

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR-ANNABA  
BADJI MOKHTAR- ANNABA UNIVERSITY



جامعة باجي مختار – عنابة

Faculté : TECHNOLOGIE

Département : GENIE DES PROCEDES

Domaine : SCIENCE ET TECHNOLOGIE

Filière : GENIE DES PROCEDES

Spécialité : GENIE DES PROCEDES DE  
L'ENVIRONNEMENT

## Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master

Thème:

**INSPECTION DE LA CHAUDIERE SITERM (SIDER EL  
HADJAR-ANNABA-ALGERIE) : CONTROLE ET SUIVI DE LA  
QUALITE D'EAU.**

Présenté par : *ANIK CHAIMA*

*TADJINE AYA*

Encadrante : **L. LARBI**      *MAA*      *Université Badji Mokhtar-Annaba*

## Jury de Soutenance :

EL K. GUECHI	Pr	UBMA	Présidente
L. LARBI	MAA	UBMA	Encadrante
O. BECHIRI	Pr	UBMA	Examinatrice

Année universitaire : 2022/2023

### Résumé

L'étude s'est inscrite au complexe de Sider El-Hadjar de la ville d'Annaba spécifiquement la zone Est de la division des fluides et le laboratoire central. Elle a pour objectif de diagnostiquer l'état d'étude de la chaudière SITERM et d'en contrôler sa qualité d'eau (alimentaire et de chaudière).

Ce type de chaudière à tube d'eau doit être alimentée par une eau bien traitée et conditionnée pour éviter les problèmes de corrosion et d'entartrage.

Pendant notre période de stage, on a suivi exclusivement la qualité des eaux distribuées et les résultats qui en ressortent est que l'eau, selon Ryznar, est de caractère extrêmement corrosif.

**Mots clés :** qualité d'eau, chaudière à tube d'eau, membrane, paramètres physico-chimiques.

### المخلص

أجريت الدراسة في مركب سيدار الحجار بمدينة عنابة وبال تحديد المنطقة الشرقية لمنطقة الموانع و المختبر الرئيسي هدفها هو تشخيص حالة دراسة المرجل SITERM والتحكم في جودة مياه (المغذية و المرجل).

يجب تزويد هذا النوع من غلايات أنابيب المياه بمياه معالجة و مكيفة بشكل جيد من أجل تجنب مشاكل التآكل و القشور.

خلال فترة تدريبنا، قمنا بمراقبة جودة المياه الموزعة والنتائج التي ظهرت هي أن المياه ، وفقا لRyznar، أكالة للغاية.

**الكلمات المفتاحية :** جودة المياه، غلاية أنبوب المياه، الغشاء، المعايير الفيزيائية و الكيميائية.

### Abstract

The study took place at the Sider El Hadjar Complex in the city of Annaba, specifically the eastern zone of the fluids division and the central laboratory. Its objective is to diagnose the state of study of the SITERM boiler and to control its water quality ( food and boiler).

This type of water tube boiler must be supplied with well treated and conditionnel water to avoid corrosion and scalin problems.

During our internship period, we exclusively monitored the quality of the water distributed and the results that emerge is that the water according to Ryznar is extremely corrosive.

Key words : water quality, water tube boiler, membrane, physico-chemical parameters.

.

## Remerciements

Ce travail a été réalisé au niveau du Complexe de Sider El-Hadjar spécifiquement la zone Est de la division des fluides pour obtenir le diplôme de fin d'études en Master 2 spécialité Génie des procédés de l'environnement.

Tout d'abord, nous tenons à remercier notre bon Dieu qui nous a donné la force, le courage et la patience pour finir notre mémoire.

Puis, nous adressons nos plus vifs remerciements à notre Directrice de mémoire Larbi Lynda pour son encadrement, sa disponibilité, ses conseils et ses orientations.

Nous remercions ardemment les membres du Jury d'avoir accepté d'examiner notre travail.

Nous remercions spécialement Mr Aibainia Mohammed et toute l'équipe de la division des fluides et de le laboratoire centrale Sider El-Hadjar pour leur aide au cours de la période du stage.

Nous remercions tous les profs du département de Génie des procédés qui ont contribué à notre formation.

Enfin, nous tenons à remercier sincèrement notre famille et toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à cette étude.

### Dédicace

D'abord, je dis <<ALHAMDOU LI ALLAH>> qui m'a aidée à terminer mon travail.

A mes très chers parents :

A mon cher père <<Anik Farid>> pour son amour, ses sacrifices, ses efforts, son encouragement.

A ma très chère maman <<Anik Fatima>> pour son amour, sa tendresse, ses sacrifices, son encouragement.

Je vous dis merci beaucoup pour tout, je vous aime trop.

A mes chères tantes pour leur amour, leur encouragement, leur aide.

A tous les membres de ma famille.

A mes chères amies : Aya, Ghada, Abir.

A toute la promotion 2022-2023.

Chaima

### Dédicace

Je dédie ce mémoire à :

Aux meilleurs personnes de ma vie, mes très chers parents : mon père <<Farid>> et ma mère <<Nedjma>> qui m'entourent toujours dans ma carrière d'étude et qui me soutiennent avec leurs encouragements.

A mes sœurs : Malek et Manel.

A mes frères : Raouf et Sadjde.

A mon oncle et mes tantes.

A toute ma famille sans exception.

A ma chère binôme : Anik Chaima.

A mes amies : Iman et Ikrame.

A toute la promotion des procédés de l'environnement 2022-2023.

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

Aya

## Sommaire :

Résumé .....	I
Remerciement.....	III
Dédicace .....	IV
Dédicace .....	V
Liste des figures.....	VI
Liste des tableaux .....	VII
Liste des abréviations .....	VIII
Introduction générale.....	1
 I- PRESENTATION DE L'ENTREPRISE.....	 4
I.1- Historique du Complexe .....	4
I.2- Situation géographique du Complexe.....	5
I.3- Unités du Complexe.....	5
I.4- Les activités du Complexe .....	6
I.4.1- Présentation de la division fluide (FLU) .....	7
I.4.2- Organisation de la division des fluides.....	7
I.4.2.1- Zone EST.....	7
I.4.2.1.1- La production et l'utilisation de l'eau industrielle.....	8
I.4.2.1.2- Production et utilisation de l'eau déminéralisée .....	10
I.4.2.2- Conclusion .....	13
 II- SEPARATION MEMBRANAIRE : .....	 15
II.1- Introduction .....	15
II.2- Généralités sur les membranes .....	15
II.2.1- Définition des membranes.....	15
II.2.2- Classification des membranes .....	15
II.3- Procédés membranaires à gradient de pression .....	16
II.4- Membranes utilisées dans la zone Est de la division fluide .....	17
II.4.1- Membrane de l'ultrafiltration ProMinent.....	17
II.4.1.1- Avantage des membranes utilisées : .....	17
II.4.1.2- Les rétro-lavages.....	17
II.4.1.3- Caractéristiques techniques de l'installation .....	18

