corrosion caustique

- **La salinité :** Il arrive par fuite d'eau de mer aux condensateurs, l'introduction des sels (chlorure de magnésium et de calcium) de s'hydrolyser pour former l'acide chlorhydrique. [28]



L'acide formé attaque le métal selon la réaction suivante :



IV.1.5.1 La corrosion dans les circuits de vapeur et d'eau condensée :

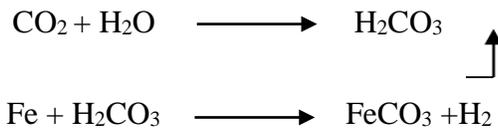
Dans le réseau de vapeur et de retour d'eau condensée, la corrosion est due essentiellement à l'oxygène, au gaz carbonique et à l'ammoniaque. Les effets de ces gaz se font toutefois sentir qu'en présence d'humidité, ce qui explique l'absence de corrosion dans les parties du circuit véhiculant de la vapeur surchauffée chargée d'oxygène et de gaz carbonique, et sa présence à un degré plus au moins accentué dans les parties en contact avec la vapeur saturée ou humide et l'eau de condensation.

IV.1.5.2 L'action de l'oxygène :

L'action de l'oxygène dont le mécanisme est identique à celui décrit lors des corrosions en chaudière.

IV.1.6 L'action de gaz carbonique :

Le gaz carbonique dissous (acide carbonique) est la cause la plus fréquente de la corrosion des circuits de vapeur et d'eau condensée, non pas parce qu'il ne peut pas être éliminé convenablement par dégazage avant entrée en chaudière. Lors de la condensation de vapeur une partie du CO₂ se dissout dans la phase liquide en se transformant en acide carbonique H₂CO₃ qui se dissocie avec libération des ions H⁺ en produisant une baisse de pH et bien entendu des conditions plus corrosives.



La décomposition des bicarbonates peut avoir lieu aussi dans la chaudière par suite de l'élévation de température

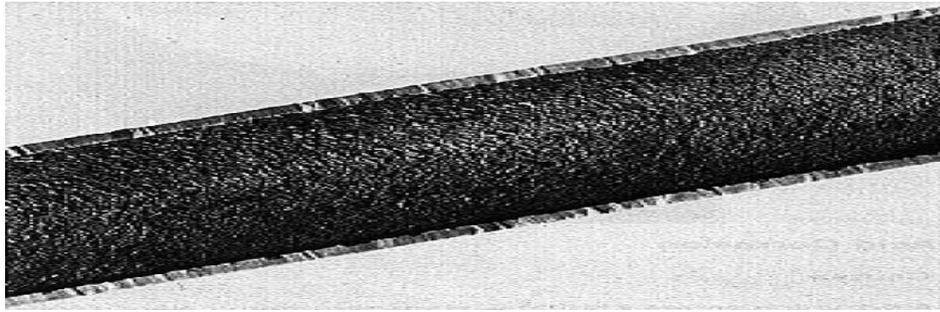


Fig 4. 9-Corrosion par CO2

IV.1.7 Les facteurs agissant sur la vitesse de corrosion :

Trois paramètres influent sur la vitesse de corrosion par l'oxygène dans une chaudière :

- La teneur en oxygène ;
- La température ;
- Le pH.

IV.1.7.1 La teneur en oxygène :

La vitesse de corrosion est proportionnelle à la concentration en oxygène dissous même à température ambiante de 25°C.

Autrement dit afin de protéger les lignes des appoints dans un circuit fermé d'eau vapeur il faut réduire au maximum la diffusion de l'oxygène dans ces lignes.

IV.1.7.2 La température : L'élément principal déclencheur de la corrosion reste toujours l'oxygène, les autres facteurs comme la température ont une influence directe sur la vitesse de cette corrosion par l'oxygène comme la vitesse de corrosion pour une concentration donnée en oxygène passe pratiquement au double. C'est le cas de la corrosion dans les économiseurs et les chaudières.

IV.1.7.3 Le pH : Le pH de l'eau alimentaire doit être supérieur à 7.5 pour avoir élimination efficace de l'oxygène.

La corrosivité de l'oxygène diminue quand le pH de l'eau alimentaire augmente. Le pH optimum est de 9.



Fig 4. 10-Effet d'une corrosion basique



Fig 4. 11-phénomène de fluage causé par fatigue (éclatement d'un tube)

IV.2 Conditionnement des eaux de chaudières : [25]

Le traitement et le conditionnement de l'eau doivent répondre aux trois objectifs prioritaires suivants :

- Au maintien de l'échange thermique par prévention de l'entartrage et de la formation de dépôts sur les parois ;
- À la protection contre la corrosion ;
- À la qualité de la vapeur produite.

Les postes de traitement de l'eau assurent l'épuration et le dégazage de l'eau d'appoint ou de l'eau alimentaire. Le conditionnement est le complément indispensable du programme de traitement et comporte l'introduction rationnelle de « produits de conditionnement » au moyen de groupes de dosage.

On résume les produits les plus utilisés dans le tableau suivant :

Tab 4. 1- Les produits de conditionnement

Produits	Rôle
----------	------

CHAPITRE IV : PROBLEMES RENCONTRES DANS LA CHAUDIERE

Les phosphates	Associés à l'alcalinité de l'eau de chaudière, ils neutralisent la dureté par formation de phosphate tricalcique, composé insoluble que l'on peut disperser puis évacuer par les purges de fond ou par les purges continues. Pour les systèmes où l'eau alimentaire est à moins de 1° TH , les phosphates sont utilisés pour contrôler l'alcalinité ou le pH de l'eau en chaudière et par conséquent, permettre d'éviter la corrosion acide ou alcaline des parois internes de la chaudière. On les associe souvent à des dispersants naturels et/ou de synthèse
Les séquestrant	Tel que l'EDTA qui permet de maintenir les impuretés en solution
Les réducteurs d'oxygène	Comme le sulfite de sodium, bisulfite, hydrazine, carbohydrazine etc. Ces réducteurs, catalysés ou non, permettent la rétrogradation des oxydes, la réduction de l'oxygène ainsi que, pour certains, la passivation des surfaces métalliques. Leur choix et leur dosage, diffèrent suivant que l'on dispose ou non d'un dégazage thermique et suivant l'utilisation de la vapeur (certains produits tels que l'hydrazine sont interdits en industrie agroalimentaire).
Les antimousses ou antiprimage	Mélanges de tensioactifs qui modifient les tensions superficielles du liquide et suppriment les mousses réduisant ainsi l'entraînement de fines gouttelettes d'eaux dans la vapeur (primage).
Les phosphates organiques	Qui apportent une inhibition avec effet de seuil

Au niveau du Complexe (zone Est), les produits qui ont été injectés dans la chaudière étudié, étant :

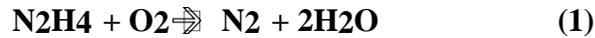
- **L'hydrazine [29]:** Malgré sa toxicité et son caractère éventuellement cancérigène, l'hydrazine est l'additive anticorrosion le plus utilisé depuis les années 1960.

A la fois anti - oxygène et inhibiteur de corrosion, il agit aussi bien en phase liquide qu'en phase

CHAPITRE IV : PROBLEMES RENCONTRES DANS LA CHAUDIERE

vapeur. Cependant sa volatilité est faible et il restera essentiellement dans l'eau. Il n'augmente pas la teneur en sel de l'eau en chaudière.

- Sa réaction avec l'oxygène est :



La température, l'excès d'hydrazine, les pH élevés et la présence de catalyseur sont les principaux facteurs qui favorisent la vitesse de réaction.

- Son action inhibitrice de la corrosion :

- **L'hydrazine** convertit les couches oxydées d'oxyde cuivrique en oxyde cuivreux plus stable :



L'hydrazine se décompose au-dessus de 300°C :



En formant essentiellement de l'ammoniac et un peu d'hydrogène :



L'ammoniac qui est extrêmement volatil suivra le cheminement de la vapeur et peut être la cause de corrosions sur des éléments en cuivre ou alliage de cuivre.

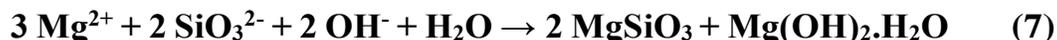
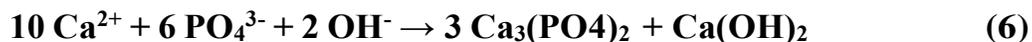
- **Le phosphate** : une technique maintenant ancienne pour assurer un pH alcalin dans l'eau de chaudière consiste en l'addition de phosphate trisodique (Na_3PO_4), éventuellement en mélange avec du phosphate disodique (Na_2HPO_4).

- Dans l'eau il est capable de libérer de la soude en provoquant l'augmentation du pH.



Le principal avantage du traitement aux phosphates est un effet tampon qui augmente la tolérance aux intrusions d'impuretés pouvant affecter le pH de l'eau.

- Un autre avantage de ce traitement est la réaction avec les sels de calcium, de magnésium et la silice pour former des précipités non adhérents qui peuvent être aisément éliminés, sous forme de boues, avec les purges :



Différentes stratégies de traitement utilisant les phosphates de soude sont proposées ; elles visent à :

- Maintenir un pH suffisant ;
- Éviter une corrosion caustique due à un excès de soude localisé ou généralisé ;
- Éviter la précipitation de phosphate sur les surfaces chaudes.

CHAPITRE IV : PROBLEMES RENCONTRES DANS LA CHAUDIERE

En conclusion, les impuretés rencontrées dans les eaux sont la cause des divers problèmes affectant les systèmes d'échange thermique. Le conditionnement d'eau devint d'une importance primordiale.

Un bon programme de traitement chimique ainsi que les soins appropriés, augmentent l'efficacité des systèmes ; ils réduisent les coûts d'exploitation, de l'entretien et prolongent la durée des équipements.

IV.3 Conclusion

Ce chapitre nous a permis de nous familiariser avec les problèmes que rencontrent les chaudières et, plus précisément, de celle qui est implantée au niveau de la zone Est du Complexe et avec leur type de protection.

ETUDE PRATIQUE

CHAPITRE V : DIAGNOSTIC DU SECTEUR

V Problématique :

Dans le but de finaliser notre parcours étudiantin de Master, on a été orienté vers l'entreprise pour être prédisposé au professionnalisme. L'entreprise qui nous a accueillis pour réaliser nos travaux de fin de cycle est le Complexe sidérurgique d'El Hadjar de la ville d'Annaba qui est d'une très grande envergure et qui présente le plus grand complexe industriel dans l'Afrique.

La continuité de la production du Complexe nécessite toujours l'utilisation abondante de l'eau. Dans ce cadre, l'encadreur de stage nous a proposé de faire notre étude sur la zone

Est de la division de fluide. Ce secteur est fondamental à la croissance de la production du Complexe, car il traite d'importante quantité d'eau qui sert à la production dans l'industrie, telles que : l'eau industrielle, l'eau déminéralisée et la vapeur surchauffée, et entre autres, l'air comprimé. Cette dernière, la vapeur surchauffée, ne s'obtient qu'à partir des chaudières et elle est nécessaire pour de nombreuses utilisations, parmi lesquelles : le fonctionnement des turbines pour la génération de l'électricité et surtout la stabilisation de la température du haut fourneau lors de son arrêt (car il doit rester à haute température).

Tout au long des années de marche de l'installation, les chaudières servent à la production de la vapeur en ayant répertoriées de multiples et différents problèmes.

Parmi les problèmes archivés, on a recensé :

- L'éclatement des pores de bac, si le débit et la pression sont élevés ;
- La non étanchéité des vannes pneumatiques ;
- L'éclatement de canalisation d'alimentation, ce qui a conduit à des fuites, comme figurées sur l'image suivante :



Fig 5. 1-Capture de fuite au niveau de la chaudière

Les problèmes de corrosion et d'entartrage, subsistent car :

- Avant l'installation de la filtration membranaire, l'adoucissement se réalisait sur une résine cationique dont la qualité de l'eau qui en découlait n'était pas assez conforme aux exigences d'une eau d'alimentation des chaudières (où $0,3 \text{ °f} < \text{TH} < 0,5 \text{ °f}$) ; ses teneurs en TH étaient comprises entre $2 \text{ °f} < \text{TH} < 10,2 \text{ °f}$;
- En période de pluie, l'eau qui arrivait du barrage était trop chargée en MES ce qui se répercute sur la maîtrise du traitement, mais elle est traitée dans les normes habituelles pendant les périodes de temps sec ;
- Ainsi, durant la période de notre stage, l'alimentation du Complexe en eau provenait de celle du barrage habituel. Cette qualité d'eau brute n'est pas maîtrisée par le traitement actuel.
- Le dégazage thermique de l'oxygène est mal effectué car la température au niveau de la bêche ne dépasse pas les 70 °C ; or il est préconisé que le dégazage se passe dans l'augmentation de température de $25 \text{ à } 105 \text{ °C}$.

Donc, en vue de cette historique de l'équipement, on a proposé de suivre les traitements effectués au niveau de la zone Est, de l'eau brute jusqu'à son sort à l'OI afin de visualiser certains de ces problèmes répertoriés dans cette problématique.

V.1 Diagnostique :

Comme il a été mentionné dans la problématique, le Complexe a besoin d'une importante quantité d'eau industrielle, la zone EST de la division des fluides est un secteur fondamental à la croissance de la production de complexe puisqu'il traite une importante quantité d'eau qui sert à alimenter les autres secteurs du complexe ; parmi les utilisations importantes de cette eau : la production de la vapeur surchauffée par les chaudières.

Dans cette partie on va suivre l'eau de cette zone en commençant par son arrivée et voir la chaîne de son traitement jusqu'à son utilisation au niveau de la chaudière.

V.2 Cycle d'eau dans l'entreprise :

Cycle d'eau au niveau de SIDER s'effectue depuis la source jusqu'à la production d'une eau ultra pure en passant par la chaîne de traitement (figure V-1).

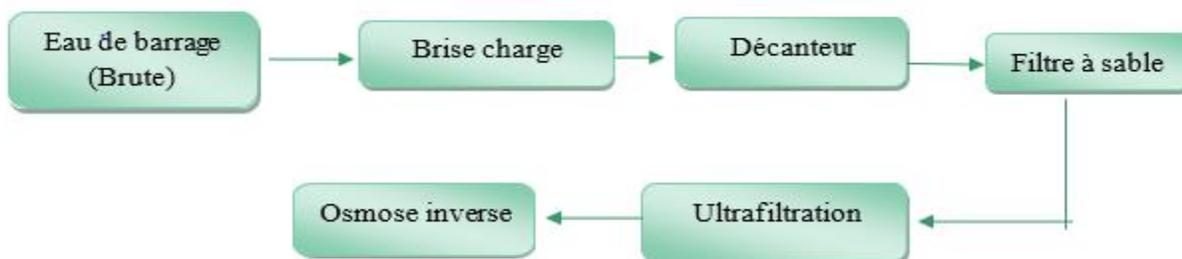


Fig 5. 2-Cycle d'eau SIDER

V.3 Traitement de l'eau avant son utilisation :

Le réseau d'eau qui alimente le complexe de SIDER qui est extraite au niveau du barrage de CHEFFIA situé à 50 Km au Sud-Est de la ville de ANNABA à travers la station de pompage qui se trouve à Sidi Ammar avec une pression de 4 bars et un débit de $2000\text{m}^3/\text{h}$. Sa pression est régulée manuellement dans la salle de pompage EBS ; cette eau va être destinée vers un bassin (brise charge) pour injecter le lait de chaux Ca(OH)_2 , l'adjuvant (Sp6) et le chlorure ferrique (FeCl_3). La production de l'eau industrielle dans la zone EST s'effectue selon les étapes de traitement résumées dans le schéma ci-après et qu'on a détaillées précédemment (chapitre 1).

V.3.1 Production de l'eau industrielle :

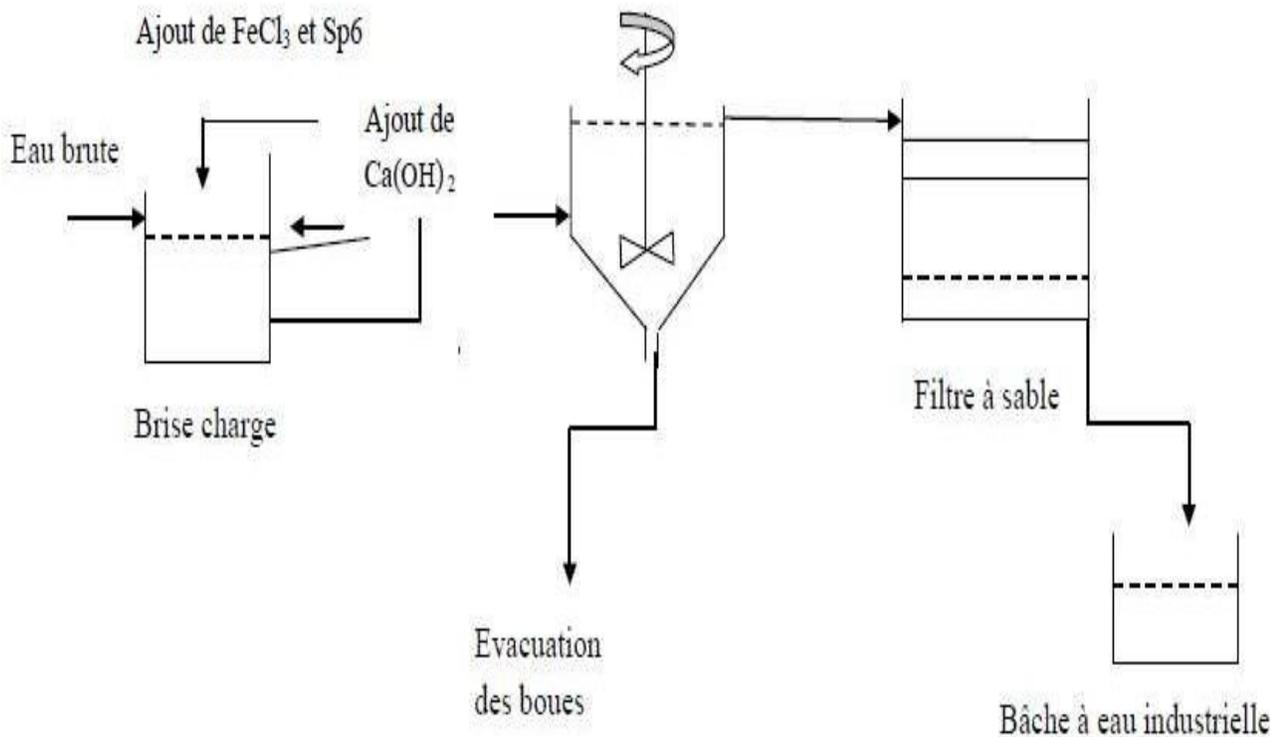


Fig 5. 3-Schéma synoptique des étapes de la production de l'eau industrielle au niveau de la zone Est

On trouve au niveau de cette zone deux décanteurs qui fonctionnent, généralement, en parallèle pour concevoir un meilleur traitement.

Mais le problème qu'il s'était posé à ce stade, c'est que les deux décanteurs se sont arrêtés et ne fonctionnent plus. Cet arrêt a probablement pu perturber la qualité de l'eau industrielle qui était distribuée vers différents secteurs, notamment, dans notre cas, vers la production de l'eau déminéralisée.

V.3.2 Production de l'eau déminéralisée :

Nous savons que la présence d'une forte concentration en minéraux dans une eau conduira, dans certaines conditions, à des phénomènes de précipitation et donc à l'apparition de dépôt. Donc, pour assurer une bonne qualité d'eau d'alimentation des chaudières, il est utilisé un système de séparation membranaire par ultrafiltration (fig. V.4) et par osmose inverse (fig. V.5). Comme cela a été cité, de manière explicite et détaillée dans la partie théorique, concernant les opérations typiques de ces membranes, nous allons, dans ce paragraphe, décrire davantage le type de membrane utilisée dans le secteur.



Fig 5. 4-Installation d'ultrafiltration-Zone
Est-Complexe SEH-Annaba



Fig 5. 5- Installation d'osmose inverse-Zone
Est-Complexe SEH-Annaba

v.3.2.1 Description de l'unité de l'UF :

L'eau industrielle est amenée vers chaque rack membranaire (rack 1 et rack 2). La pression de filtration est généralement comprise entre 0,3 et 0,8 bar. Une lecture de débit, pH et température sont prises. Elle traverse la paroi des fibres creuses de l'extérieur vers l'intérieur. La structure poreuse de la membrane empêche le passage des espèces, particules, microbes, virus dont la taille est supérieure à $0,01\mu\text{m}$. L'eau traitée est ensuite dirigée vers la production (bâche eau traitée). Le débit de perméat (filtrat) est contrôlé par système de régulation ou il est renvoyé un signal vers le variateur de fréquence de la pompe d'alimentation. La turbidité de l'eau filtrée est contrôlée à la sortie des racks 1 et 2 ainsi que TPM 1 et TPM 2 (fig : V.6).

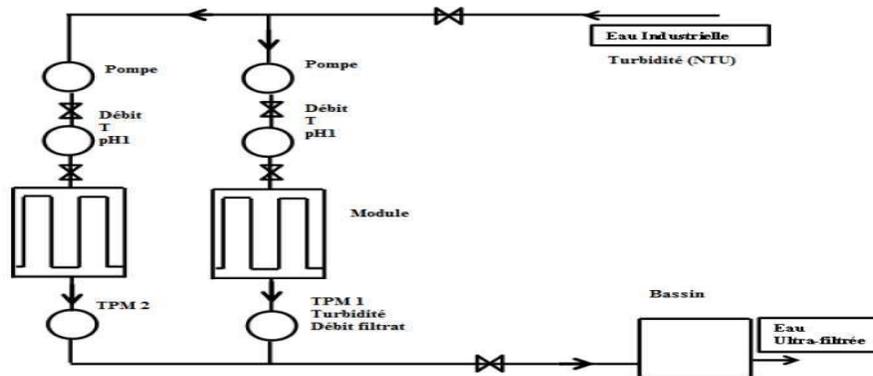


Fig 5. 4-Procédé d'ultrafiltration

Les spécifications techniques de l'installation sont regroupées dans le tableau :
 Tab 5. 1-Membrane de l'UF-secteur Zone Est-Complexe SEH-Annaba

Caractéristiques de la membrane	
Matériau	Poly sulfone
Porosité nominale	0.01 micron
Configuration	Fibre creuse
Filtration	De l'extérieur vers l'intérieur
Modules	
Type de cartouche	UFP 240
Longueur	1700 mm
Diamètre	610 mm
Surface filtrante	40 m ² par module
Nombre de modules par rack membranaire	2 (1 ligne 2 modules)
Nombre total de modules pour les deux racks	4
Système	
Nombre de racks membranaires	2
Type de fonctionnement	Frontal
Pression transmembranaire	0 - 1,5 bars

Les cartouches d'ultrafiltration sont composées de plusieurs milliers de ces petits tubes appelés fibres creuses et présentent ainsi une surface de filtration importante permettant de traiter de grands débits.

V.3.2.2 Description de la membrane d'OI :

Les pompes HP alimentent directement le premier étage de l'osmoseur, soit 4 carters de pression comprenant chacun 6 membranes d'osmose inverse. Ce circuit alimente le second étage de l'osmoseur composé de 2 tubes de pression, chargés chacun de 5 membranes, identiques à celles installées au premier étage. En sortie du second étage, le perméat est tout comme au premier étage collecté et contrôlé par la conductivité et le débit. Les perméats de premier et second étage sont rassemblés et dirigés vers la bêche d'eau traitée.

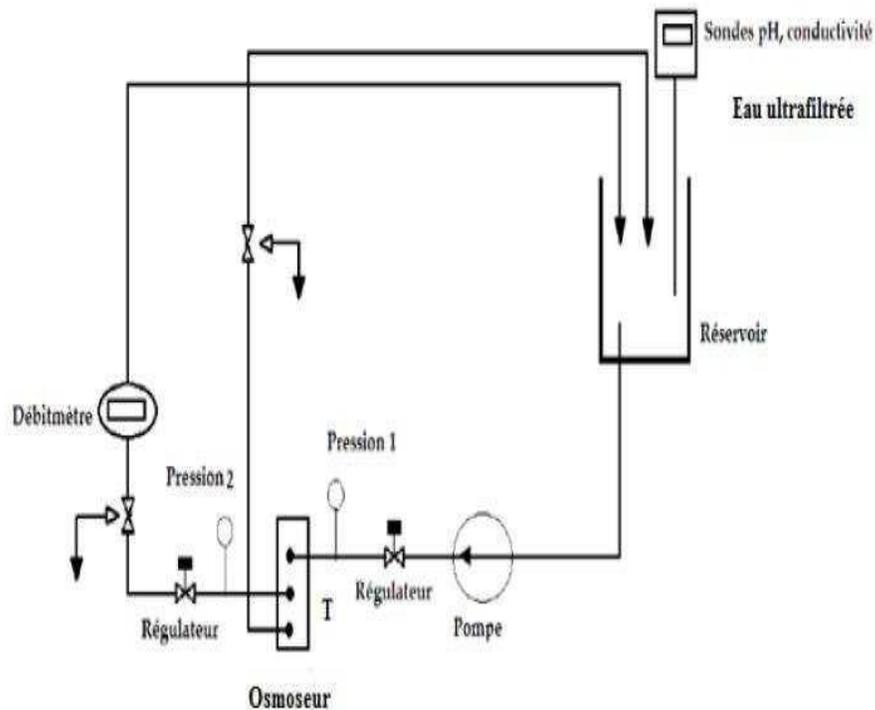


Fig 5. 5-Schéma synoptique du fonctionnement du montage d'OI

CHAPITRE V : DIAGNOSTIC DU SECTEUR ETUDIE

Les données techniques de l'unité d'osmose inverse ProMinent Type PRO 35.28 TW

– CP5LD ou équivalent sont rassemblées dans le tableau V.2 :

Tab 5. 2-Données techniques de l'unité d'OI -Zone Est-Complexe SEH-Annaba

Paramètres	Unités	Données
Débit d'eau pure à 25°C	m ³ /h	Approx 35
Pression	bar	Approx.10
Rendement	%	Max 75
Consommation en eau brute	m ³ /h	Approx 50
Pression en eau brute	bar	Min/max = 3/6
Seuil de rejet du sel	%	>90-95
Alimentation	V/Hz	400/50
Puissance	KW	22
Raccord eau non traitée, perméat, concentré	DN	100, 80, 50
Dimensions OI : H × L × l	mm	1800×7500×1100
Dimensions de la cuve de nettoyage	mm	1070 × 1260

L'eau sortante de l'osmose, dépourvue d'ions, est stockée dans la bêche alimentaire destinée à l'alimentation de la chaudière.

V.4 Type de chaudière au niveau de la zone Est :

La zone Est joue un rôle très important dans le bon déroulement de la production de la vapeur sous pression. Cette dernière est utilisée dans différent domaine dans le complexe. La chaudière installée dans cette zone est à tubes d'eau représentée dans la figure ci- dessous.



Fig 5. 6-Chaudière de la Zone Est

Les caractéristiques principales de cette chaudière sont indiquées dans le tableau suivant :

Tab 5. 3-Characteristiques de la chaudière de la zone Est

Paramètres	Données
Capacité	30 T/h
Pression maximale admissible	45 bars
Température d'alimentation	100-110 °C
Température maximale de fluide	240 °C
Fluide	Vapeur
Combustible	Gaz naturel

Comme il a été mentionné dans la partie théorique, plusieurs problèmes typiques sont rencontrés dans la chaudière qui ont pu perturber son fonctionnement, tels que : la corrosion, l'entartrage, le moussage, le primage et les fuites, etc.

Dans le but de la protection de la chaudière contre ces problèmes, un conditionnement des eaux d'alimentation est effectué, tout en utilisant deux produits :

- **L'hydrazine** dans le but de faire le dégazage chimique de l'oxygène.
- **Le phosphate** dans le but de la protection des tubes par la formation d'une couche protectrice dans ses parois internes,

Depuis juin 2019, pour des raisons économiques et de santé, ces deux produits ont été remplacés par la **Citamine** qui est un produit chimique qui est injecté à l'intérieur de la chaudière pour former un film afin de lutter contre l'entartrage et la corrosion interne.

V.5 CONCLUSION

En général, les problèmes sont dus à la mauvaise qualité des eaux d'alimentation de chaudière. Cependant, pour confirmer cette cause, il est préférable de suivre l'analyse et de contrôler la qualité des eaux d'arrivée pour s'assurer de la conformité de l'eau distribuée. Pour y faire, on a établi une méthodologie d'étude selon l'objectif détaillé dans le chapitre expérimental.

CHAPITRE VI : ETUDE EXPERIMENTALE

VI Contexte de l'étude :

VI.1 Introduction :

Pour l'analyse et le contrôle de qualité ou pour la recherche fondamentale ou appliquée, la présence d'un laboratoire équipé de personnel qualifié et en matériels de mesure est fondamentale. Le cahier des charges de chaque laboratoire est spécifique à chaque institution de production de produits sidérurgiques, agro-alimentaires, pharmaceutiques, etc.

VI.2 Objectif de l'étude :

Dans notre étude, notre objectif est de contrôler la qualité de l'eau d'alimentation de la chaudière SITERM. Pour y faire, on a suivi des paramètres et recueilli des informations de prestation analytique du laboratoire centrale du complexe SIDERURGIQUE EL HADJAR concernant l'eau de distribution durant l'année 2023 sur une période de quinze jours.

Généralement, les paramètres analysés peuvent être : organoleptiques (goût, couleur, odeur, turbidité, etc.), physico-chimiques (pH, température, titre alcalimétrique simple TA, titre alcalimétrie complet TAC, titre hydrotimétrie ou dureté totale TH, etc.), toxiques (métaux lourds, etc.), microbiologiques (bactéries, virus, parasites) et des pesticides. En sidérurgie les paramètres analysés s'apparentent essentiellement aux paramètres de structure (métal, composite, etc), de composition chimique (fer, carbone, etc) et de texture (Rayon X, Infrarouge, Microscopie à balayage électronique MEB, etc).

Dans notre étude, on a analysé l'eau brute, l'eau industrielle, l'eau d'alimentation et l'eau de chaudière dont l'objectif est de finalement contrôler la qualité de l'eau de chaudière. Le contrôle de l'eau, va nous permettre de déterminer la qualité de l'eau distribuée vers l'installation de la filtration membranaire, par une comparaison aux valeurs des normes fixées par le constructeur de l'équipement.

Ensuite, et par l'exploitation d'indice de stabilisation, on peut déduire le caractère de l'eau d'alimentation et de chaudière.

VI.3 Laboratoires d'analyses :

Le laboratoire central d'El-Hadjar contient plusieurs services d'analyses composés de laboratoires spécifiques comme le laboratoire des huiles, le laboratoire de spectroscopie, le laboratoire de la matière première et le laboratoire des eaux.

VI.4 Laboratoire des eaux :

Son rôle est d'analyser les eaux sidérurgiques qui servent à la production, en mesurant leurs paramètres physicochimiques. Nos paramètres analysés dans le laboratoire des eaux sont détaillés dans le paragraphe suivant.

• Le prélèvement :

* Les eaux brutes (eau de barrage de CHEFFIA) ont été échantillonnées aux sources d'eau de l'usine de traitement d'eau, dans des flacons de plastique d'un 1,5 L.

* L'eau décarbonatée est prélevée, dans des flacons en plastiques de 1,5 L, de sa bache. Après le prélèvement des échantillons, les bouteilles sont fermées pour éviter l'évaporation et transportées au laboratoire dans une glacière.

* L'eau d'alimentation est prise en échantillon de l'eau de l'adoucisseur ; c'est l'eau qui alimente la chaudière, et l'eau de chaudière est prélevée dans des flacons adéquats de la purge continue (elle est située près du ballon inférieur de la chaudière).

VI.5 Paramètres physico-chimiques analysés :

Pendant la période de stage, au niveau de laboratoire du complexe, on a effectué des analyses physico-chimiques sur des échantillons de : l'eau brute, industrielle, l'eau d'alimentation et l'eau de chaudière, pour juger leur qualité. Les paramètres retenus sont : TA, TAC, TH, conductivité, pH, chlorures et solides dissous totaux TDS, essentiellement. On a développé dans ce qui suit la description des paramètres analysés au laboratoire des eaux.

VI.5.1.1 Détermination de l'alcalinité (Titre alcalimétrique et titre alcalimétrique complet) :

Pour connaître la teneur d'une eau en carbonates (CO_3^{2-}) on détermine l'alcalinité (TA) ; ce titre est exprimé en degré français (°F) ; et pour déterminer celle des ions bicarbonates (HCO_3^-), on détermine l'alcalinité complète (TAC).

L'alcalinité d'une eau est fortement liée à sa dureté et donc à son caractère corrosif et à sa capacité d'entartrage des équipements.

VI.5.1.2 Détermination du titre hydrotimétrique TH :

Il représente la somme des concentrations en ion calcium et magnésium. Il s'exprime en degré français (°F). Cette mesure indique le risque de dépôt de tartre.

On classe généralement le caractère des eaux de la manière suivante :

Tab 6. 1-Caractère des eaux selon le TH (BERNE F. et CORDONNIER J., 1991) [30]

La dureté (°F)	Caractère de l'eau
TH < 6	Eaux très douces
6 < TH < 15	Eaux douces
15 < TH < 30	Eaux moyennement dures
TH > 30	Eaux très dures

VI.5.1.3 Dosage de la dureté calcique TCa^{2+} et magnésienne TMg^{2+} :

Le calcium ou dureté calcique exprime la concentration globale d'une eau en sels de calcium quel que soit l'anion associé. On l'appelle aussi quelque fois Titre Calcique TCa^{2+} de l'eau. On parle de même de la dureté magnésienne (ou Titre Magnésien, TMg^{2+}) uniquement due aux sels de magnésium [31], dont : $\text{TH} = [\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}]$

VI.5.1.4 Dosage des chlorures :

Les chlorures s'impliquent dans le phénomène de corrosion par piqûres. Elle s'exprime en mg/L. Elle se fait à l'aide d'un spectrophotomètre qui est un appareil qui permet de mesurer l'absorbance d'une solution homogène et d'une longueur d'onde donnée sur une région spectrale donnée [32].