II.4.2- Membrane de l'osmose inverse OI .....	18
II.4.2.1- Avantages de la membrane .....	18
II.4.2.2- Caractéristiques techniques de l'installation .....	19
II.5- Conclusion .....	19
 III- PRESENTATION DES CHAUDIERES .....	 21
III.1- Introduction .....	21
III.2- Différents types de chaudières .....	21
III.2.1- Les chaudières à tubes de fumée : .....	21
III.2.2- Les chaudières à tubes d'eau : .....	21
III.2.3- Comparaison des performances des chaudières .....	22
III.3- Description détaillée des chaudières à tube d'eau .....	23
III.3.1- Éléments de chaudière à tube d'eau.....	24
III.3.2- Cycle de l'eau dans la chaudière .....	24
III.4- Description de la chaudière SITERM .....	25
III.4.1- Présentation de la chaudière installée au niveau de la zone Est .....	25
III.4.2- Qualité de l'eau de chaudière et d'alimentation .....	26
III.5- Problèmes rencontrés dans les chaudières .....	27
III.6. Conditionnement des eaux de chaudières: .....	28
III.7- Conclusion :.....	29
 IV-ETUDE EXPERIMENTALE .....	 32
IV.1- Problématique .....	32
IV.2- Objectif de l'étude.....	33
IV.3- laboratoire d'analyses .....	34
IV.3.1- Laboratoire des eaux.....	34
IV.3.2- Matériels et méthodes .....	34
IV.3.2.1- Echantillonnage .....	33
IV.3.2.2- Les méthodes des analyses .....	34
IV.4- Résultats et Exploitation les analyses des eaux étudiées .....	36
IV.4.1- Résultats des analyses de l'eau alimentaire.....	36
IV.4.2- Résultats des analyses de l'eau de chaudière SITERM.....	36
IV.4.3- Détermination du caractère de l'eau alimentaire.....	37



IV.4.4- Interprétation des résultats.....	39
IV.5- Discussion et Interprétation les résultats.....	39
IV.5.1- Présentation graphique des résultats d’analyses de l’eau alimentaire.....	39
IV.5.2- Présentation graphique des résultats d’analyses de l’eau de chaudière.....	41
IV.6- Conclusion .....	44
Conclusion générale .....	47
Listes des Références.....	49
ANNEXE 01 : Méthode analytique.....	IX
ANNEXE 02 : Les details des calculs.....	XVIII
ANNEXE 03 : Méthode de calcul de chlore .....	XX
ANNEXE 04 : Conversion en minéralisation .....	XXI
ANNEXE 05 : Fiches signalétiques d’inhibiteur de SITERM-SIDER.....	XXII

## Liste des figures

Fig I.1 : Vue par stallite du Complexe Sider d'El-Hadjar .....	5
FigI.2 :Organisation de la division fluide.....	7
Fig I.3: Les etapes de traitement de l'eau industrielle .....	8
Fig I.4 : Prise de vue du décanteur de la station de traitement des eaux industrielles Zone Est-Sider... ..	10
Fig I.5 : Installation d'osmose inverse .....	11
Fig I.6 : Insallation d'ultrafiltration .....	11
Fig I.7 :Système d'ultrafiltration .....	11
Fig I.8 :Système d'osmose inverse.....	12
Fig II.1: Classiification des membranes .....	15
Fig II.2 :Membrane d'osmose inverse modèle CPA5-LD .....	18
Fig III.1 :Principe de fonctionnement de la chaudière .....	21
Fig III.2 : Shéma d'une chaudière à tubes d'eau .....	22
Fig III.3 : Cycle de l'eau dans la chaudière .....	25
Fig III.3 : La chaudière SITERM de la zone Est du Complexe Sider-El Hadjar-Annaba.....	25
FigIV.1 : Variation du TH de l'eau alimentaireen fonction du temps .....	39
FigIV.2 : Variation dupH de l'eau alimentaire en fonction du temps .....	40
FigIV.3 : Variationde TA de l'eau alimentaire en fonction du temps .....	40
FigIV.4 : Variation du TAC de l'eau alimentaire en fonction du temps .....	41
FigIV.5 : Variation du TH de l'eau de la chaudière en fonctiondu temps.....	42
FigIV.6 : Variation du pH de l'eau de la chaudièreen fonction dutemps .....	42
FigIV.7 : Variation du TA de l'eau de la chaudière en fonction du temps.....	43
FigIV.8 :Variation du TAC de l'eau de la chaudière enfonction du temps .....	43
FigIV.9 : Variationdu Cl- de l'eaude la chaudière en fonction du temps .....	44
Fig24 : Dosage volumétriquedu TA etTAC .....	53
Fig25 : Dosage volumétrique du TH + T <sub>Ca</sub> .....	55
Fig26 : Dosage volumétrique du Cl- .....	56
Fig27: Couple pH-mètre/Conductimètre .....	58
Fig28 : pH-mètre consort<< C832>> .....	58
Fig29 : Spectrophotomètre <<H Dr5000>> .....	59
Fig30 : TurbidimètreAL450T-IR .....	60
Fig31 : Inhibiteur (Cetamine G810) utilisé depuis 2019 dans la chaudière SITERM ..	65
Fig 32 : Fiches signalétiques du produit (Cetamine G810).....	66

## Liste des tableaux

TabI.1 : Principales activités du Complexe Sider .....	6
TabII.1 : Procédés membranaires à gradient de pression .....	16
TabII.2 : Caractéristiques de la membrane ultrafiltration .....	18
TabII.3 : Caractéristique de la membrane d'osmose inverse .....	19
Tab III.1 : Comparaison des performances des chaudières .....	23
Tab III.2 : Caractéristique de la chaudière SITERM .....	26
TabIII.3: Normes des valeurs des différents paramètres caractérisant les eaux alimentaires des chaudières à tube d'eau .....	26
Tab IV.1 : Paramètres physicochimiques et méthodes de mesure .....	35
Tab IV.2 : Résultats d'analyse de l'eau alimentaire .....	36
Tab IV.3 : Résultats d'analyse de l'eau de chaudière SITERM .....	37
Tab IV.4 : Tendance de l'eau suivant $I_R$ .....	38
Tab IV.5 : Résultats de l'exploitation de cette méthode .....	38
Tab 13 : Résultats de l'exploitation .....	61
Tab 14 : Tableau de calculs de chlore en mg/L .....	63
Tab 15 : Table de facteur de correction pour le calcul de TDS .....	64

## Liste des abréviations

<b>SBS</b>	Société bônoise sidérurgie
<b>SNS</b>	Société nationale de sidérurgie
<b>PMA</b>	Préparation de matière première et agglomération
<b>HF</b>	Haut fourneau
<b>ACO</b>	Aciérie à Oxygène
<b>ACE</b>	Aciérie Electrique
<b>LAC</b>	Laminoir à Chaud
<b>LFR</b>	Laminoir à fils et rond béton
<b>COX</b>	Centre à oxygène
<b>FeCl<sub>3</sub></b>	Chlorure ferrique
<b>Ca(OH)<sub>2</sub></b>	Lait de chaux
<b>Ca(HCO<sub>3</sub>)</b>	Bicarbonate de calcium
<b>Mg(HCO<sub>3</sub>)</b>	Bicarbonate de magnésium
<b>CaCO<sub>3</sub></b>	Carbonate de calcium
<b>MgCO<sub>3</sub></b>	Carbonate de magnésium
<b>HCO<sub>3</sub></b>	Bicarbonate
<b>H<sub>2</sub>O</b>	Eau
<b>CO<sub>2</sub></b>	Dioxyde de carbone
<b>OI</b>	Osmose inverse
<b>UF</b>	Ultra filtration
<b>MF</b>	Micro filtration
<b>NF</b>	Nano filtration
<b>pH</b>	Potentiel d'hydrogène
<b>PH<sub>s</sub></b>	Potentiel d'hydrogène de saturation
<b>TA</b>	Titre alcalimétrique
<b>TAC</b>	Titre alcalimétrique complet
<b>MES</b>	Matière en suspension
<b>TDS</b>	Totalité des sels dissous
<b>Ca<sup>2+</sup></b>	Ion calcium
<b>Mg<sup>2+</sup></b>	Ion magnésium
<b>N<sub>2</sub>H<sub>4</sub></b>	Hydrazine
<b>O<sub>2</sub></b>	Dioxygène
<b>N<sub>2</sub></b>	Azote
<b>Na<sub>3</sub>PO<sub>4</sub></b>	Phosphate de sodium
<b>Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub></b>	Hydrogénophosphate de sodium
<b>NaOH</b>	Hydroxyde de sodium
<b>µm</b>	Micromètre
<b>nm</b>	Nanomètre
<b>mm</b>	Millimètre
<b>t/h</b>	Tonnes par heure
<b>°C</b>	Degré Celsius
<b>°F</b>	Degré français

# INTRODUCTION GÉNÉRALE

# INTRODUCTION GÉNÉRALE

## Introduction générale

L'eau est une molécule si simple qu'on croirait qu'on pourrait la trouver telle quelle, or, dans la réalité, sa qualité est diverse selon ses origines. Son utilité est primordiale dans tous les secteurs ; c'est pour cette raison que les sujets sur sa problématique resteront toujours d'actualité.

Notre étude s'est consacrée à une des problématiques qui se pose toujours à l'échelle industrielle et notamment dans les circuits industriels ; elle s'est réalisée plus précisément au complexe de SIDER de EL HADJAR implanté dans la zone industrielle de la ville d'ANNABA en ALGERIE. On s'est intéressé au sujet classique des générateurs de vapeur. C'est un sujet qui a beaucoup été étudié mais chaque année il est remis en étude pour les projets de fin de cycle universitaire comme le nôtre en Génie des procédés de l'Environnement inscrit au département de Génie des procédés de l'université Badji Mokhtar d'Annaba.

Le générateur de vapeur choisi est celui de la chaudière SITERM qui sert à produire la vapeur surchauffée à partir d'une qualité d'eau précise pour être conditionnée afin d'éviter les problèmes de corrosion, d'entartrage et de primage.

Pour cela, il y'a différentes techniques de traitement des eaux de chaudière, parmi ces techniques, on trouve la séparation membranaire.

Etant donné le délai de notre stage affecté, on a restreint notre objectif de travail au contrôle de la qualité de l'eau distribuée à la chaudière SITERM en suivant les valeurs des paramètres exclusifs à l'eau alimentaire et à l'eau de chaudière. La rédaction de ces faits s'est départagée en deux :

- La première partie est réservée à la littérature théorique orientée en trois chapitres :
  - Le premier chapitre présente une vue globale du complexe spécifiquement la zone Est de la division des fluides ainsi les différents procédés de traitement des eaux à des fins industrielles.
  - Le deuxième chapitre consiste en des généralités sur le traitement final des eaux alimentaires de la chaudière en étude qui est le procédé de séparation membranaire notamment le procédé membranaire à gradient de pression.

## **INTRODUCTION GÉNÉRALE**

- Le troisième chapitre expose de manière générale les chaudières et de manière détaillée la chaudière SITERM de SIDER EL HADJAR.
- La deuxième partie est l'étude expérimentale consacrée au suivi et au contrôle de la qualité de l'eau alimentaire et de l'eau de la chaudière étudiée en présentant les résultats et leurs discussions.

Enfin, notre mémoire se termine par une conclusion générale synthétisant les résultats assignés à l'objectif des travaux en avisant l'importance et en proposant une perspective à cette étude.

# **Chapitre I : Présentation de l'Entreprise**



### I- PRESENTATION DE L'ENTREPRISE

#### I.1- Historique du Complexe

**Période coloniale :** Le projet de construction d'une usine sidérurgique à Annaba a été inscrit en 1958 dans le plan de Constantine. Ce projet a vu la création de la Société Bônoise de Sidérurgie (SBS) qui a été chargée de réaliser un haut fourneau et ses annexes.

**1964, création de SNS :** Après l'indépendance, l'état algérien a créé, le 03 Septembre 1964, la Société Nationale de Sidérurgie (SNS) qui a été chargée de la construction du complexe sidérurgique d'El-Hadjar

**1969, première coulée :** le complexe est entré en production après son inauguration le 19 juin 1969 par le Président de l'Etat Algérien, Houari Boumediene.

**1983, création de SIDER :** La restructuration de l'industrie algérienne a donné naissance à l'Entreprise Nationale SIDER.

**1995, création du Groupe SIDER :** Cette évolution marque le passage de l'entreprise administrée à l'entreprise économique EPE/SPA.

**1999, création de ALFASID :** Un plan de redressement Interne du Groupe Sider donne naissance à 25 entreprises industrielles autonomes dont ALFASID qui représente le « cœur du métier » de la sidérurgie.

**ISPAT Annaba le 18 octobre 2001 :** Un contrat de partenariat entre SIDER et LNM donne naissance à ISPAT Annaba ; LNM détient 70% du capital social et SIDER 30%.

Cette nouvelle société regroupe les filiales de SIDER liées au métier de base de la sidérurgie qui sont : Alfasid, Almain, Gessit, Iman, Amm, Comersid, Alfatub, Cryosid, Coprosid et Fersid.

Ispat Tébessa est créé à la même période. Elle est le résultat d'un partenariat entre LNM (70%) et FERPHOS (30%). Elle comprend les mines de fer d'Ouenza et de Boukhadra.

**Décembre 2004 Mittal Steel Annaba :** La société change de dénomination après la fusion de LNM holding et ISPAT International.

**Juin 2007, ArcelorMittal Annaba :** est le résultat de la fusion entre Mittal Steel et Arcelor.

**Octobre 2013, ArcelorMittal Algérie :** La société change de dénomination après la signature d'un accord stratégique entre ArcelorMittal et Sider par lequel, la participation d'ArcelorMittal, dont le capital de la société passe à 49% et celle de Sider à 51%.

**Août 2016 :** La société devient L'entreprise publique économique EPE **Sider El Hadjar** [1].

### I.2- Situation géographique du Complexe

Le complexe sidérurgique d'EL HADJAR est situé à l'est du pays dans la zone industriel d'Annaba. Il est implanté à 15 Kilomètres au sud de la ville et occupe une superficie de 800ha. 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 ».