VI.5.1.5 Détermination du pH :

Il indique la concentration des ions hydrogène présents dans l'eau, c'est-à-dire si une eau est plutôt acide, basique ou neutre. Il permet d'évaluer le caractère agressif ou incrustant d'une eau.

Tab 6. 2-Caractère de l'eau selon le pH

Valeur du pH	Caractère d'eau
pH < 7	Acide
pH = 7	Neutre
pH > 7	Basique

Elle est réalisée par un pH-mètre : le pH-mètre est un appareil électronique permettant de donner la mesure du pH d'une solution.

VI.5.1.6 Détermination de la conductivité :

Elle fournit un indicateur précis sur la teneur en sels dissous (salinité de l'eau). La conductivité s'exprime en $\mu\text{s/cm}$ et elle est l'inverse de la résistivité [33].

VI.5.1.7 Détermination du taux de salinité :

La salinité est la teneur en milligramme de sels soluble dans un litre d'eau. Le taux de salinité est calculé à partir de la conductivité à une température T donnée, et d'autre part la conductivité est très influencée par le pH de la solution [34].

VI.5.1.8 Détermination des matières en suspension :

Ce sont des particules solides très fines et généralement visibles à l'œil nu, théoriquement, elles ne sont ni solubilisées, ni à l'état colloïdale. Elles déterminent la turbidité de l'eau. Elles limitent la pénétration de la lumière dans l'eau, diminuent la teneur en oxygène dissous et nuisent au développement de la vie aquatique.

Elle se fait à l'aide d'un spectrophotomètre qui est un appareil qui permet de mesurer l'absorbance d'une solution homogène et d'une longueur d'onde donnée sur une région spectrale donnée [32]

VI.5.1.9 Dosage du fer total

Elle se fait à l'aide d'un spectrophotomètre qui est un appareil qui permet de mesurer l'absorbance d'une solution homogène et d'une longueur d'onde donnée sur une région spectrale donnée.

VI.5.1.10 Dosage de silice :

Elle se fait à l'aide d'un spectrophotomètre qui est un appareil qui permet de mesurer l'absorbance d'une solution homogène et d'une longueur d'onde donnée sur une région spectrale donnée.

VI.5.1.11 Détermination de la turbidité

Elle est effectuée grâce à un turbidimètre : c'est un appareil permettant la détermination de la turbidité. La mesure est effectuée pour connaître le degré de la pollution physique de l'eau [32].

VI.5.1.12 Résultats des eaux étudiées :

Les valeurs de teneurs mesurées ont pour but d'être exploitées pour déterminer la qualité et le caractère de l'eau de chaudière.

VI.6 Variation des paramètres physico-chimiques de l'eau brute et industrielle :

Les paramètres physico-chimiques étudiés pour l'analyse de l'eau brute et l'eau industrielle sont graphités dans les figures suivantes afin de voir leur évolution.

VI.7 Représentation graphique des paramètres et discussions des résultats :

❖ Le TA :

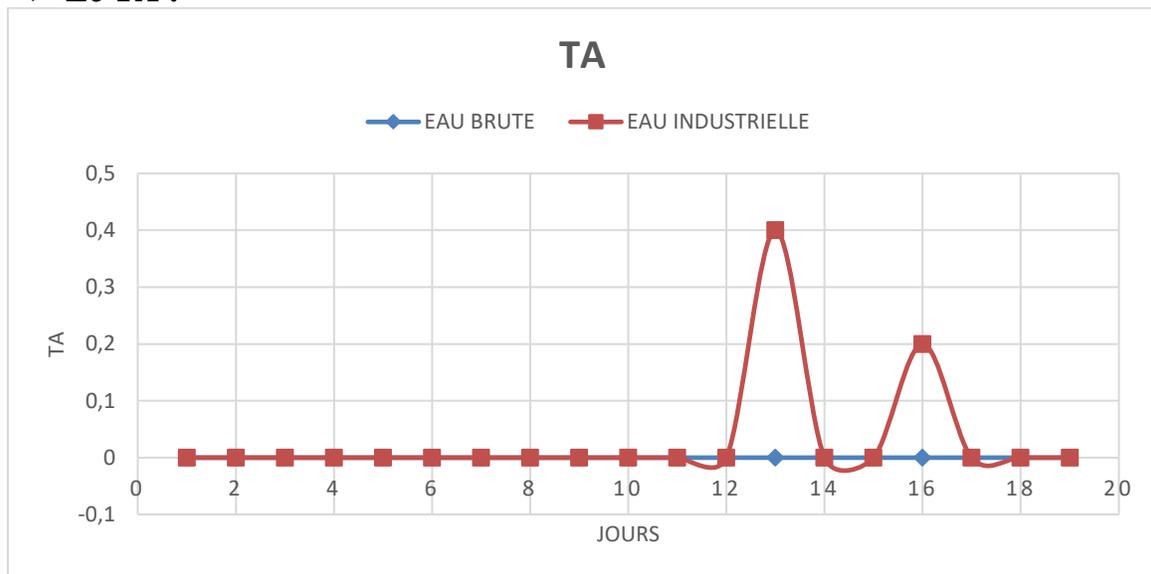


Fig 6. 1-Variation du titre alcalimétrique simple de deux eaux (brute et industrielle)

✓ D'après la figure VI.1, on remarque que la mesure de titre alcalimétrique simple TA pour l'eau brute est égale à zéro dans la période étudiée, dû aux concentrations négligeables des carbonates.

L'alcalinité augmente dans les eaux industrielles mais ne dépasse pas les normes exigées (1°F).

La valeur de TA = 0 indique le pH de l'eau brute est inférieur à 8,3.

Les fluctuations des valeurs (0 - 0,4) de TA pour l'eau industrielle sont peut-être dues au mauvais traitement de l'eau.

La formation d'une couche carbonatée assurant la protection des canalisations contre certains risques de corrosion nécessite une alcalinité minimale.

❖ TAC :

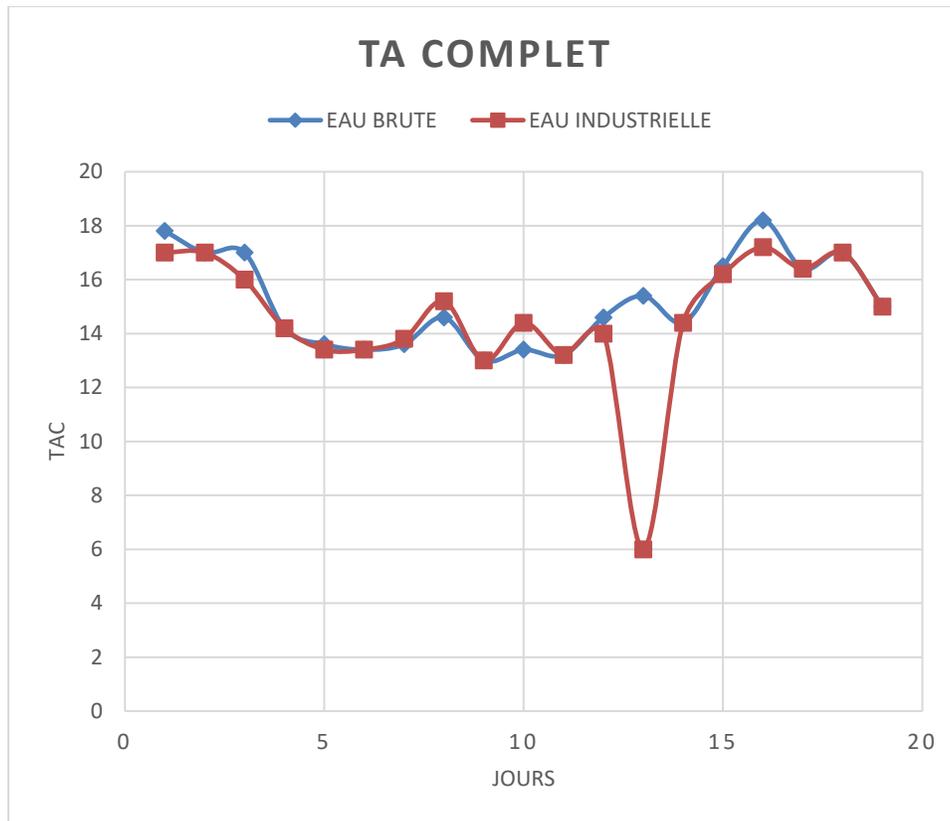


Fig 6. 2- Variation du titre alcalimétrie complet de deux eaux (brute et industrielle)

- ✓ Les résultats d'analyse de TAC pour les deux types d'eaux montrent que les teneurs en bicarbonates prennent des valeurs maximales de 18,2 °F pour l'eau brute et 17,2°F pour l'eau industrielle. Ces valeurs dépassent les normes (2,5 -6) pour l'eau industrielle, ce qui affecte les caractéristiques de l'eau de chaudière et laisse des micros floes en solution, qui peuvent décanter dans les conduites. Cette augmentation du titre alcalimétrique complet est peut-être due à des excès de chaux (verser des grandes quantités à la fois) et à la présence d'espèces basique telles que les ions hydroxyde (OH⁻), les ions carbonate (CO₃²⁻), les ions hydrogénocarbonate (HCO₃⁻).

❖ TH :

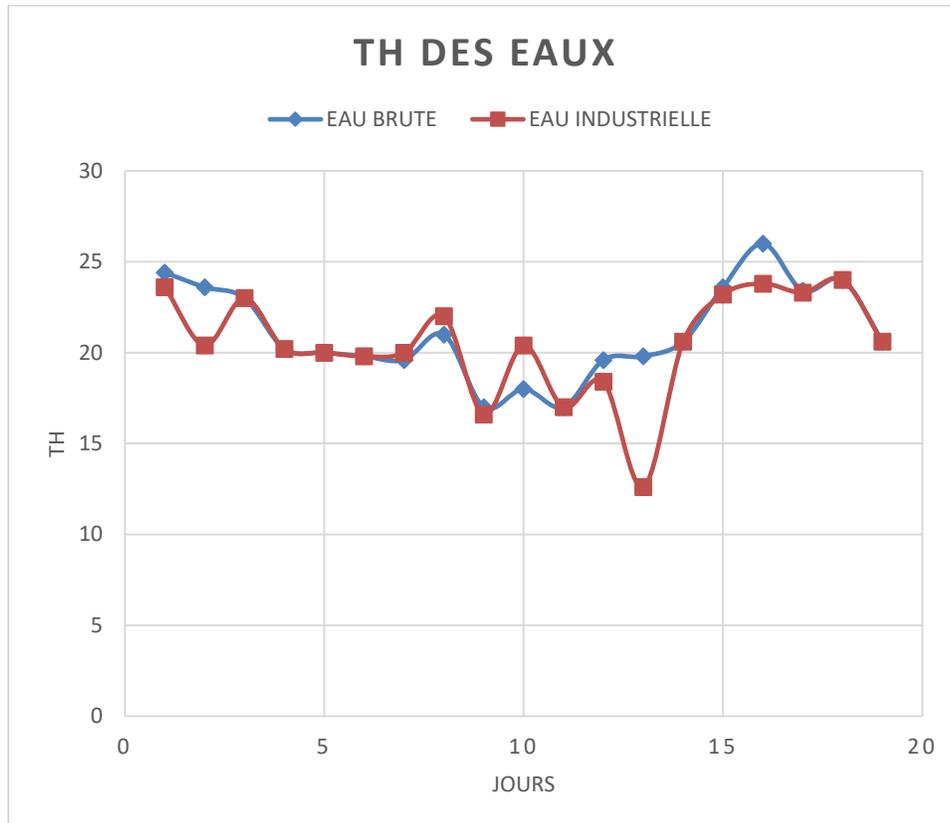


Fig 6. 3-Variation de la dureté totale TH de deux eaux (brute et industrielle)

✓ La figure VI.3 donne l'allure de la variation de la dureté totale de l'eau brute et de l'eau industrielle en fonction de la période d'étude. La dureté de l'eau brute est supérieure à celle de l'eau industrielle (le maximum de la valeur de TH de l'eau brute est de 26°F et de l'eau industrielle est de 24°F).

On peut dire que l'eau brute est moyennement dure, où les valeurs de TH sont comprises entre 17 et 26°F. En outre, les valeurs de TH de l'eau industrielle sont inférieures à 30°F, donc on peut dire que cette eau est moyennement dure.

Ces valeurs dépassent largement la norme (9 - 11). Cet excès de dureté est un indicateur du risque d'entartrage et de corrosion des chaudières, nécessitant ainsi leurs purges.

❖ $T_{Ca^{2+}}$:

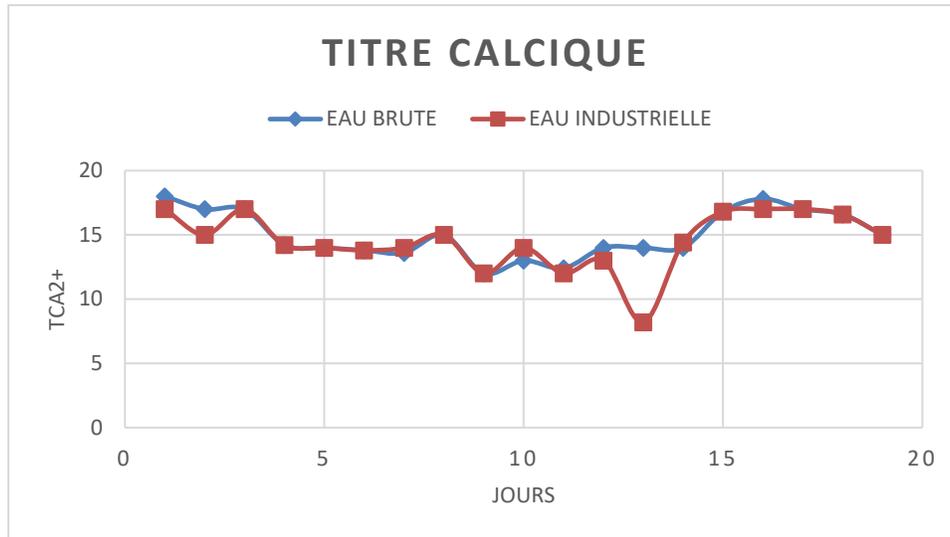


Fig 6. 4-Variation de la dureté calcique $T_{Ca^{2+}}$ de deux eaux (brute et industrielle)

✓ La dureté calcique des eaux brutes et industrielles est représentée sur la figure VI.4. Les résultats de l'analyse du titre calcique donnent des fluctuations pour les deux types d'eaux. On constate que la teneur en calcium de l'eau brute est supérieure à celle de l'eau industrielle. Mais ces valeurs ne sont pas dans la norme 3-8°F.

❖ Mg^{2+} :

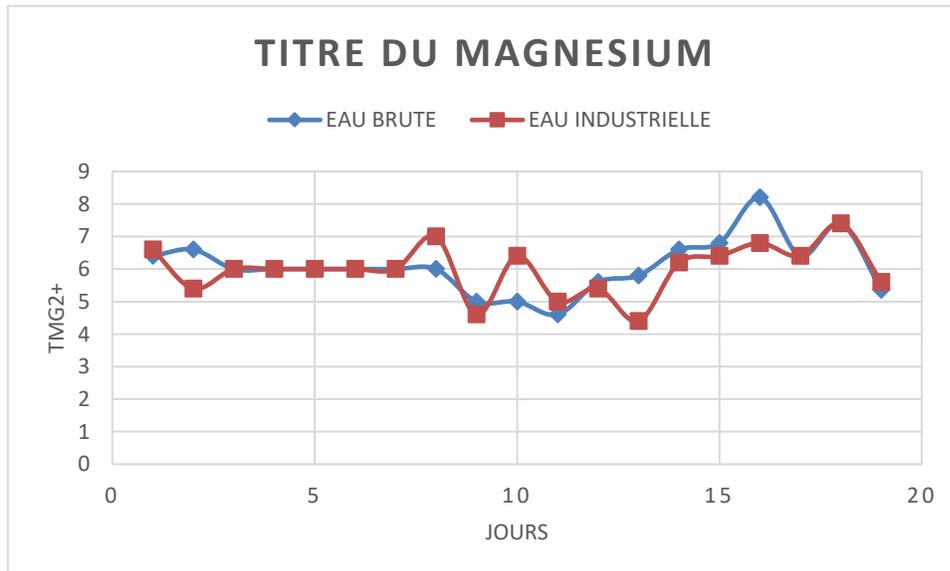


Fig 6. 5-Variation de la dureté magnésien Mg^{2+} de deux eaux (brute et industrielle)

✓ La dureté magnésienne des eaux brute et industrielle est représentée sur la figure VI-5. On observe la même allure dans les deux cas mais avec une petite différence d'écart. Où la teneur en Mg^{2+} est presque la même dans la période d'étude. On constate que la teneur en magnésien de l'eau brute est supérieure à celle de l'eau industrielle à partir de (15 - 16ième journée). Ces valeurs sont dans la norme.

❖ Cl⁻ :

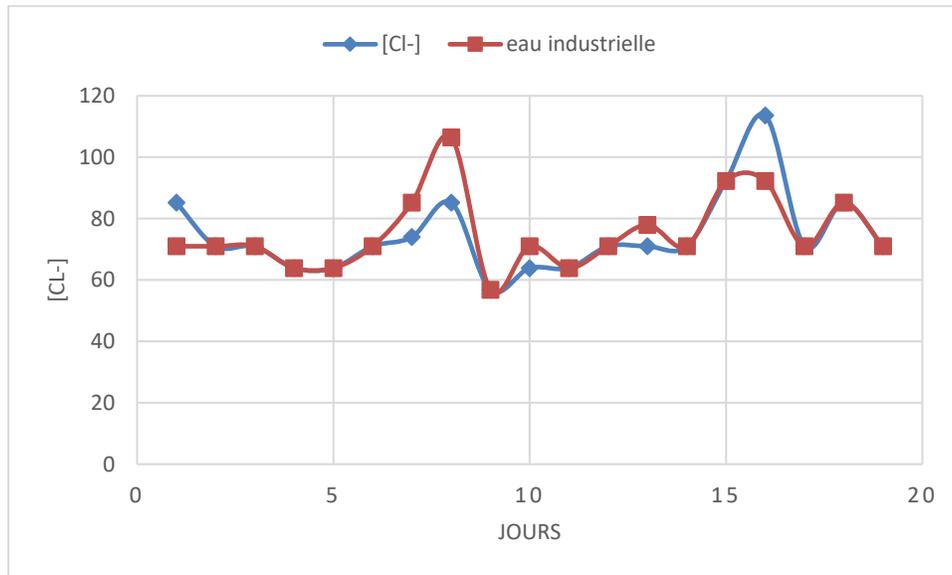


Fig 6. 6- Variation des chlorures dans l'eau brute et industrielle

✓ Suivant la figure VI.6 qui représente la variation des chlorures dans l'eau, Sur la figure on observe que les chlorures varient peu dans les deux types d'eaux de la même façon au cours de la période d'étude, avec des augmentations sensibles. Cette variation est due au degré de minéralisation des eaux en cette période. Les valeurs en chlorures dans les deux types d'eau étudiées sont inférieures à la norme fixée à 250 mg/L.

❖ TDS :

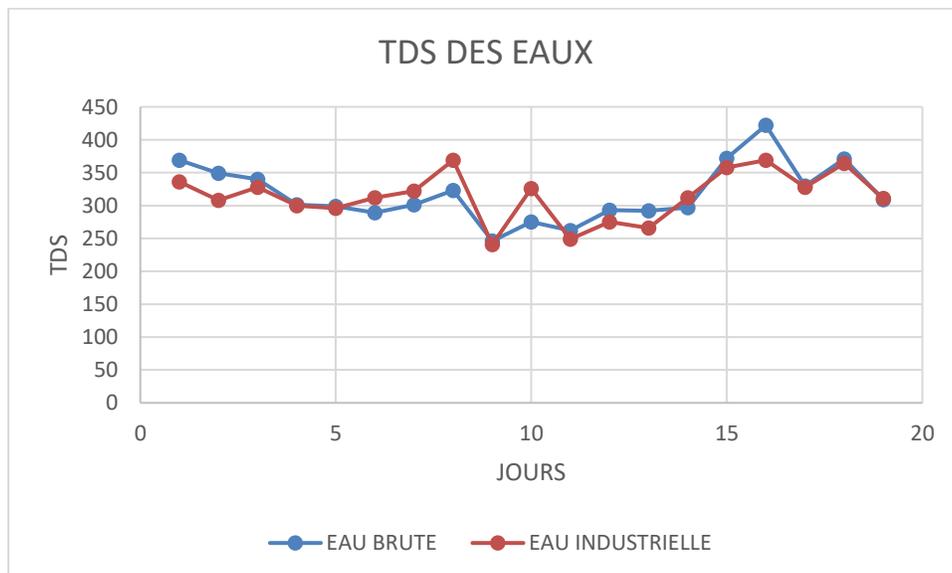


Fig 6. 7-Variation de TDS de deux eaux (brute et industrielle)

✓ On remarque, à partir de la figure VI.7 qui représente la variation de taux des sels dissous, que l'allure des deux types d'eau est typiquement la même.

Il en ressort que les valeurs des taux de sels dissous sont inférieures à 450 mg/L. En effet, leurs minéralisations sont acceptables du moment qu'elles répondent aux normes de 300- 1000mg/L.

❖ La conductivité :

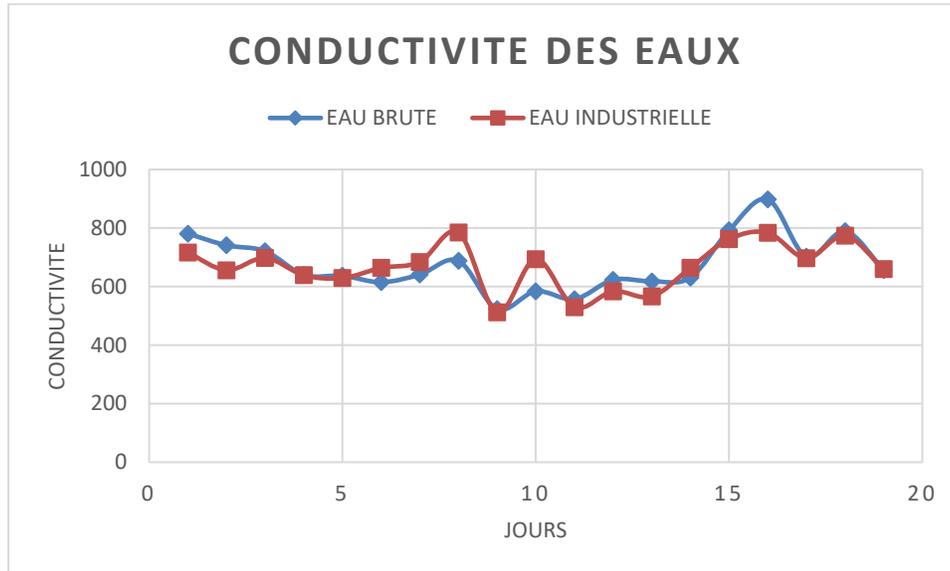


Fig 6. 8-Variation de la conductivité électrique de deux eaux (brute et industrielle)

✓ On remarque d’après la figure VI.8 que les deux types d’eau ont presque la même allure avec une petite variation d’écart.

Les valeurs de la conductivité électrique de tous nos échantillons d’eaux sont comprises entre 512 -898 $\mu\text{s}/\text{cm}$. On peut conclure qu’elles ont des propriétés électriques qui sont conformes aux normes ($<2800 \mu\text{s}/\text{cm}$).

En effet, une conductivité élevée se traduit soit par des pH anormaux, soit par une salinité élevée.

❖ MES :

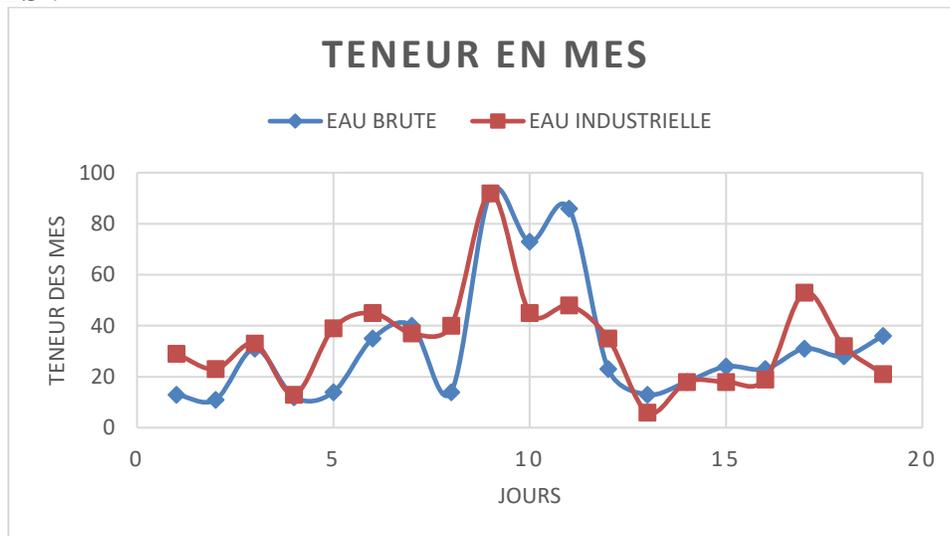


Fig 6. 9-Variation de MES de deux eaux (brute et industrielle)

✓ D’après la figure VI.9, on peut dire que la teneur des matières en suspension dans les deux eaux est variable. Les teneurs élevées de MES ne respecte pas la norme (inférieure à 20 mg/L). Cela est dû à l’absence des décanteurs et/ou peut être à une coagulation incomplète. Une décantation insuffisante entraînera un colmatage prématuré des filtres et une mauvaise qualité de l’eau.

❖ La température :

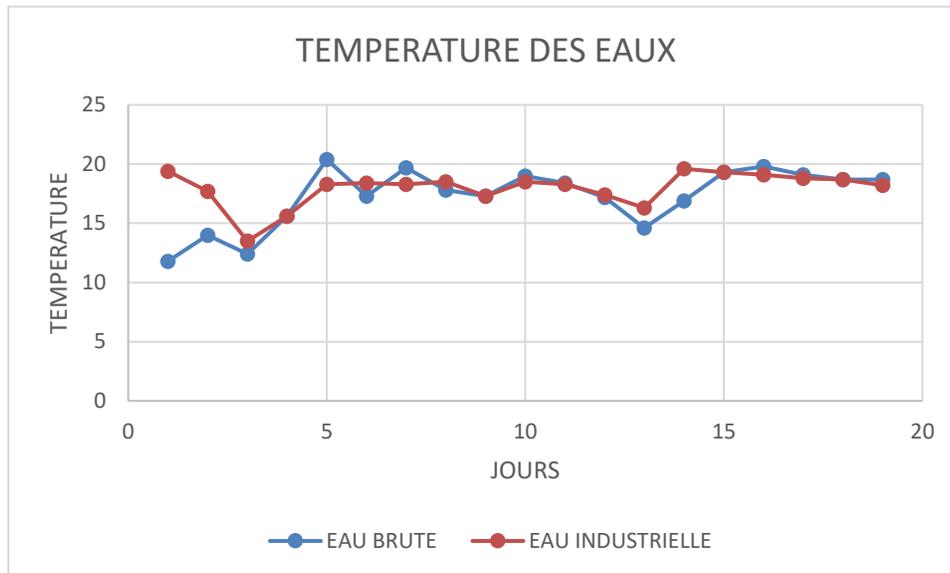


Fig 6. 10-Variation de la température de deux eaux (brute et industrielle)

- ✓ La température est un paramètre très important dans l'analyse de l'eau. Globalement la température des eaux étudiées suit celle de l'air qui dépend des conditions climatiques saisonnières puisque les deux eaux sont ouvertes à l'air ambiant. D'après la figure VI-10, on observe que les températures sont entre 11,8 et 20,4°C et sont dans les normes, c'est la période de transition entre les périodes froide et chaude.

❖ Le pH :

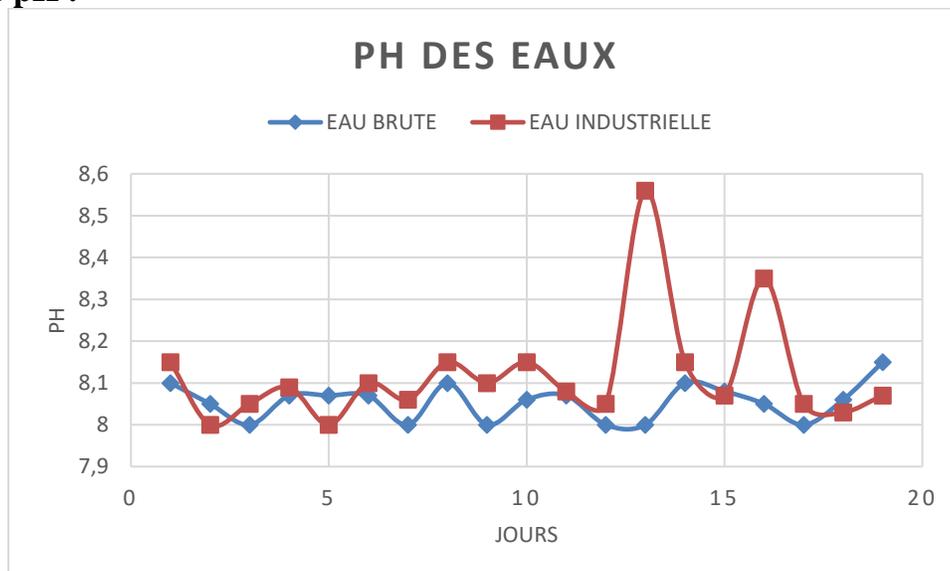


Fig 6. 11-Variation du pH de deux eaux (brute et industrielle)

- ✓ On remarque que les valeurs de pH de tous nos échantillons sont basiques. Cela est expliqué par une élévation de température qui engendre une augmentation du CO₂ dissous provoquant ainsi une hausse du pH.

VI.8 Détermination du caractère de l'eau d'alimentation :

VI.8.1 Expression des résultats :

On connaît depuis longtemps le rôle joué par le gaz carbonique dans l'équilibre des bicarbonates de calcium en solution dans l'eau.



La réaction précédente montre bien que le départ d'une certaine quantité de CO₂ déplace l'équilibre et conduit à la formation de carbonate de calcium très peu soluble, le gaz carbonique libre est donc un facteur déterminant de l'équilibre physico-chimique d'une eau.

Toutefois, les travaux de nombreux auteurs (HOOVER, LANGELIER, LARSON & DUSWELL, etc...) ont permis d'établir que d'autres facteurs y jouent un rôle important, tels que la teneur en calcium, l'alcalinité, le pH, la totalité des sels dissous et la température [27].

Il suffit donc que l'un ou plusieurs de ces éléments subissent une modification quelconque pour que l'équilibre physico-chimique de l'eau varie, avec comme conséquence une augmentation de ses tendances à l'incrustation ou l'agressivité.

Afin d'étudier, et surtout de prévoir le comportement d'une eau donnée, on a introduit la notion théorique du pH d'équilibre ou pH de saturation, appelé pH_s ; valeur de pH correspondant à un équilibre physico-chimique parfait des bicarbonates de calcium en solution, et donc à la disparition de toute tendance incrustante ou agressive.

Le pH_s est généralement déterminé à l'aide de la formule établie par LANGELIER :

$$\text{pH}_s = (\text{pK}'_2 - \text{pK}'_s) + \text{pCa} - \text{pAlc} \quad (2)$$

Où :

K'2 : Constante dérivée de K₂, deuxième constante de dissociation du gaz carbonique

K'S : Constante dérivée de K_s, produit d'activité du carbonate de calcium

pCa : Cologarithme de la concentration molaire en ion calcium

pAlc : Cologarithme de l'alcalinité totale (TAC) exprimée en équivalent g/L.

Comme on le voit, le calcul du pH_s d'une eau dépend de sa teneur en bicarbonates (pAlc), en sels de calcium (pCa) et du paramètre (pK'2 - pK's) qui varie avec la salinité totale, la force ionique et la température.

De nombreux abaques, diagrammes, etc. ont été déterminés à partir de cette formule, pour permettre un calcul rapide. Toutefois, la formule de LANGELIER a été modifiée et simplifiée par LARSON et BUSWELL comme suit : $\text{pH}_s = 9,3 + \text{A} + \text{B} - (\text{C} + \text{D})$ (3)

Où : A = Facteur de TDS (totalité des sels dissous) B =

Facteur de température

C = facteur de dureté du calcium exprimé en °f

D = Facteur d'alcalinité totale (au méthylorange) TAC exprimé en °f.

Ainsi, directement à partir d'une analyse de l'eau, les tables annexées 02 permettent le calcul du pH de saturation.