**Fig. I.1-** Vue par satellite du Complexe Sider d' El-Hadjar[2]

### I.3- Unités du Complexe

Le Complexe Sider d'EL Hadjar comporte ces différentes unités :

- Unité de préparation de matières premières agglomérées,
- un haut fourneau
- deux aciéries à oxygène
- une aciérie électrique
- un laminoir à chaud
- un laminoir à froid
- un laminoir à rond à béton
- une ligne de galvanisation
- et des unités de support et de maintenance.

**I.4- Les activités du Complexe**

Les principales activités de chaque unité du Complexe sont résumées dans le tableau suivant :

**Tab.I.1-Principales activités du Complexe SIDER**

<b>Unités industrielles</b>	<b>Activités</b>
PMA	Préparation de la matière première d'aggloméré
HF <sub>1</sub> , HF <sub>2</sub>	Production de la fonte
ACO <sub>1</sub>	Solidifier l'acier sous forme de brame
ACO <sub>2</sub>	Solidifier l'acier liquide sous forme de billette
ACE	Production des billettes
LAC	Transformation des brames produites par l'ACO <sub>1</sub> en bobines
LAF	Production des bobines, bobines galvanisée
LFR	Production du rond à béton
COX	Production des gaz industriels

Dans ces activités industrielles, le besoin de fluide de qualité conforme est important. Le site où nous avons été affecté, pendant notre période de stage, se trouve dans la zone Est de la division fluide. Les visites des différents procédés sont relatées et présentées dans les paragraphes suivants :

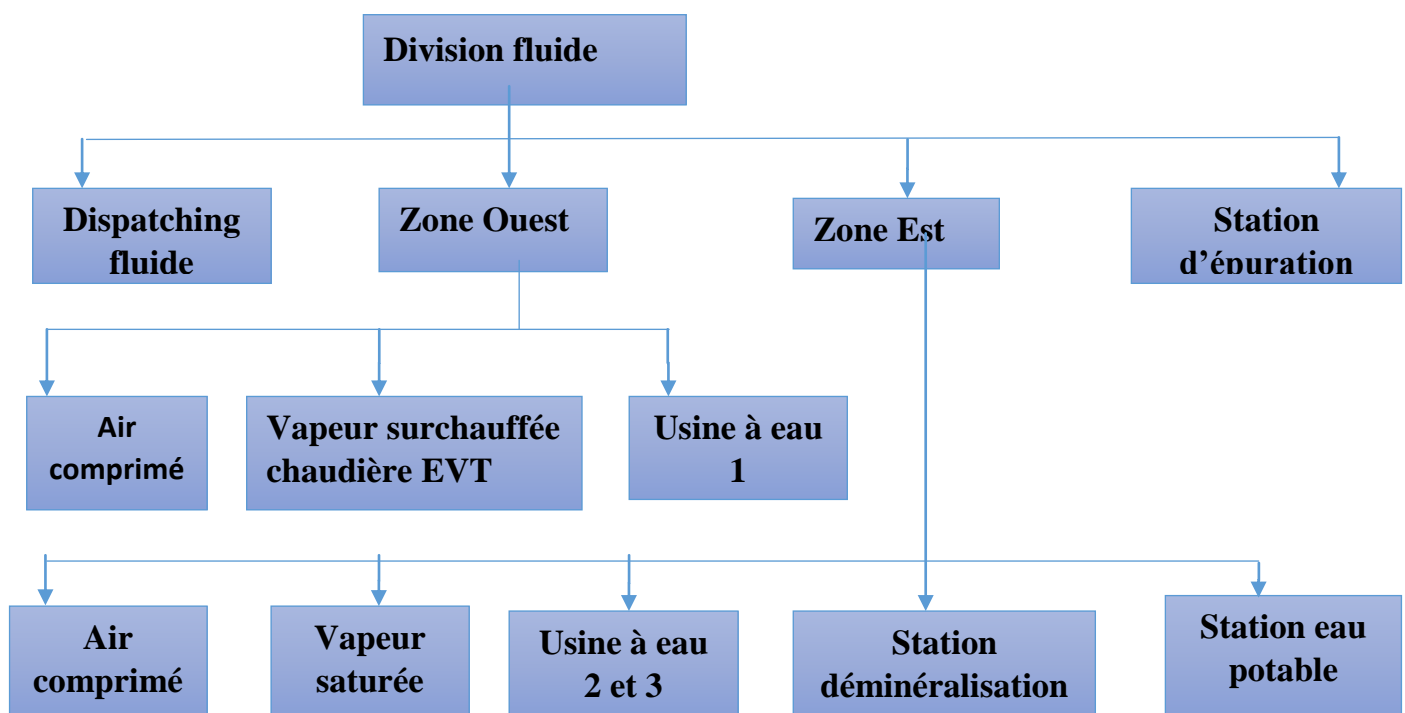
**I.4.1- Présentation de la division fluide (FLU)**

Cette division englobe les différentes qualités de fluide, qui sont :

- Eau brute,
- Eau industrielle,
- Eau déminéralisée,
- Eau potable,
- Air comprimé,
- Gaz naturel,
- Vapeur surchauffée.

**I.4.2- Organisation de la division des fluides**

Cet organigramme configuré montre la planification de la division fluide [3] :



**Fig.I.2-** Organisation de la division fluide

Parmi ces secteurs de la division fluide, l'eau qui est utilisée dans la chaudière que nous étudions provient de traitements qui ont débuté dans la station de la zone Est.

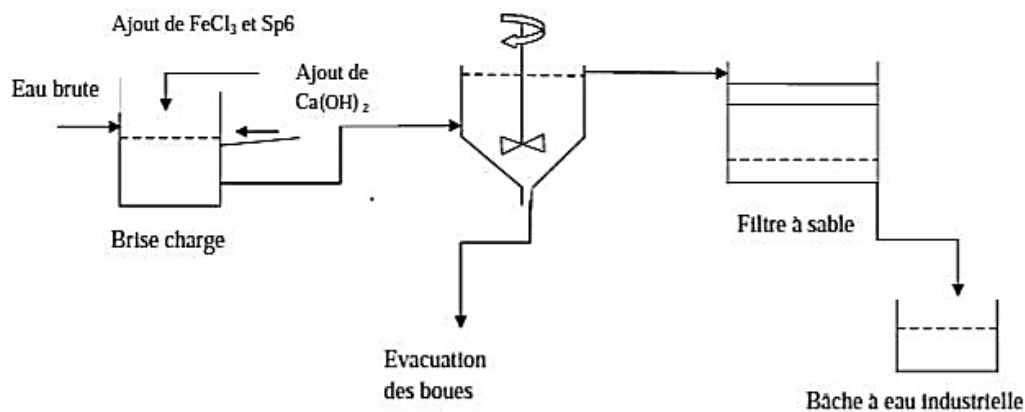
**I.4.2.1- Zone EST**

La zone EST de la division des fluides est une zone importante à la continuité de la production du complexe SIDER EL HADJAR car elle traite une quantité importante d'eau brute en eau industrielle et en eau déminéralisée.