Afin d'obtenir des indications plus précises sur la tendance agressive ou entartrant de l'eau, on utilise la notion d'indice de stabilité « indice de RYZNAR », qui est définie à partir de la relation suivante :

$$I_R = 2 \text{ pH}_s - \text{pH} \quad (4)$$

Cet indice permet non seulement de différencier aisément et sans erreur, une eau entartrant d'une eau agressive ou d'une eau stable, mais aussi d'évaluer l'importance de l'entartrage ou de l'agressivité comme le montre le tableau suivant :

Tab 6. 3-Tendances de l'eau selon l'indice de RYZNAR [29]

Les valeurs d' I_R	Caractère de l'eau
$I_R < 3.7$	Très entartrant
$3.7 < I_R < 6.4$	Moyennement entartrant
$6.4 < I_R < 6.65$	Légèrement entartrant
$I_R = 6.65$	A l'équilibre
$6.65 < I_R < 6.9$	Légèrement corrosive
$6.9 < I_R < 8.7$	Moyennement corrosive
$I_R > 8.7$	Très corrosive

VI.8.2 Exploitation des résultats :

D'après les résultats d'analyse, annexe 01 de l'eau d'alimentation, on observe que les valeurs de TA sont nulles tandis que les TAC ne sont pas toujours nulles, mais dans les normes ce qui signifie que l'eau d'alimentation est bien traitée et ne contient pas des ions. Pour cela on ne peut pas faire les calculs pour déterminer le caractère de l'eau d'alimentation.

On a donc suivi le caractère de l'eau de chaudière qui peut être exploité par les relations qu'on a défini auparavant.

VI.8.3 Détermination du caractère de l'eau de chaudière :

VI.8.4 Expression des résultats :

On a suivi le caractère de l'eau de chaudière, et les résultats sont indiqués dans le tableau suivant :

Tab 6. 4-Résultats des calculs de l'indice de RYZNAR

pH	A	B	C	D	pH _s	I _R
11,83	0,1	2,1	1,3	1,9	8,3	4,77
11,69	0,1	2,2	1,2	2	8,4	5,11
11,79	0,1	2,2	1,2	1,9	8,5	5,21
11,85	0,1	2	1,1	2	8,3	4,75
12,05	0,1	2	1,1	2	8,3	4,55
11,78	0,1	2,1	1,3	1,9	8,3	4,82
11,87	0,1	2,1	1,1	1,9	8,5	5,13
11,44	0,1	2,1	1,2	1,8	9,3	7,16
11,73	0,1	2,1	1,1	1,9	8,5	5,27
11,43	0,1	2,1	1,2	1,9	8,4	5,37
11,75	0,1	2,1	1,1	1,9	8,5	5,25

11,67	0,1	2,1	1,1	1,9	8,5	5,33
11,30	0,1	2,1	1,2	1,6	8,7	6,1
11,37	0,1	2,1	1,1	1,9	8,5	5,63
11,89	0,1	2	1,2	2,1	8,1	4,31
11,68	0,1	2,1	1,1	1,9	8,5	5,32
11,80	0,1	2,1	1,1	1,9	8,5	5,20
11,74	0,1	2,1	1,1	1,9	8,5	5,26

On note que les valeurs de TDS sont toujours inférieures à 425 ppm.

VI.8.5 Exploitation des résultats :

A partir des résultats de l'indice de RYZNAR obtenus du tableau précédent, on détermine IR moyen et on trouve $IR_{moy} = 5,25$; ce résultat montre, qu'en général, d'après l'exploitation du **tableau VI.3**, que l'eau de chaudière est moyennement entartrant, ce qui favorise les problèmes de formation d'un léger tartre sur les équipements de la chaudière.

VI.8.6 Etude de l'évolution des teneurs de la chaudière :

On enrichit notre étude par les figurations des évolutions des paramètres mesurés, dont les valeurs sont sur les relevés des analyses **annexées 01**, afin de les interpréter sur les conséquences de leur distribution en chaudière.

VI.8.7 Représentation graphique et discussions des résultats :

On représente graphiquement les résultats des caractéristiques de l'eau d'alimentation.

❖ **Variation du pH :**

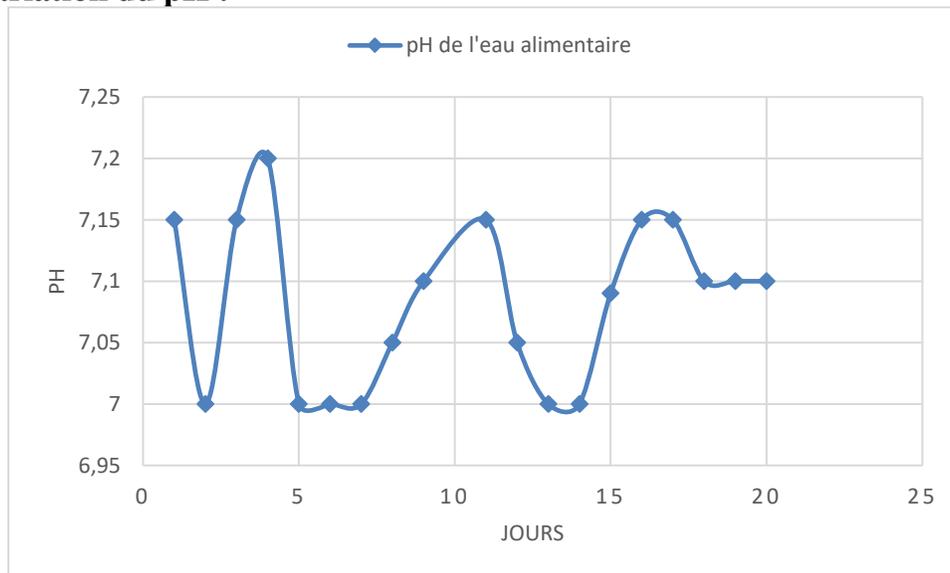


Fig 6. 12-Variation du pH de l'eau d'alimentation en fonction du temps

- ✓ D'après les résultats obtenus on observe que, les valeurs du pH de l'eau alimentaire, adaptant les normes, traduisent un bon traitement d'élimination de tous les ions.

❖ **Variation de la conductivité :**

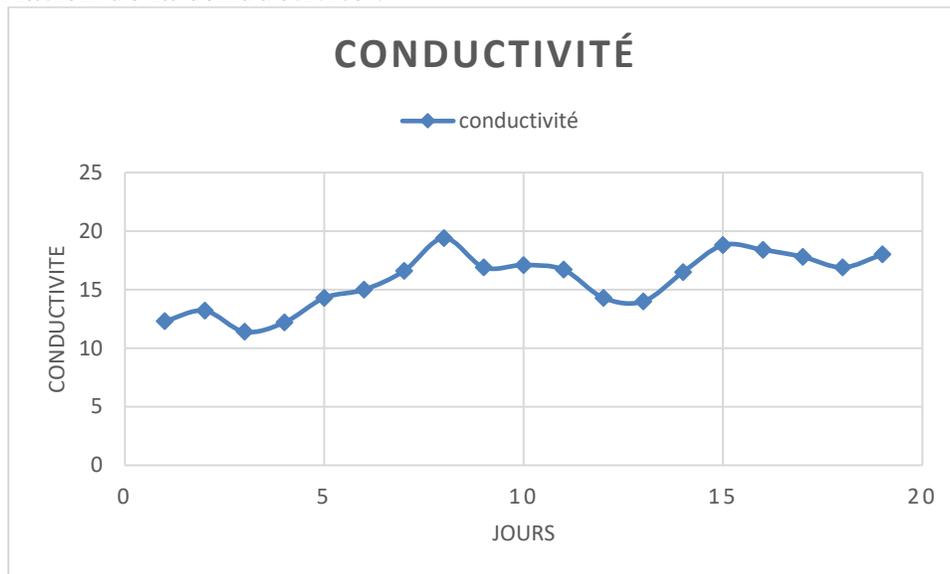


Fig 6. 13-Variation de la conductivité de l'eau d'alimentation en fonction du temps

- ✓ On observe que les valeurs de la conductivité dans l'eau déminéralisée sont dans les normes, ceci s'explique par une bonne qualité de l'eau déminéralisée, donc elle permet son utilisation dans les chaudières.

❖ **Variation du pH :**

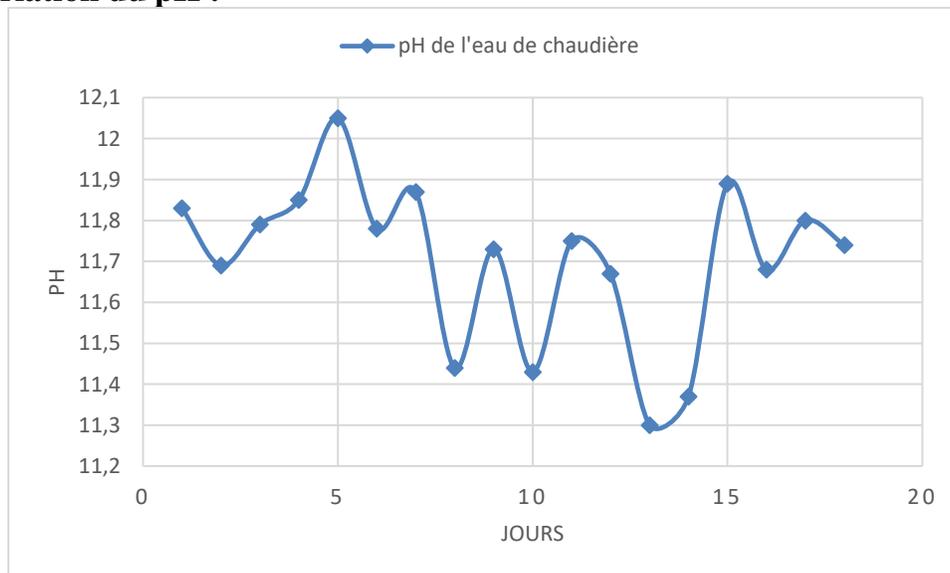


Fig 6. 14-Variation du pH de l'eau de chaudière

- ✓ Le pH de l'eau de la chaudière étudié varie entre 11,30 et 12,05 pendant la période de notre étude et a de fluctuation aléatoire. La valeur préconisée pour le bon fonctionnement de la chaudière est de 9 à 9,50.

❖ **Variation de la conductivité :**

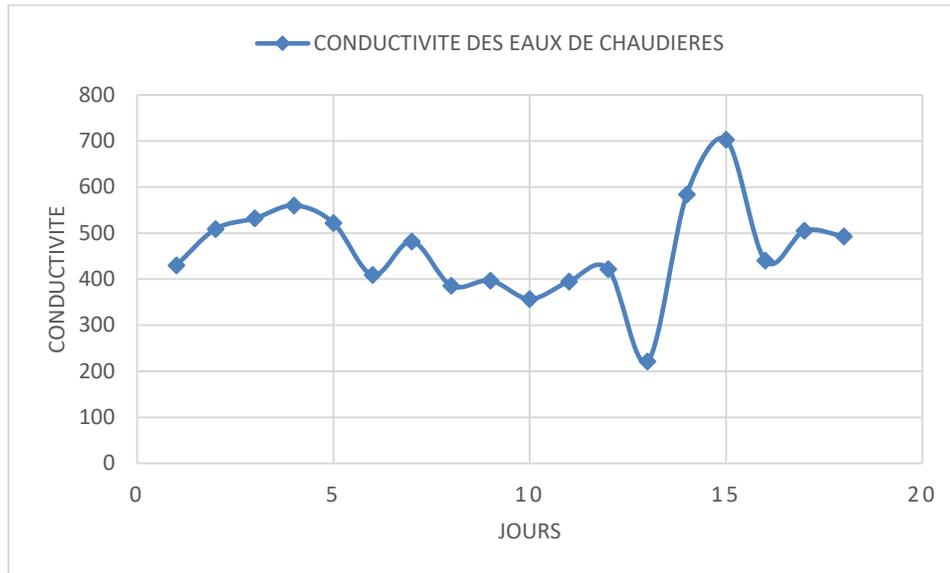


Fig 6. 15-Variation de la conductivité de l'eau de la chaudière en fonction du temps

- ✓ La conductivité étant liée à la présence des sels dissous dans l'eau. Les valeurs respectent la norme, cela ne favorise aucun entrainement des sels avec la vapeur et aucune répercussion sur la consommation énergétique de l'usine.

❖ **Variation de la concentration des chlorures :**

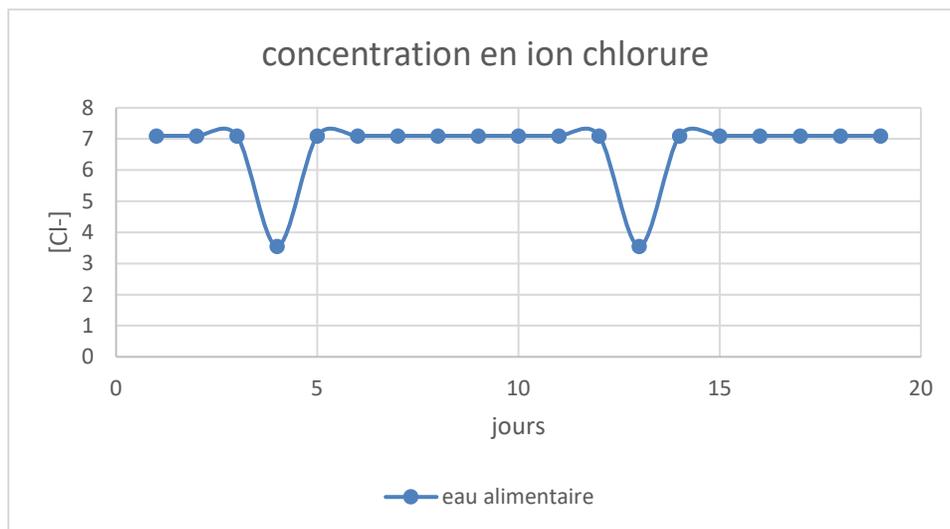


Fig 6. 16-Variation de la concentration du Cl- dans l'eau d'alimentation en fonction du temps

- ✓ Le chlore est un élément très agressif ; d'après la courbe on remarque la présence des chlorures avec une teneur qui respecte les normes exigées (36-45mg/l), cela ne provoquera pas des dommages dans le circuit.

❖ **Variation de la concentration des chlorures :**

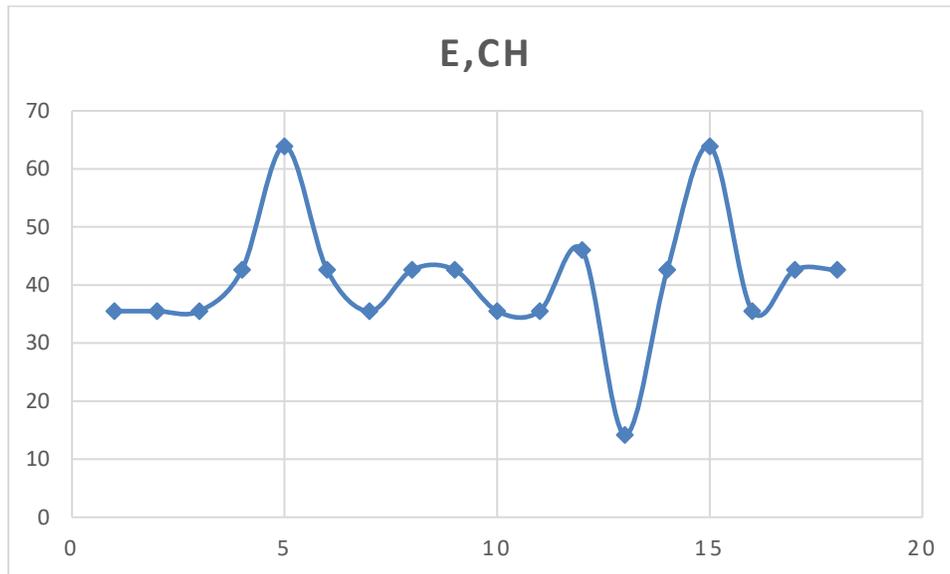


Fig 6. 17-Variation de la concentration de Cl- dans l'eau de chaudière en fonction du temps

- ✓ Le chlore est un élément très agressif ; d'après la courbe on remarque la présence des chlorures avec une teneur qui dépasse les normes exigées (36-45mg/l) pour certaines valeurs, cela provoquera forcément des dommages dans le circuit, et peut par conséquent va provoquer une corrosion par piqûres.

❖ **Variation de la concentration de silice :**

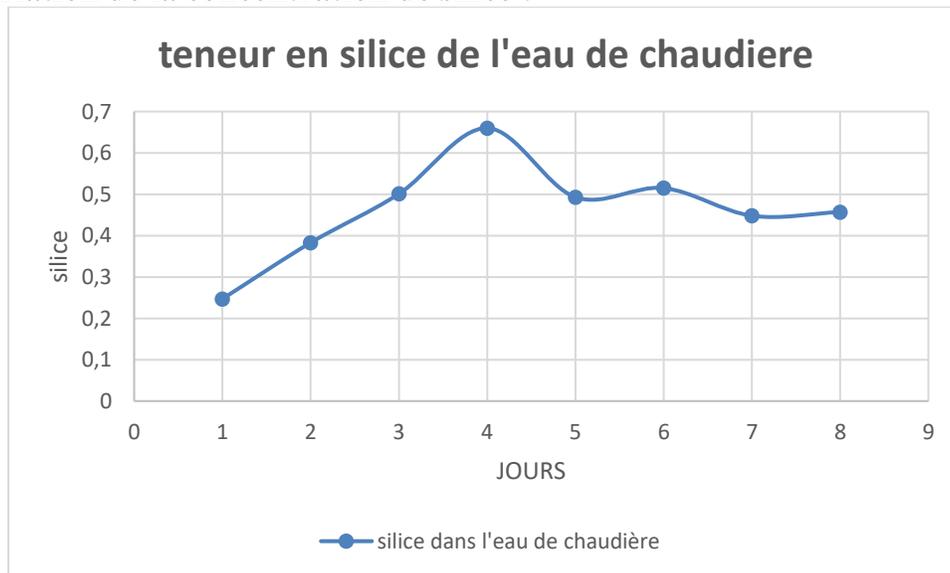


Fig 6. 18-Variation de la concentration de la silice dans l'eau de la chaudière en fonction du temps

- ✓ La silice est un élément très agressif. On remarque que la silice est en quantité très faible par rapport à la norme (< 2), cela signifie qu'il n'y a pas des risques de dépôt de silice sur les parois de la chaudière qui provoque le point chaud ou aération différentiel.

VI.9 Conclusion :

Dans le but de contrôler la qualité de l'eau d'alimentation de zone fluide du complexe sidérurgique d'El-Hadjar-Annaba, une analyse physico-chimique de l'eau brute et industrielle a été prévue.

Les résultats obtenus montrent que le TAC de l'eau brute et industrielle ainsi que les MES de l'eau brute dépassent les normes. Le pH des deux eaux est alcalin. D'après la valeur de la dureté totale de deux eaux on peut dire qu'elle est moyennement dure. Les chlorures, TDS et conductivité sont des paramètres qui ont des valeurs dans les normes pour les deux types d'eaux. La température des deux eaux est froide (période Mars 2023).

Dans le but d'avoir une eau distribuée dans l'industrie, l'eau industrielle est ensuite traitée par ultrafiltration. L'eau ultra-filtrée est ensuite dessalée dans l'osmose inverse OI. D'après les résultats du traitement, on observe que l'eau a un pH basique, la chute des

teneurs en sels dissous et les autres paramètres tels que le TA, TAC, TH et la conductivité indiquent que la membrane filtre l'eau convenablement.

CONCLUSION GENERALE

Au cours de ce travail, qui a fait l'objet de ce mémoire, l'accent a été mis sur la qualité des eaux alimentaires de chaudière de la zone fluide du complexe sidérurgique d'El-Hadjar- Annaba. Pour cela, le suivi de l'analyse des différents paramètres physico-chimiques pour l'eau brute et industrielle a contribué afin d'établir le contrôle. Ensuite, l'eau industrielle est acheminée au niveau de la zone fluide du complexe vers un traitement membranaire par ultrafiltration UF et puis par osmose inverse OI pour obtenir l'eau déminéralisée qui sert à l'alimentation de cette chaudière.

Les résultats des analyses obtenus des eaux brutes et industrielles en ressort clairement, que la plupart des paramètres qu'on a suivi tels que : TA, TAC, pH, les chlorures et les sels dissous, sont dans les normes cela montre un bon traitement de l'eau brute, mais les résultats d'analyse de TH, pour les deux types d'eaux et le pH de l'eau de chaudière montrent qu'ils dépassent les normes.

Les résultats précédents nous ont révélés clairement le caractère des eaux de chaudière de la zone fluide du Complexe; effectivement, au cours de notre période d'étude, elles présentent, en générale, un caractère modérément entartrant, caractérisé par l'indice de Ryznar moyennement de 5,25.

Les valeurs de TAC, de conductivité et de pH de l'eau de purge sont dans les normes, il en va de même pour l'eau d'alimentation où les résultats obtenus sont aussi dans les normes ce qui résulte que cette eau est bien traitée et ne contient pas des ions.

Concernant les fluctuations de la conductivité de l'eau de chaudière, elles sont dues essentiellement à :

- La qualité d'eau brute qui provient du barrage habituel de CHAFFIA (Annaba) au cours du mois de mars 2023. Ce type de qualité d'eau brute présente des difficultés quant à son traitement par l'inexistence de deux décanteurs et le procédé existant (coagulation/floculation, décantation et filtration à sable) se répercutant, par la suite, sur la qualité d'eau alimentaire de la chaudière. Ainsi une coagulation incomplète entraînera une mauvaise rétention des matières colloïdales sur le filtre d'où une stérilisation difficile et une dégradation des caractères organoleptiques. Une décantation absente entraînera un colmatage prématuré des filtres.

Nos constats de cette étude, en générale, ne sont qu'une minimisation des dépôts de tartres et de corrosion dans les installations de production de vapeurs. Un bon traitement des eaux industrielles avant l'entrée dans la chaudière protège celle-ci contre l'attaque agressive de l'eau.

On peut donc relater, que le contrôle et le conditionnement de l'eau d'alimentation sont un concept très important pour protéger les équipements contre les phénomènes d'entartrage et de corrosion.

En conclusion et d'après les résultats obtenus, l'évolution des teneurs dans les eaux de chaudière est normale car l'augmentation de la température et ainsi l'injection des produits chimiques entraînent spontanément à une augmentation des teneurs de certains éléments dans cet équipement; donc cette évolution n'a aucune relation avec l'eau d'alimentation car celle-ci est bien traitée et vivote dans les normes d'une bonne marche de l'équipement de chaudière.

On propose pour mieux contrôler la qualité des eaux (brutes et industrielles) à :

- Réparer des deux décanteurs non fonctionnels de la Zone fluide ainsi que les filtres à sable ;
- Remettre en service le système de purge automatique ;
- Faire des analyses physico-chimiques sur site pour accélérer les systèmes de correction ;
- Faire les analyses de pentoxyde de phosphore (P_2O_5) et de la soude (NaOH) au niveau de laboratoire car ce sont des paramètres très importants pour le suivi de la qualité de l'eau de chaudière.
- Enfin nous suggérons une augmentation de la durée du stage pratique de 45 jours ;

L'élaboration de ce mémoire nous a permis d'enrichir nos connaissances pratiques dans le domaine industriel, et particulièrement dans le domaine de traitement des eaux et de production de vapeur à travers le stage effectué à la zone fluide, spécialisée dans le traitement des eaux brutes et industrielles pour la production de vapeur.

VII BIBLIOGRAPHIE

- [1] : C. Menjeaud, M. Pontié, and M. Rumeau, Mécanismes de transfert en osmose inverse, *Entropie*, vol. 29, no. 179, pp. 13–29, 1993.
- [2] : K. Wucherpennig, Possibilités d'utilisation de processus membranaires dans l'industrie des boissons (osmose inverse, ultrafiltration, électrodialyse), *Bulletin*, 1980.
- [3] : A. Tahar, Etude et l'optimisation de la maintenance de la COX du complexe SIDER EL HADJAR, Mémoire master, Université Badji Mokhtar, ANNABA, 2017.
- [4] : Document technique (zone fluide) : paramètres physicochimiques des eaux brutes et industrielles.
- [5] : Document technique (zone fluide) : paramètres physicochimiques des eaux brutes et industrielles.
- [6] : *Traité de l'environnement. Technique de l'ingénieur. Volume G1210.*
- [7] : Z. Bouzelifa et S. Medjani., Analyse et contrôle de la qualité de l'eau adoucie de refroidissement de l'ACO1 (MittalSteel) ». Mémoire de fin d'études. Département génie des procédés.
- [8] : *Mémento technique de l'eau. Processus élémentaire du génie physico-chimique en traitement de l'eau. Tome 1.*
- [9] : A. Bousnobra et F. Boudib, Influence de la qualité d'eau sur les circuits de refroidissement au niveau de l'ACO2. Mémoire de fin d'études. Département de chimie Université Badji Mokhtar-Annaba, 2000.
- [10] : Cour master 2 procédés d'adsorption et procédés membranaire : osmose inverse.
- [11] : Samuel Dotou. « ETUDE DES CHAUDIERES A EAU CHAUDE ET A VAPEUR D'EAU : technologie.
- [12] : K. Benaliouch. suivi de la qualité de l'eau pour l'alimentation de la chaudière de la zone- est du complexe sidérurgique d'el Hadjar. Mémoire de fin d'études. Département de génie des procédés université badji Mokhtar Annaba 2019.
- [13] : GHEMARI, Hayette BAIR et Fayçal. « Techniques et méthodes de traitement des eaux primaires ». Mémoire en Chimie et Spécialité : Chimie analyses, Université Abderrahmane Mira. Bejaïa (2016) : s.n.
- [14] 1. J.J. Baron-chaudière- *Technique de l'ingénieur. EDISTA.*
- [15] : Christophe Alleau, 13-9-2009, extrait « chaudières à vapeur à combustible ».
- [16] : M. PHILLIPE-« chaudière de récupération technique de l'ingénieur », génie énergétique, volume W1, Ed ISTA 1980.
- [17] : PELLEGRIN, Bastien. « Analyse multi-échelle de la dégradation de membranes d'ultrafiltration en polyethersulfone / poly (N-vinyl pyrrolidone) en conditions d'usage ». thèse de doctorat en Génie des Procédés et Environnement, université de Toulouse 2013 : s.n.
- [18] : SAGNE, Camille. « Etude des mécanismes de transfert de molécules organiques en osmose

- inverse. Application au recyclage des condensats issus de la concentration des vinasses de distilleries », Thèse de doctorat en Génie des Procédés, Université de Montpellier.
- [19] : Manuel de formation ingénieur du GL1/Z, module 4: traitement de l'eau, 1993.
- [20] : Document du complexe GL1/Z . Objet : Suivi des chaudières combustion et rendement,18 Février 1992.
- [21] : J.RODIER 7^{ème} édition 1987 « analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaire, eaux de mer chimie physique –chimique, bactériologie ».
- [22] : N. Lokchiri, Etude analytique et statistiques de l'eau d'alimentation et de l'eau de chaudière du GL1K de SKIKDA, Mémoire de master génie de l'environnement, Département de génie des procédés.
- [23] C. Kezzoula, Suivi de la qualité des eaux de la zone EST du complexe SIDERURGIQUE D'EL HADJAR, Mémoire de master génie de l'environnement, Département de génie des procédés. Université Badji Mokhtar, Annaba, 2018.
- [24] : F.MORAN « Chauffage climatisation installation sanitaire et traitement des eaux », Ed Parisienne, 2002.
- [25] : K. Reggab, contribution à l'évaluation de la charge polluante des eaux résiduaires industrielles de fertial à travers une approche analytique, Mémoire de Master, Génie des procédés de l'environnement, UNIVERSITE BADJI MOKHTAR, ANNABA, 2016.
- [26] : G. Benamira, K. Hoggas, et H. Boulehbaie, Traitement des eaux pour la production de la vapeur dans une chaudière (BABCOCK), mémoire de fin d'étude. Département de chimie, Université Badji Mokhtar-Annaba,2003.
- [27] : https://protec.pagesperso-orange.fr/26_index_de_stabilite_des_eaux.htm, consultée le 29-.
- [28] : Farida HARRLEKAS. « Couplage des procédés membranaires aux techniques physicochimiques ou biologiques pour le traitement des rejets liquides de l'industrie textile » . thèse de doctorat en Génie des Procédés et des produits, . Université Cadi , Marrak.
- [29] : TAMAS, Adrian Paul. « Étude comparée du colmatage en nano filtration et en ultrafiltration d'eau de surface » . Mémoire de Master en Génie Civil, . Université Laval, : s.n., Québec (2004).
- [30] : Lydia ADJED et Lydia BENANOUNE. « Etude de Colmatage des Membranes d'Osmose Inverse du Complexe de CEVITAL-Bejaia », . Mémoire de Master en Génie des Procédés de l'Environnement, Université Abderrahmane Mira,. Bejaïa : s.n., (2018).
- [31] : « Les procédés membranaires pour le traitement de l'eau ». MINISTERE DE L'AGRICULTURE, DE L'ALIMENTATION, DE LA PECHE ET DES AFFAIRES RURALES Direction de l'Espace Rural et de la Forêt. DOCUMENT TECHNIQUE FNDAE N°14 FONDS NATIONAL POUR LE DEVELOPPEMEN.
- [32] : https://www.researchgate.net/figure/Membrane-classification_fig10_306388322 . [Citation : 23 04 2019.],.
- [33] : [Alain, 2001] : Alain RIOU et Jean-Pierre DEPAUW. Différents types de chaudières industrielles, collection Techniques de l'Ingénieur, traité Génie énergétique, Mars 2001.
- [34] : <http://www.wreck.fr/guilcher.htm>, [Guilcher 1923] : historique et classification des chaudières.

ANNEXE 01 : METHODES ANALYTIQUES

Détermination de l'alcalinité (Titre alcalimétrique et titre alcalimétrique complet) :

1. Principe :

Ces déterminations sont basées sur la neutralisation d'un certain volume d'eau par un acide minéral dilué, en présence d'un indicateur coloré, mesurés par la méthode volumétrique appliquée au laboratoire central Arcelor –Mittal (sider)

2. Réactifs :

- Acide sulfurique à 0.02N
- Phénolphtaléine à 0.5%
- Méthylorange à 0.5%

3. Mode opératoire :

a). Détermination de TA :

- On prélève 100 ml d'eau à analyser dans un erlenmeyer.
- On ajoute 2 à 3 gouttes de phénolphtaléine.
- Une coloration rose doit alors se développer ; dans le cas contraire le TA est nul.
- On verse ensuite lentement l'acide sulfurique dans l'erlenmeyer à l'aide d'une burette graduée, en agitant constamment jusqu'à décoloration complète de la solution. Le pH est alors de l'ordre de 8,3.
- On lit directement sur la burette le TA exprimé en degré français (°F).

b). Détermination de TAC :

- On utilise l'échantillon traité précédemment, ou la prise d'essai primitif s'il ya pas eu de coloration.
- On ajoute deux à trois gouttes de solution de méthylorange, on verse ou on continue à verser à l'aide de la burette le même acide, en agitant constamment, jusqu'au virage du jaune au jaune orangé. Le pH est alors de l'ordre de 4,3.
- On note le volume lu à la burette au moment du nouveau virage.

4. Expression des résultats :

V 1 : volume d'acide en millilitres lu à la burette et exprime le TA en °F.

V 2 : volume d'acide en millilitre lu à la burette.

Retrancher ce volume V2 de 0.5 ml correspond à la quantité d'acide nécessaire pour le virage de l'indicateur, qui est un peu plus faible que le pH de neutralisation des bicarbonates.

Par conséquent $V2 - 0.5$ exprime le TAC en °F

Pour convertir, ensuite, le TA et le TAC en milligrammes de CaCO_3 au litre, on a :

1°F = 10mg de CaCO_3 /L



Fig 7. 1-Dosage volumétrique du TA et TAC

Détermination du titre hydrotimétrique TH :

1. Principe :

La détermination du TH est basé sur la formation de complexes entre les alcalino-terreux et le sel disodique de l'acide éthylène diamine tétra acétique (EDTA) en présence de noir ériochrome T en milieu tamponné.

2. Réactifs :

- Sel disodique de l'acide éthylène diamine tétra acétique : solution à 0.01 N ;
- Solution indicateur noir ériochrome T
- Solution tampon ammoniacale (pH 10).

3. Mode opératoire :

- On prélève 100ml d'eau à analyser dans un erlenmyer;
- On verse environ 2ml de la solution tampon ;
- On ajoute 4 à 5 gouttes de noir ériochrome T ;
- Si la coloration est bleue nous concluons une absence de calcium (Ca) et magnésium (Mg) ;
- Si la coloration est rose violet, nous déduisons une présence de calcium (Ca) et magnésium (Mg) dans l'échantillon étudié ; pour ceci, il sera nécessaire de procéder à un titrage avec l'EDTA jusqu'à l'obtention de la coloration bleue.
- On lit directement sur la burette le TH exprimé en degré français (°F).

4. Expression des résultats :

V : volume de la solution d'EDTA lu à la burette et qui exprime le TH en °F.

Pour convertir le TH en milligrammes de CaCO₃ au litre, on a : **1°F = 10mg de**

CaCO₃ /L



Fig 7. 2-Dosage volumétrique du TH

Dosage de la dureté calcique TCa^{2+} et magnésienne TMg^{2+} :

1. Principe :

La détermination du TCa^{2+} est basée sur la formation de complexes entre les ions calcium et le sel disodique de l'acide éthylène-diamine tétraacétique (EDTA) en présence de calcone carboxylique en milieu tamponné.

2. Réactifs :

- Hydroxyde de potassium 20% (solution tampon pH 12)
- Sel disodique de l'acide éthylène diamine tétraacétique : solution à 0.01 N ;
- Acide calcone carboxylique (indicateur coloré).

3. Mode opératoire :

- Prélever 100 ml d'eau à analyser ;
- Ajouter 2ml de KOH et environ 0.4 g de l'indicateur ;
- Mélanger et doser immédiatement. Ajouter la solution d'EDTA tout en continuant d'agiter;
- Verser lentement en fin de dosage, le virage est atteint lorsque la couleur devient nettement bleue.
- On lit directement sur la burette le TCa^{2+} exprimé en degré français ($^{\circ}\text{F}$).