## I.4.2.1.1- La production et l'utilisation de l'eau industrielle

### a-Production de l'eau industrielle

La production de l'eau industrielle s'effectue selon les étapes de traitement schématisées dans cette figure :

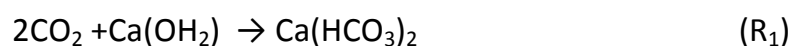


**Fig.I.3-** Les étapes de traitement de l'eau industrielle

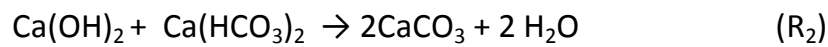
L'eau brute provient d'un barrage de CHAFIA avec une pression 4 bars et un débit de 2000 m<sup>3</sup>/h. Ensuite, elle est amenée dans un brise charge pour lui ajouter trois produits chimiques :

- Le coagulant (chlorure ferrique FeCl<sub>3</sub>) pour éliminer les particules colloïdales.
- L'adjuvant de floculation (polymère Sp<sub>6</sub>) pour faciliter la formation de floes.
- Le lait de chaux Ca(OH)<sub>2</sub> pour diminuer, entre autres, la dureté de l'eau, spécifiquement en calcium et en magnésium) [4]. Les réactions qui entrent en décarbonatation sont les suivantes :

- En premier temps, l'eau contient du CO<sub>2</sub> ; celui-ci réagit le premier sur la chaux pour former de l'hydrogénocarbonate de calcium :



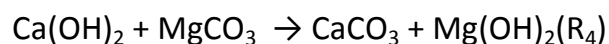
- Par conséquent, une augmentation du TAC et de  $\text{Tca}^{2+}$  favorise la précipitation du  $\text{CaCO}_3$ , selon la réaction :



- Si  $\text{Tca}^{2+}$  est inférieur au TAC, on a trouvé la réaction suivante :



- Dans le cas d'un excès de chaux, cela conduira à la réaction :



Après, l'eau est traitée par la décantation qui est utilisée pour séparer les matières en suspension et les particules colloïdales rassemblés en floc [5]. L'usine utilise un décanteur circulaire qui a un fond conique et un bras rotatif muni d'un racleur (comme on peut le voir sur la figure I.4) qui permet la boue au centre où se produit une eau traitée séparée de la boue.

Enfin, l'eau est filtrée sur un lit de sable de granulométrie distribuée et à ciel ouvert. L'eau filtrée de cinq batteries est pompée vers des bâches de stockage d'eau industrielle.



**Fig.I.4-** Prise de vue du décanteur de la station de traitement des eaux industrielles  
Zone Est- SIDER [6]

### **b- Utilisation de l'eau industrielle**

L'eau industrielle est utilisée pour le refroidissement de certains équipements, dont on cite :

- Le refroidissement des machines à coulée continue et des billettes ;
- L'épuration des gaz ( $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ) et des poussières des convertisseurs ;
- Le refroidissement des échangeurs, des moteurs et des pompes [7].

### **I.4.2.1.2- Production et utilisation de l'eau déminéralisée**

#### **a- Production de l'eau déminéralisée**

Pour avoir une bonne qualité de l'eau d'alimentation des chaudières, un système d'ultrafiltration et d'osmose inverse est utilisé.





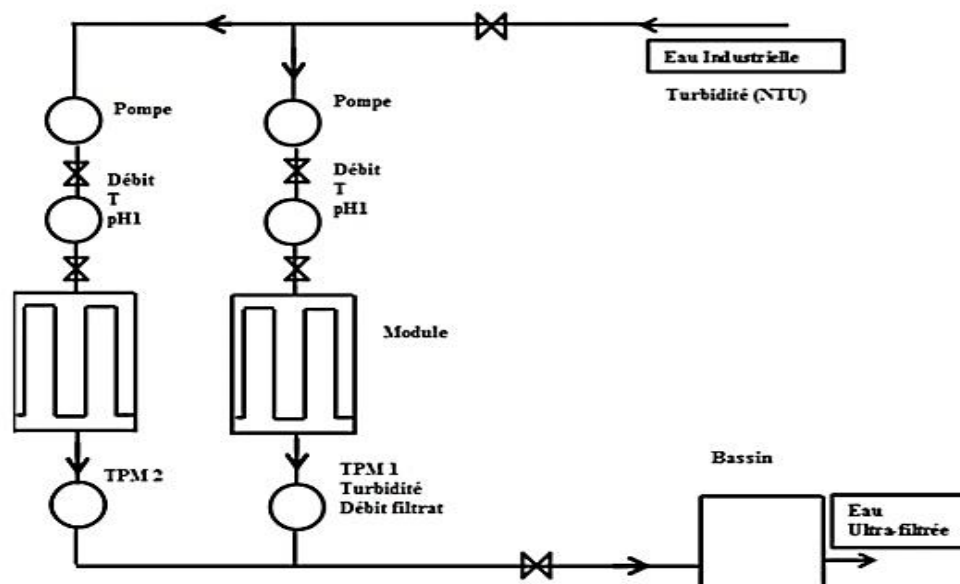
**Fig.I.5-** Installation d'osmose inverse



**Fig.I.6-** Installation d'ultrafiltration

- **L'ultrafiltration**

L'eau industrielle est acheminée vers chaque rack membranaire. Elle traverse la paroi en fibres creuses de l'extérieur à l'intérieur. Ensuite, l'eau traitée est stockée dans une bache. La turbidité de l'eau filtrée est vérifiée en sortie.



**Fig.I.7-** Système d'ultrafiltration

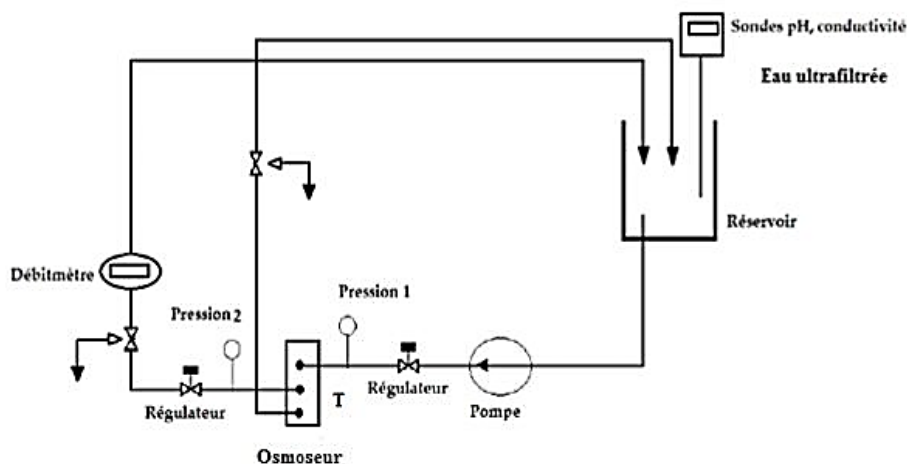


- **Osmose inverse**

L'eau ultrafiltrée, stockée dans la bache, est utilisée pour le dessalement. Une pompe à basse pression, permette de transférer cette eau vers la pompe haute pression de l'osmose inverse.

Ensuite, sur ce parcours, l'eau filtrée est conditionnée pour éviter les précipitations de sels. Celle-ci est ensuite micro filtrée au travers des filtres à cartouches nominale de 5 micromètres.

Une pompe haute pression élèvera la pression jusqu'à 15 bars pour permettre le passage au travers des membranes d'osmose inverse. Ces pompes sont principalement fabriquées en inox.