4. Expression des résultats :

V : volume de la solution d'EDTA lu à la burette et qui exprime le TCa^{2+} en $^{\circ}\text{F}$.
 Pour convertir le TH en milligrammes de CaCO₃ au litre, on a : **1 $^{\circ}\text{F}$ = 10mg de CaCO₃ /L**



Fig 7. 3-Dosage volumétrique du Tca++

Dosage des chlorures :

1. Principe :

C'est le dosage du chlore combiné à des chlorures par le nitrate d'argent, en présence de chromate de potassium comme indicateur.

2. Réactifs :

- Chromate de potassium (K_2CrO_4) à 5% (indicateur) ;
- Nitrate d'argent ($AgNO_3$ à 0.1 N).

3. Mode opératoire :

- Prélever 100 ml d'eau à analyser ;
- Ajouter 1 ml de chromate de potassium ;
- Dans le cas où la coloration est rouge brique nous concluons une absence des chlorures.
- Si la coloration est jaune, nous déduisons une présence des chlorures dans l'échantillon étudié ; pour ceci, il sera nécessaire de procéder à un titrage avec le nitrate d'argent à 0.1 N jusqu'à l'apparition d'une teinte rouge brique.
- On lit directement sur la burette le volume de nitrate d'argent.

4. Expression des résultats :

V : Volume de nitrate d'argent lu directement sur la burette dont la teneur en ions chlorures est mesuré par la relation : Cl^- (en mg/L) = V nitrate d'argent en ml \times 35,5

Avec : V: volume du nitrate d'argent en ml ; 35,5 : est la masse molaire du chlorure (Cl^-)



Fig 7. 4-Dosage volumétrique du Cl-

Détermination du pH :

1. Principe :

Le pH de l'eau à analyser est déterminé à l'aide d'un pH mètre équipé d'une électrode de verre étalonnée.

2. Le pH mètre :

Le pH mètre est constitué d'une électrode que l'on plonge dans la solution dont on veut connaître l'acidité ; les valeurs du pH s'affichent alors sur l'écran du pH-mètre.

L'électrode doit être bien rincée à l'eau distillée avant chaque mesure et l'appareil doit être régulièrement étalonné pour que les mesures soient fiables.

3. Expression des résultats :

Les résultats sont exprimés en unités de pH à la température de l'eau.



Fig 7. 5-Couple pH- mètre concort "C832"/Conductimètre

Détermination de la conductivité :

1. Principe :

La conductivité de l'eau à analyser est déterminée à l'aide d'un conductimètre muni de deux électrodes de verre étalonnées.

2. Le conductimètre :

Cet appareil de mesure est constitué d'une électrode que l'on plonge dans la solution dont on veut connaître la salinité totale ; le résultat s'affiche sur l'écran du conductimètre.

L'électrode doit être bien rincée à l'eau distillée avant chaque mesure et l'appareil doit être régulièrement étalonné pour que ses mesures soient fiables.

3. Expression des résultats :

Les résultats sont exprimés en unités de $\mu\text{s} / \text{cm}$ à la température de l'eau. Grâce au facteur de conversion, la conductivité sera exprimée en TDS en mg / L .



Fig 7. 6-Conductimètre "E587"

Détermination du taux de salinité :

1.Principe :

Le taux de salinité est calculé à partir de la conductivité à une température T donnée, et d'autre part la conductivité est très influencée par le pH de la solution.

2. Mode opératoire :

- Prendre la valeur du pH et la température ($T=^{\circ}\text{C}$).
- On mesure la conductivité (en $\mu\text{s}/\text{cm}$) de l'eau à analyser par un conductimètre.

3. Expression des résultats :

Selon la température et la conductivité obtenues de l'eau, on sélectionne le facteur de correction et on obtient le taux de salinité selon la relation suivante : $\text{TDS} = \text{conductivité} \times \text{facteur de correction}$

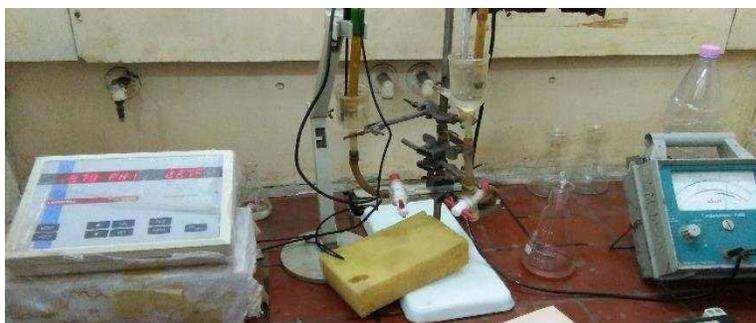


Fig 7. 7-pH mètre et Conductimétrie

Détermination des matières en suspension :

1. Principe :

L'analyse s'effectue par une méthode photométrique. La mesure se fait à l'aide d'un instrument « spectro H Dr 5000 » qui n'exige aucune étape de filtration ou pesage.

2. Mode opératoire :

- Sélectionner sur le spectrophotomètre le programme d'analyse : MES ;
- Etalonner l'appareil avant de mesurer l'échantillon ;

- Prélever dans une cuve l'échantillon d'eau à analyser ;
- La valeur de MES sera affichée directement sur l'écran de l'appareil.

3. Expression des résultats :

Les valeurs lues sur l'écran de l'appareil expriment la teneur en MES en mg /L.



Fig 7. 8-Spectrophotomètre «H Dr 5000 »

Dosage du fer total

1. Principe :

A l'ébullition l'acide chlorhydrique libère le fer sous forme ionique. Il est ensuite réduit à l'état ferreux par l'acide ascorbique et dosé colorimétriquement, en utilisant la coloration rouge donnée par les sels ferreux avec l'orthophénanthroline.

2. Réactifs :

- Solution saturée d'acétate de sodium ;
- 0,3 ml de solution d'acide ascorbique à 1% ;
- Solution d'orthophénanthroline à 0,1% ;

3. Mode opératoire :

Dans un tube à essais en pyrex prélever 10ml de l'eau à analyser. Ajouter 1ml de solution d'acide chlorhydrique et porter à l'ébullition pour assurer la solubilisation du fer, refroidir, ajuster à 10 ml avec de l'eau bidistillée bouillie, puis ajouter successivement :

- 0,5 ml de solution saturée d'acétate de sodium ;
- 0,3 ml de solution d'acide ascorbique à 1% ;
- 1 ml de solution d'orthophénanthroline à 0,1%.

Préparer un témoin avec 10 ml d'eau bidistillée. Ce témoin sera traité dans les mêmes conditions que l'essai. Laisser au repos les deux tubes à température ambiante pendant 30 min. Enfin effectuer les lectures au spectrophotomètre à la longueur d'onde de 510nm.

4. Expression des résultats :

La courbe donne la teneur en fer exprimée en mg /L.



Fig 7. 9-Spectrophotomètre « H Dr 5000 » Dosage du fer total

Dosage de silice :

1. Principe :

L'anhydride silicique donne avec le molybdate d'ammonium à pH 1,2 donne une coloration jaune due à la formation d'acide silico-molybdique. Cet acide est réduit à l'aide d'ascorbate de sodium en anhydride silico-molybdique de coloration bleue pouvant être dosée colorimétriquement à une longueur d'onde de 651 nm.

2. Réactifs :

Pour la préparation des réactifs, n'utiliser que de l'eau déminéralisée exempte de silice (conductivité inférieure ou égale à 1 μ S/cm). Les matières premières doivent être de qualité analytique.

- Molybdate d'ammonium à 100 g/L
- Acide chlorhydrique au 1/2
- Acide oxalique à 100 g/L
- Solution-mère étalon à 1000 mg/L de SiO₂
- Solution-fille étalon à 20 mg/L de SiO₂

3. Mode opératoire :

- Prélever une prise d'essai de 10 mL d'échantillon à analyser.
- Ajouter, en mélangeant, 1 mL de molybdate d'ammonium à 100 g, puis 0,5 mL d'acide chlorhydrique au 1/2.
- Attendre 5 mn. Une coloration jaune se développe.
- Ajouter, en mélangeant, 0,75 mL d'acide oxalique à 100 g/L.
- Attendre 2 mn.
- Ajouter, en mélangeant, 30 à 40 mg d'ascorbate de sodium (une pointe de spatule)
- Attendre 5 mn. Une coloration bleue se développe.
- Passer au colorimètre dans une cuve de 10 mm d'épaisseur à une longueur d'onde de 651nm.

4. Expression des résultats :

La lecture d'absorbance sur le spectrophotomètre donne directement lateneur en SiO_2 exprimé en mg/L.



Fig 7. 10-Spectrophotomètre "H Dr 5000" Dosage de la Silice

Détermination de la turbidité

1. Principe :

La turbidimétrie fait partie de la photométrie ; elle repose sur la comparaison de la lumière diffusée par les matières en suspension, détectée à 90° à celle émanant d'une solution standard de turbidité connue.

2. Mode opératoire :

- Etalonner l'appareil avant de mesurer l'échantillon d'eau ;
- Mesurer la turbidité de l'échantillon ; l'unité usuelle est le NTU (unité de turbidité nephéломétrique)

3. Expression des résultats :

Les valeurs lues sur l'écran de l'appareil expriment la valeur de la turbidité en NTU



Fig 7. 11-Turbidimètre AL450T-IR

ANNEXE 02 : RELEVES DES ANALYSES DES EAUX ETUDIEES

Tab 7. 1- Résultats des analyses de l'eau brute (Mars 2023)

Date	TA	TAC	TH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	pH	TDS	MES	T	conductivité
unités	°F	°F	°F	°F	°F	Mg/l	/	Mg/l	Mg/l	°C	µs/cm
01/03/2023	00	17,8	24,4	18,0	6,4	85,2	8,10	369	13,0	11,8	781
02/03/2023	00	17,0	23,6	17,0	6,6	71,0	8,05	349	11,0	14,0	741
05/03/2023	00	17,0	23,0	17,0	6,0	71,0	8,00	340	31,0	12,4	721
09/03/2023	00	14,2	20,2	14,2	6,0	63,9	8,07	301	12,0	15,6	640
12/03/2023	00	13,6	20,0	14,0	6,0	63,9	8,07	299	14,0	20,4	637
13/03/2023	00	13,4	19,8	13,8	6,0	71,0	8,07	289	35,0	17,3	615
14/03/2023	00	13,6	19,6	13,6	6,0	74,0	8,00	301	40,0	19,7	641
15/03/2023	00	14,6	21,0	15,0	6,0	85,2	8,10	323	14,0	17,8	688
16/03/2023	00	13,0	17,0	12,0	5,0	56,8	8,00	246	92,0	17,3	523
19/03/2023	00	13,4	18,0	13,0	5,0	63,9	8,06	275	73,0	19,0	584
20/03/2023	00	13,2	17,0	12,4	4,6	63,9	8,07	262	86,0	18,4	557
21/03/2023	00	14,6	19,6	14,0	5,6	71,0	8,00	293	23,0	17,2	623
22/03/2023	00	15,4	19,8	14,0	5,8	71,0	8,00	292	13,0	14,6	618
23/03/2023	00	14,4	20,6	14,0	6,6	71,0	8,10	297	18,0	16,9	631
26/03/2023	00	16,6	23,6	16,8	6,8	92,3	8,08	372	24,0	19,3	792
27/03/2023	00	18,2	26,0	17,8	8,2	113,6	8,05	422	23,0	19,8	898
28/03/2023	00	16,4	23,4	17,0	6,4	71,0	8,00	330	31,0	19,1	702
29/03/2023	00	17,0	24,0	16,6	7,4	85,2	8,06	371	28,0	18,7	789
30/03/2023	00	15,0	20,6	15,0	5,6	71,0	8,15	309	26,0	18,7	657

Tab 7. 2- Résultats des analyses de l'eau industrielle (Mars 2023)

Date	TA	TAC	TH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	pH	TDS	MES	T	conductivité
unités	°F	°F	°F	°F	°F	Mg/l	/	Mg/l	Mg/l	°C	µs/cm
01/03/2023	00	17,0	23,6	17,0	6,6	71,00	8,15	336	29,0	19,4	716
02/03/2023	00	17,0	20,4	15,0	5,4	71,00	8,00	308	23,0	17,7	656
05/03/2023	00	16,0	23,00	17,0	6,0	71,00	8,05	328	33,0	13,5	698
09/03/2023	00	14,2	20,2	14,2	6,0	63,9	8,09	300	13,0	15,6	639
12/03/2023	00	13,4	20,00	14,0	6,0	63,9	8,00	296	39,0	18,3	629
13/03/2023	00	13,4	19,8	13,8	6,0	71,00	8,10	312	45,0	18,4	664
14/03/2023	00	13,8	20,00	14,0	6,0	85,2	8,06	322	37,0	18,3	684
15/03/2023	00	15,2	22,00	15,0	7,0	106,5	8,15	369	40,0	18,5	785
16/03/2023	00	13,0	16,6	12,0	4,6	56,8	8,10	241	92,0	17,30	512
19/03/2023	00	14,4	20,4	14,0	6,4	71,00	8,15	326	45,0	18,5	694
20/03/2023	00	13,2	17,00	12,0	5,0	63,9	8,08	249	48,0	18,3	530
21/03/2023	00	14,0	18,40	13,0	5,4	71,00	8,05	275	35,0	17,4	584
22/03/2023	0,4	6,00	12,6	8,2	4,4	78,00	8,56	266	06,0	16,3	566
23/03/2023	00	14,4	20,6	14,4	6,2	71,00	8,15	312	18,0	19,60	664
26/03/2023	00	16,2	23,2	16,8	6,4	92,3	8,07	358	18,0	19,30	762
27/03/2023	0,2	17,2	23,8	17,0	6,8	92,3	8,35	369	19,0	19,1	784
28/03/2023	00	16,4	23,3	17,0	6,4	71,00	8,05	328	53,0	18,8	697
29/03/2023	00	17,0	24,00	16,6	7,4	85,2	8,03	364	32,0	18,7	774
30/03/2023	00	15,0	20,6	15,0	5,6	71,00	8,07	311	21,0	18,2	660

Tab 7. 3- Résultats des analyses de l'eau d'alimentation (Mars 2023)

Date	TA	TAC	TH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	pH	TDS	Turbidité	T	conductivité
unités	°F	°F	°F	°F	°F	Mg/l		Mg/l	NTU	°C	µs/cm
01/03/2023	00	0,6	0,6	0,4	0,2	7,1	7,15	06,0	0,49	15,5	12,3
02/03/2023	00	0,6	0,6	0,4	0,2	7,1	7,00	06,0	1,50	16,6	13,2
05/03/2023	00	0,6	0,6	0,4	0,2	7,1	7,15	05,0	0,26	14,7	11,4
09/03/2023	00	0,6	0,6	0,4	0,2	3,55	7,20	06,0	0,29	16,9	12,2
12/03/2023	00	0,6	0,6	0,4	0,2	7,1	7,00	07,0	0,99	19,5	14,3
13/03/2023	00	0,6	0,6	0,4	0,2	7,1	7,00	07,0	0,69	19,5	15,0
14/03/2023	00	0,6	0,6	0,4	0,2	7,1	7,00	08,0	0,70	19,2	16,6
15/03/2023	00	0,6	0,6	0,4	0,2	7,1	7,05	09,0	0,35	19,3	19,4
16/03/2023	00	0,6	0,6	0,4	0,2	7,1	7,10	08,0	0,29	18,5	16,9
19/03/2023	00	0,6	0,6	0,4	0,2	7,1	7,15	08,0	0,49	18,8	17,1
20/03/2023	00	0,6	0,6	0,4	0,2	7,1	7,05	08,0	0,55	18,2	16,7
21/03/2023	00	0,6	0,6	0,4	0,2	7,1	7,00	07,0	0,73	18,9	14,3
22/03/2023	00	0,6	0,6	0,4	0,2	3,55	7,00	07,0	0,82	17,7	14,0
23/03/2023	00	0,4	0,4	0,3	0,1	7,1	7,09	08,0	1,23	17,8	16,5
26/03/2023	00	0,4	0,6	0,4	0,2	7,1	7,15	08,0	0,48	20,7	18,8
27/03/2023	00	0,6	0,6	0,4	0,2	7,1	7,15	09,0	0,41	20,5	18,4
28/03/2023	00	0,6	0,6	0,4	0,2	7,1	7,10	08,0	0,96	19,00	17,8
29/03/2023	00	0,6	0,6	0,4	0,2	7,1	7,10	08,0	0,32	19,00	16,9
30/03/2023	00	0,6	0,6	0,4	0,2	7,1	7,10	08,0	0,18	20,2	18,0

Tab 7. 4-Résultats des analyses de l'eau de la chaudière (Mars 2023)

Date	TA	TAC	TH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	pH	TDS	silice	Turbidité	T	conductivité
unités	°F	°F	°F	°F	°F	Mg/l		Mg/l	Mg/l	NTU	°C	µs/cm
01/03/2023	7,0	8,2	4,6	4,4	0,2	35,5	11,83	202	/	1,16	18,3	430
02/03/2023	8,4	10,0	4,4	4,2	0,2	35,5	11,69	239	0,247	1,21	15,7	509
05/03/2023	6,6	8,8	3,8	3,6	0,2	35,5	11,79	249	/	1,61	16,1	532
09/03/2023	8,8	10,2	3,2	3,0	0,2	42,6	11,85	263	0,383	2,70	23,0	560
12/03/2023	8,0	9,4	3,6	3,4	0,2	63,9	12,05	292	/	2,46	22,4	622
13/03/2023	5,2	7,4	5,4	4,4	1,0	42,6	11,78	192	/	4,22	18,4	409
14/03/2023	6,4	7,8	3,2	3,0	0,2	35,5	11,87	226	0,501	2,09	20,9	482
15/03/2023	5,0	6,8	3,8	3,6	0,2	42,6	11,44	181	/	1,8	21,4	386
16/03/2023	5,0	7,0	3,8	3,4	0,4	42,6	11,73	186	/	1,83	20,3	397
19/03/2023	5,8	7,0	4,0	3,8	0,2	35,5	11,43	168	0,660	1,02	19,7	357
20/03/2023	6,2	7,4	3,6	3,4	0,2	35,5	11,75	186	/	2,49	18,5	395
21/03/2023	5,8	7,2	5,0	3,0	2,0	46,0	11,67	198	0,493	2,98	18,5	422
22/03/2023		A		R		R		E		T		
23/03/2023	3,2	4,0	3,8	3,6	0,2	14,2	11,30	103	0,515	15,4	19,19	221
26/03/2023	7,4	8,8	3,6	3,4	0,2	42,6	11,37	274	0,448	17,3	20,0	584
27/03/2023	11,0	12,4	3,8	3,6	0,2	63,9	11,89	330	/	1,98	21,8	703
28/03/2023	6,0	7,4	3,6	3,4	0,2	35,5	11,68	207	/	1,58	21,1	440
29/03/2023	7,4	8,4	4,4	3,0	1,4	42,6	11,80	237	/	2,65	18,4	505
30/03/2023	7,2	8,2	3,2	3,0	0,2	42,6	11,74	232	0,457	6,66	19,0	493

ANNEXE 03 : DIVERS

Tab 8. 1- Détermination du facteur des sels dissous

Valeur de A (facteur de totalité des sels dissous en ppm)	
TDS en ppm	A
85 à 425	0.1
425 à 10 000	0.2

Tab 8. 2- Détermination du facteur de température

Valeur de B (facteur de température)	
Température en °C	B
0 - 1	2,6
2 - 5,5	2,5
6,5 - 9	2,4
10 - 13,5	2,3
14,5 - 16,5	2,2
17,5 - 21	2,1
22 - 26,5	2
27,5 - 31	1,9
32 - 36,5	1,8
37,5 - 43,5	1,7
44,5 - 50	1,6
51 - 56	1,5
56,5 - 63,5	1,4
64,5 - 71	1,3
72 - 81	1,2
82 - 89	1,1
90 - 96	1
96 - 100	0,9

Tab 8. 3- Détermination du facteur de dureté de calcium

Valeur de C (facteur de dureté de calcium)	
TH _{Ca} en °f	C
1 - 1,1	0,6
1,2 - 1,3	0,7
1,4 - 1,7	0,8
1,8 - 2,2	0,9
2,3 - 2,7	1
2,8 - 3,4	1,1
3,5 - 4,3	1,2
4,4 - 5,5	1,3
5,6 - 6,9	1,4
7,0 - 8,7	1,5
8,8 - 11	1,6
11,1 - 13,8	1,7
13,9 - 17,4	1,8
17,5 - 22	1,9
23 - 27	2
28 - 34	2,1
35 - 43	2,2
44 - 55	2,3
56 - 69	2,4
70 - 87	2,5
88 - 100	2,6

Tab 8. 4- Détermination du facteur de l'alcalinité totale

Valeur de D (facteur de l'alcalinité totale)	
TAC en °f	D
1 - 1,1	1,0
1,2 - 1,3	1,1
1,4 - 1,7	1,2
1,8 - 2,2	1,3
2,3 - 2,7	1,4
2,8 - 3,4	1,5
3,5 - 4,4	1,6
4,5 - 5,5	1,7
5,6 - 6,9	1,8
7,0 - 8,8	1,9
8,9 - 11	2
11,1 - 13,9	2,1
14 - 17,6	2,2
17,7 - 22,2	2,3
23 - 27	2,4
28 - 35	2,5
36 - 44	2,6
45 - 55	2,7
56 - 69	2,8
70 - 88	2,9
89 - 100	3

Tab 8. 5- Tables des normes des eaux de la chaudière

		Pression de service (Bar)								
		0 - 20.7	20.8 - 31.0	31.1 - 41.4	41.5 - 51.7	51.8 - 62.1	62.2 - 68.9	69.0 - 103.4	103.5 - 137.9	
Eau d'alimentation										
Oxygène dissous(mesuré avant l'addition du réducteur d'oxygène)		0.04	0.04	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	
Fer Total		0.1	0.05	0.03	0.025	0.02	0.02	0.01	0.01	
Cuivre Total		0.05	0.025	0.02	0.02	0.015	0.015	0.01	0.01	
Dureté totale(CaCO ₃)	mg/l	0.3	0.3	0.2	0.2	0.1	0.05	non spécifiée		
COT non-volatil		1	1	0.5	0.5	0.5	0.2	0.2	0.2	
Matière huileuse		1	1	0.5	0.5	0.5	0.2	0.2	0.2	
pH à 25		7.5 - 10.0	7.5 - 10.0	7.5 - 10.0	7.5 - 10.0	7.5 - 10.0	8.5 - 9.5	9.0 - 9.6	9.0 - 9.6	
Eau de chauffage										
Silice		150	90	40	30	20	8	2	1	
Alcalinité totale CaCO ₃	mg/l	350	300	250	200	150	100	non spécifiée		
Alcalinité d'hydroxyde libre CaCO ₃		non spécifiée					non détectable			
Conductance spécifique à 25 sans neutralisation	µS/cm	3500	3000	2500	2000	1500	1000	150	100	

		Pression de service (Bar)						
		0 - 15	15 - 25	25 - 35	35 - 45	45 - 60	60 - 75	75 - 100
Eau d'alimentation								
Oxygène dissous(mesuré avant l'addition du réducteur d'oxygène)	mg/l	0.02 (Elimination physique de l'oxygène dissout)						
Dureté totale	degré Français	0.5	0.3	0.2	0.1	0.05	0.05	0.05
Matière huileuse	mg/l	absence			0.05	0.05	0.05	
pH		> 8.5						
Fer Total	mg/l	non spécifiée			0.05	0.05	0.03	
Cuivre Total	mg/l	non spécifiée			0.03	0.03	0.01	
Eau de chaufferie								
Alcalinité M	degré Français	100	80	60	40	15	10	5
Alcalinité P	M	0.07	0.07	0.07	0.07	> 0.5	> 0.5	> 0.5
SiO2		200	150	90	40	15	10	5
TDS	mg/l	4000	3000	2000	1500	500	300	100
Phosphates		30 to 100	31 to 100	20 to 80	21 to 80	10 to 60	10 to 40	5 to 20
pH		10.5 to 12			10 to 11			
Eau d'appoint		adoucie ou adoucie et carbonate libre			Déminéralisée			

Tab 8. 6- Tableau de calculs de chlore en mg/L

29/11/05

CALCUL DE CHLORE EN mg/litre											
VOLUME	POIDS	VOLUME	POIDS	VOLUME	POIDS	VOLUME	POIDS	VOLUME	POIDS	VOLUME	POIDS
0,1	3,55	2	71	4	142	6	213	8	284	10	355
0,2	7,1	2,1	74,5	4,1	145,5	6,1	216,5	8,1	287,5	10,1	358,5
0,3	10,6	2,2	78	4,2	149	6,2	220	8,2	291	10,2	362,1
0,4	14,2	2,3	81,6	4,3	152,6	6,3	223,6	8,3	294,6	10,3	365,6
0,5	17,7	2,4	85,2	4,4	156,2	6,4	227,2	8,4	298,2	10,4	369,2
0,6	21,3	2,5	88,7	4,5	159,7	6,5	230,7	8,5	301,7	10,5	372,7
0,7	24,8	2,6	92,3	4,6	163,3	6,6	234,3	8,6	305,3	10,6	376,3
0,8	28,4	2,7	95,8	4,7	166,8	6,7	237,6	8,7	308,8	10,7	379,8
0,9	31,9	2,8	99,4	4,8	170,4	6,8	241,4	8,8	312,4	10,8	383,4
1	35,5	2,9	102,9	4,9	173,9	6,9	244,9	8,9	315,9	10,9	386,9
1,1	39	3	106,5	5	177,5	7	248,5	9	319,5	11	390,5
1,2	42,6	3,1	110	5,1	181	7,1	252	9,1	323		
1,3	46	3,2	113,6	5,2	184,6	7,2	255,5	9,2	326,6	12	426
1,4	49	3,3	117	5,3	188	7,3	259	9,3	330		
1,5	53,2	3,4	120	5,4	191,7	7,4	262,7	9,4	333,7	13	461,5
1,6	56,8	3,5	124	5,5	195,2	7,5	266,2	9,5	337,2		
1,7	60,3	3,6	127,8	5,6	198,8	7,6	269,8	9,6	340,8	14	497
1,8	63,9	3,7	131,3	5,7	202,3	7,7	273,3	9,7	344,3		
1,9	67,4	3,8	134,9	5,8	205,9	7,8	276,9	9,8	347,9	15	532,5
		3,9	138,4	5,9	209,4	7,9	280,4	9,9	351,4		

Tab 8. 7- Table de facteur de correction pour le calcul de TDS

CONDUCTIVITE		CONDUCTIVITE	
TEMPERATURE (°C)	C < 50	TEMPERATURE (°C)	C > 50
10	1,75	10	0,961
10,5	1,727	10,5	0,94
11	1,7	11	0,927
11,5	1,68	11,5	0,923
12	1,656	12	0,909
12,5	1,637	12,5	0,898
13	1,613	13	0,886
13,5	1,596	13,5	0,876
14	1,572	14	0,861
14,5	1,553	14,5	0,863
15	1,533	15	0,842
15,5	1,494	15,5	0,831
16	1,492	16	0,822
16,5	1,48	16,5	0,813
17	1,461	17	0,802
17,5	1,446	17,5	0,794
18	1,428	18	0,784
18,5	1,431	18,5	0,776
19	1,396	19	0,767
19,5	1,381	19,5	0,759
20	1,365	20	0,756
20,5	1,357	20,5	0,745
21	1,336	21	0,734
21,5	1,324	21,5	0,727
22	1,308	22	0,718
22,5	1,297	22,5	0,712
23	1,28	23	0,703
23,5	1,271	23,5	0,698
24	1,254	24	0,689
24,5	1,242	24,5	0,682
25	1,231	25	0,676
25,5	1,219	25,5	0,669
26	1,212	26	0,666
26,5	1,205	26,5	0,662
27	1,198	27	0,658
27,5	1,192	27,5	0,654
28	1,186	28	0,651
28,5	1,178	28,5	0,647
29	1,171	29	0,643
29,5	1,163	29,5	0,639
30	1,158	30	0,636

0,636

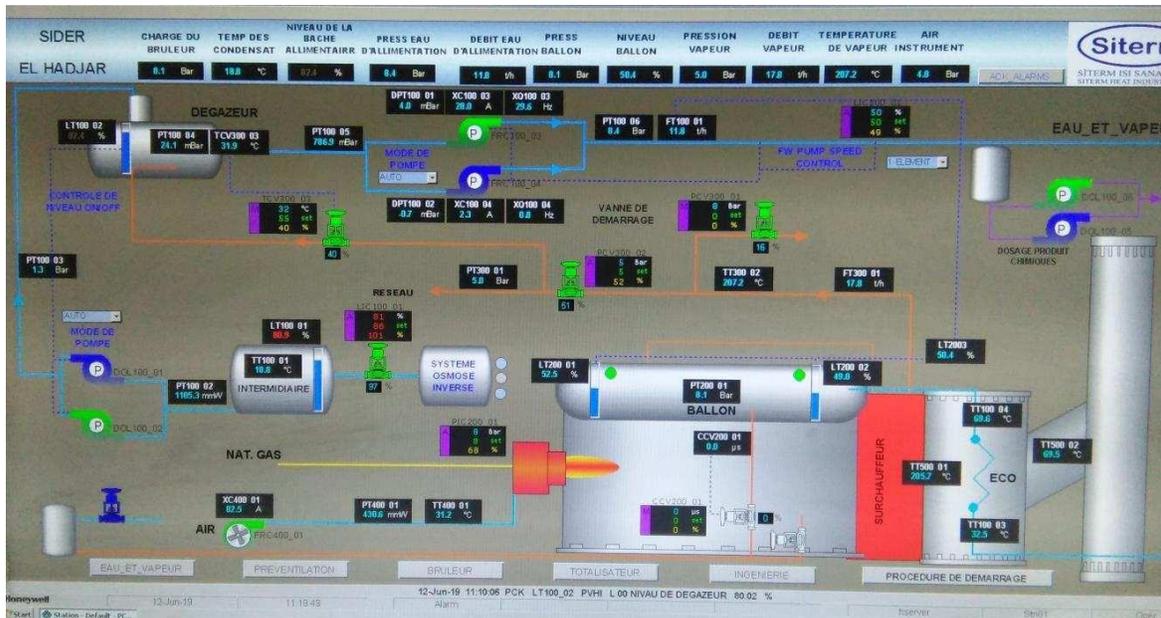


Fig 8. 1- Tableau de bord du fonctionnement de la chaudière au niveau de la zone Est - Complexe EL HADJAR - Annaba

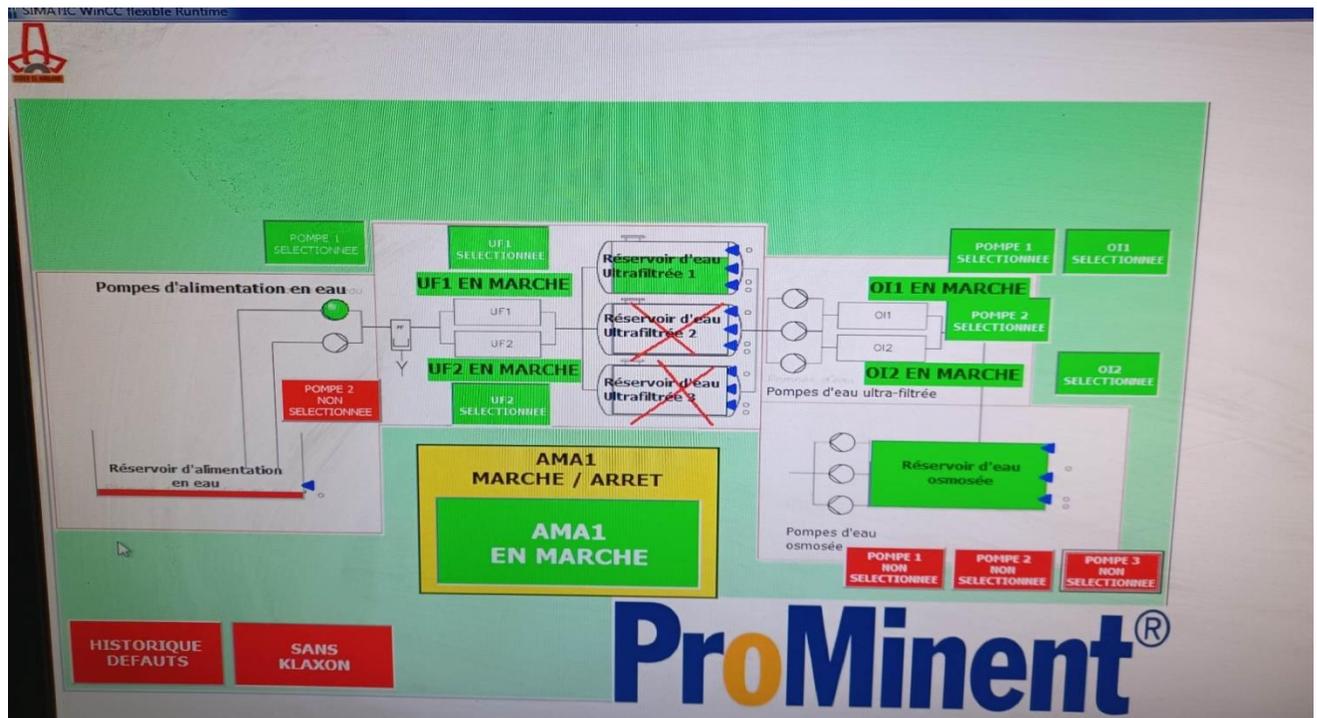


Fig 8. 2- Tableau de bord du fonctionnement de la chaudière au niveau de la zone - Est du Complexe EL HADJAR - Annaba



Fig 8. 3- Inhibiteur (Cetamine G810) utilisé depuis Juin 2019 dans la zone Est du Complexe EL HADJAR-Annaba