**Fig.I.8-** Système d'osmose inverse

Ce circuit, de deux étages, alimente l'installation d'osmose. A la sortie du deuxième étage, le perméat est collecté et contrôlé comme au premier étage en conductivité et en débit. Les perméats de premier et deuxième étage sont collectés et dirigés vers la bache d'eau traitée (eau osmosée).

### **b- Utilisation de l'eau déminéralisée**

L'eau déminéralisée est utilisée pour l'alimentation des chaudières de vapeur surchauffée.

**I.4.2.2- Conclusion**

Nous avons contourné les traitements de l'eau déminéralisée qui est exploitée dans la chaudière SITERM que nous allons étudier. Ces descriptions vont nous permettre de discerner la composition de l'eau alimentaire et de suivre les paramètres et les éléments contribuant à sa qualité. Comme notre étude est concentrée sur la chaudière alimentée en eau déminéralisée, nous avons donc consacré deux chapitres de revues bibliographiques, en faisant une synthèse littéraire exclusive aux procédés membranaires de fabrication des eaux osmosées afin de mieux comprendre cette technique et d'avoir une revue générale sur cette exploitation et une synthèse littéraire sur les chaudières et notamment celle du type utilisé dans le site de notre étude.

## Chapitre II : Séparation membranaire

## II- SEPARATION MEMBRANAIRE :

### II.1- Introduction

La filtration membranaire est une technique très largement utilisée dans le domaine du traitement de l'eau. Dans ce chapitre, on va présenter les généralités des membranes et leurs classifications. Ensuite, nous faisons une description sur les procédés membranaires à gradient de pression et nous détaillons les membranes des procédés d'ultrafiltration et d'osmose inverse.

### II.2- Généralités sur les membranes

#### II.2.1- Définition des membranes

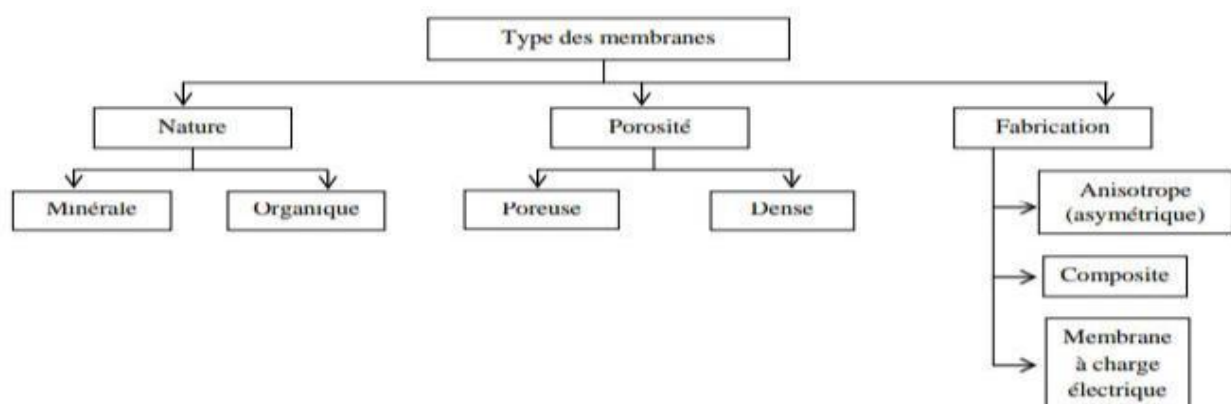
La membrane est une fine couche semi-perméable qui agit comme barrière sélective qui sépare les substances dissoutes ou insolubles sous l'action d'une force chimique (concentration) ou physique (pression) [6].

Le résultat du fonctionnement membranaire est la séparation du fluide à traiter en deux parties de concentrations différentes :

- Le Retentât contenant des molécules ou particules retenues par la membrane
- Le Perméat contenant des molécules qui traversent la membrane.

#### II.2.2- Classification des membranes

Dans ce schéma est configuré le classement des membranes :



**Fig.II.1- Classification des membranes [6]**

**II.3- Procédés membranaires à gradient de pression**

Actuellement, il ya quatre procédés membranaires :

- La microfiltration (MF),
- La nanofiltration (NF),
- L'ultrafiltration (UF)
- L'osmose inverse (OI).

Ces techniques sont des opérations de séparation à travers une membrane sous l'action d'un gradient de pression [8] ; on les résume dans le tableau suivant :

**Tab.II.1-** Procédés membranaires à gradient de pression

Procédé	Microfiltration (MF)	Ultrafiltration (UF)	Nanofiltration (NF)	Osmose inverse (OI)
Membranes	poreuse	Poreuse	Poreuse	dense
Diamètre des pores (nm)	100 à 10000	1 à 100	1 à 10	-
Pression du travail (bars)	0,1 à 2	2 à 5	5 à 25	20 à 80
Seuil de coupure (Dalton)	-	$10^3 - 10^6$	200 – 1000	< 200
Perméation de	Solvants, matières dissoutes	solvants, sels et petites molécules	solvants, et petites molécules	solvant
Rétention de	Particules, colloïdes	macromolécules, colloïdes	petites molécules	sels
Exemple d'application	Clarification des eaux	Concentration de solutions Macromoléculaires	Adoucissement des eaux	Déminéralisation des eaux

**II.4- Membranes utilisées dans la zone Est de la division fluide****II.4.1- Membrane de l'ultrafiltration ProMinent**

Dans la zone Est, il utilisé des membranes de matériau poly sulfoné et fonctionnant en filtration Externe/Interne, en pression et avec rétro-lavage aéré [6].

**II.4.1.1- Avantage des membranes utilisées :**

- La qualité de l'eau filtrée est constante quelle que soit de la qualité de l'eau brute.
- Réduire des valeurs de la turbidité qui dépassent 500 NTU à des valeurs inférieures à 0,2 NTU.
- La qualité de l'eau filtrée est indépendante de la configuration de l'installation.
- Retient toutes les bactéries en une seule étape.
- La filtration ne nécessite pas l'ajout de produits chimiques car elle est mécanique.
- Le rétrolavage ne produit que des particules naturelles retenues lors de la filtration et de faibles concentrations de chlore injecté lors de cette opération.
- Minimiser la main-d'œuvre à cause de la stabilité de fonctionnement du processus.

**II.4.1.2- Les rétro-lavages**

Une partie de la production d'eau ultrafiltrée est utilisée pour assurer les rétro-lavages. La cuve servant de réserve d'eau ultrafiltrée pour rétro-lavages doit assurer que l'eau d'ultrafiltration ne soit pas polluée par des particules avant de traverser le module à contre-courant.

Les cycles de rétro-lavage se produisent à intervalles réguliers (typiquement 60 minutes) et durent 70 secondes par de modules installés.

L'eau traitée est pompée dans la bêche d'eau ultrafiltrée. Du chlore (3 à 10 ppm) est injecté sous forme d'eau de javel dans l'eau utilisée pour le rétro-lavage.

### II.4.1.3- Caractéristiques techniques de l'installation

Les caractéristiques techniques de l'installation sont rassemblées dans ce tableau :

**Tab.II.2.** Caractéristiques de la membrane ultrafiltration

Matériau de membrane	Polysulfoné
Porosité nominale de membrane ( $\mu\text{m}$ )	0,01
Configuration de membrane	Fibre creuse
Filtration de membrane	Externe/Interne
Type de module	UFP 240
Longueur de module (mm)	1700
Diamètre de module (mm)	610
Surface filtrante de module $\text{m}^2$	40 par module
Nombre de modules par rack membranaire	2
Nombre de total modules pour les 2 racks	4
Nombre de racks membranaires	2
Type de fonctionnement	Frontal
Pression transmembranaire (bars)	0 - 1,5

### II.4.2- Membrane de l'osmose inverse OI

La membrane d'osmose inverse utilisée est fabriquée par **Nitto Hydranautics**, Modèle **CPA5-LD** ; il s'agit d'un module membranaire spiralé.



**Fig.II.2-** Membrane d'osmose inverse modèle CPA5-LD[9]

#### II.4.2.1- Avantages de la membrane

- LD diminue l'encrassement colloïdal
- Les membranes CPA établissent la norme pour les éléments
- Les membranes CPA donnent les taux de rejet de sel les plus élevés disponibles de chaque élément de chaque commande pour chaque client [9].

#### **II.4.2.2-Caractéristiques techniques de l'installation**

La fiche technique d'une unité d'osmose est indiquée dans le tableau suivant :

**Tab.II.3.** Caractéristique de la membrane d'osmose inverse

Débit d'eau pure à 25°C (m³/h)	35
Pression (bar)	10
Rendement (%)	Max 75
Consommation en eau brute (m³/h)	50
Pression en eau brute nécessaire (min/max.) (bar)	3 / 6
Seuil de rejet du sel (%)	>90-95
Alimentation (V/Hz)	400/50
Puissance (kW)	22
Dimensions OI (mm) : H.L.l	1800x7500x1100
Dimensions de la cuve de nettoyage (mm)	1070260

#### **II.5- Conclusion**

Dans ce chapitre, il en ressort de par la synthèse bibliographique des différentes techniques de séparation membranaire à gradient de pression que, notamment, l'ultrafiltration et l'osmose inverse conviennent à produire une eau conforme à l'alimentation des chaudières.



## Chapitre III : Présentation des chaudières

### III- PRESENTATION DES CHAUDIERES

#### III.1- Introduction

Une chaudière est un appareil qui chauffe l'eau pour produire la vapeur. Cette dernière sous pression joue un rôle important dans la plupart des activités industrielles.

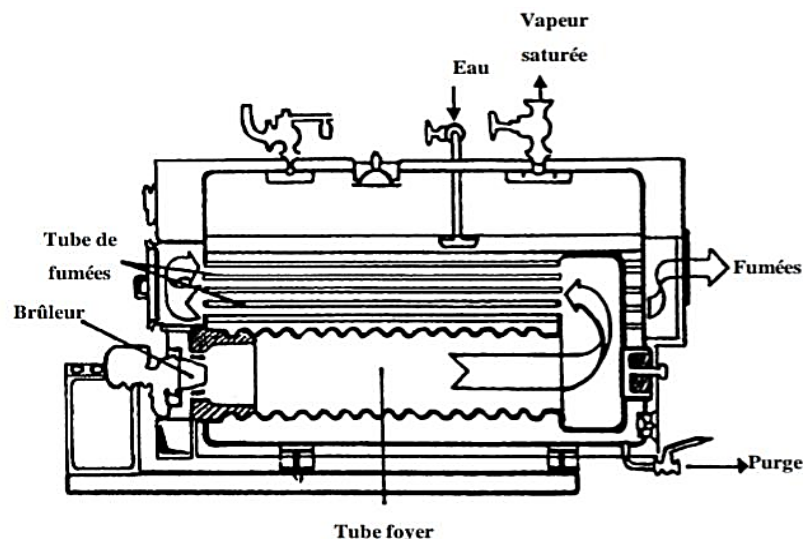
#### III.2- Différents types de chaudières

Il existe deux types de chaudières à combustible [10] :

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

##### III.2.1- Les chaudières à tubes de fumée :

- Parcourues intérieurement par les gaz.
- Un débit de vapeur saturée de 1 à 25 tonnes/heure, en basse et moyenne pression.
- Le combustible utilisé est soit du gaz soit du fioul.

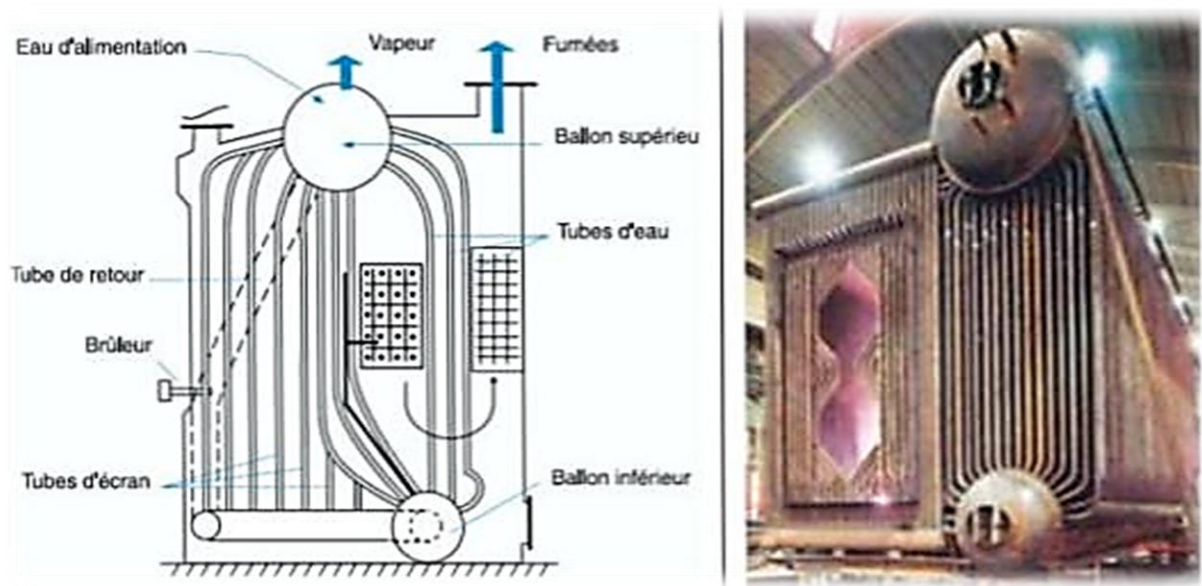


**Fig.III.1-** Principe de fonctionnement de la chaudière [10]

##### III.2.2- Les chaudières à tubes d'eau :

- Parcourues intérieurement par l'eau

- Un débit de vapeur saturée supérieur à 20 tonnes/heure, en moyenne et haute pression.
- Le combustible utilisé est soit du gaz, du fioul, du charbon
- Elles possèdent deux réservoirs appelés ballon distributeur (en partie inférieure) et ballon collecteur (en partie supérieure), reliés par un faisceau de tubes vaporisateurs ; dans cet ensemble circule l'eau qui se transforme en vapeur.



**Fig. III.2-** Schéma d'une chaudière à tubes d'eau [10]

### III.2.3- Comparaison des performances des chaudières

Il ya des différences entre ces deux types de chaudières [10] ; elles sont résumées dans le tableau ci-joint :

**Tab.III.1.** Comparaison des performances des chaudières

<b>Propriétés</b>	<b>Chaudières à tubes de fumée</b>	<b>Chaudières à tubes d'eau</b>
<b>Mise en route(à puissance équivalente)</b>	Lente (grand volume d'eau à chauffer)	Rapide
<b>Adaptation aux changements de régime</b>	Médiocre (inertie importante)	Bonne
<b>Surface de chauffe</b>	Moyenne	Élevée
<b>Sécurité</b>	Médiocre	Bonne
<b>Encombrement</b>	Faible	Fort
<b>Prix</b>	Limité	Élevé
<b>Applications usuelles</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Puissance</li> <li>• Débit</li> <li>• Timbre (pression max. d'utilisation)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Moyennement élevée</li> <li>• 1,5 à 25 t/h</li> <li>• 10 à 20 bars</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Importante</li> <li>• 4 à 200 t/h</li> <li>• 90 à 100 bars(en circulation naturelle) et jusqu'à 225 bars (en circulation forcée)</li> </ul>

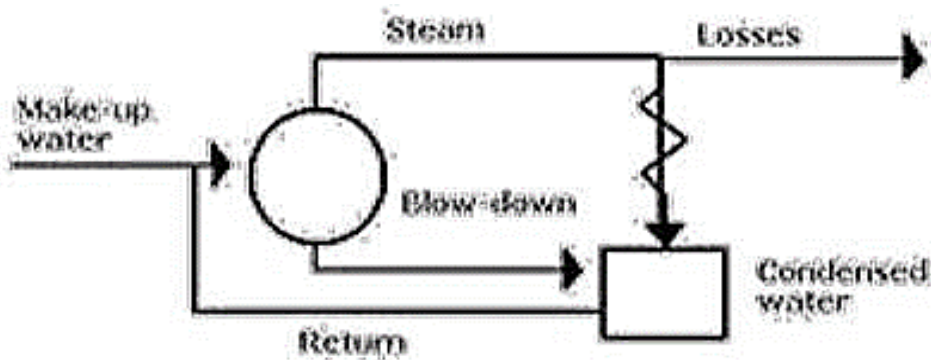
**III.3- Description détaillée des chaudières à tube d'eau**

**III.3.1- Éléments de chaudière à tube d'eau [11]**

- **Ballon supérieur** : Ce ballon alimente le ballon inférieur à travers les tubes de descentes et il doit assurer que la vapeur entrant dans le surchauffeur soit la plus pure possible.
- **Ballon inférieur** : il est le point de départ de l'eau de circulation à travers les faisceaux tubulaires et les tubes écrans.
- **Ballon de séparateur** : il est alimenté en vapeur saturée, venant du ballon supérieur via les tubes de liaison.
- **Economiseur** : réchauffage d'eau alimentaire.
- **Surchauffeur** : il produit de la vapeur surchauffée
- **Désurchauffeur** : La régulation de la température de la vapeur surchauffée peut se faire par l'injection de l'eau alimentaire prise au refoulement de la pompe alimentaire, et la vapeur motrice vient du ballon séparateur.
- **Brûleur à gaz** : générer la combustion du combustible
- **Chambre de combustion ou Foyer** : renferme la flamme de combustion. Elle se compose par les éléments suivants :
  - Mur avant
  - Mur arrière
  - Murs latéraux à droite, à gauche
- **Cheminée** : est élevée pour augmenter la circulation des gaz de combustion
- **Faisceau tubulaire** : il assure un échange de chaleur entre deux fluides : Le fluide chaud formé par la combustion et le fluide froid formé par l'eau chaude.
- **Faisceau de liaison** : il assure le passage de la vapeur saturée, générée dans le ballon supérieur, vers le ballon de séparateur et il permet le retour des condensats dans le sens inverse.
- **Tubes écrans** : Ce sont des tubes qui sont en contact avec la flamme

**III.3.2- Cycle de l'eau dans la chaudière**

Le circuit d'eau d'une chaudière peut être résumé par le schéma suivant: [12]



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

La chaudière reçoit l'eau d'alimentation, qui se compose de diverses proportions d'eau condensée récupérée (eau de retour) et d'eau douce qui a été purifiée à degrés variables (eau d'appoint). L'eau d'appoint est généralement de l'eau naturelle à l'état brut, ou traitée par certains procédés.

### III.4- Description de la chaudière SITERM

#### III.4.1- Présentation de la chaudière installée au niveau de la zone Est

Elle est une chaudière à tube d'eau nommée SITERM de type SB-30, de marque Turque fabriquée en Istanbul en 2016 :



**Fig.III.4-** La chaudière SITERM de la zone EST du Complexe SIDER- EL HADJAR

– Annaba.

Ses caractéristiques sont englobées dans ce tableau :

**Tab.III.2.** Caractéristiques de la chaudière SITERM

Capacité	30 T/h
Volume	15 m <sup>3</sup>
Pression d'opération	15 bars
Température de travail	240°C
Température de l'eau d'alimentation	102°C
Combustible	Gaz naturel
Fluide	Vapeur

#### **III.4.2- Qualité de l'eau de chaudière et d'alimentation**

L'analyse de l'eau de chaudière aux échantillons obtenus doit fournir les valeurs indiquées ci – dessous et la qualité de l'eau d'alimentation envoyée à la chaudière est très importante en ce qui concerne le fonctionnement sans problème des équipements installés, et pour cela, la qualité de l'eau alimentaire doit respecter les valeurs indiquées ci – jointes :

**Tab.III.3.** Normes des valeurs des différents paramètres caractérisant les eaux alimentaires des chaudières à tube d'eau [12] :

Pression de service des chaudières	5-15	15-40	40-60	60-75
<b>Caractéristiques des eaux d'alimentation des chaudières</b>				
pH	≥8,5	≥8,5	≥8,5	≥8,5
TH (°f)	<0,20	<0,10	<0,05	<0,05
O <sub>2</sub> (mg/l)	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Fe total (mg/l)	<1	<0,05	<0,05	<0,03

Cu total (mg/l)	<0,05	<0,03	<0,03	<0,01
<b>Caractéristiques des eaux de chaudières</b>				
pH	10-12	10-11	10-11	10-11
TAC (°f)	≤25	≤20	≤15	≤10
TA (°f)	TA ≥ 0.5 TAC impératif	TA ≥ 0.5 TAC impératif	TA ≥ 0.5 TAC impératif	TA ≥ 0.5 TAC impératif
TH (°f)	0	0	0	0
Salinité totale (mg/l)	≤900	≤700	≤500	≤300
Cl <sup>-</sup> (mg/l)	≤200	≤150	≤100	≤50
NaOH (mg/l)	<30	<20	<10	<5
SiO <sub>2</sub> (mg/l)	≤20	≤20	≤15	≤10
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (mg/l)	30-80	20-60	10-40	5-20

Dans le cas de la chaudière SITERM et selon la littérature [11], voici tous les paramètres physico-chimiques de l'eau alimentaire qui devraient être analysés : pH, TH, TA, TAC, TDS, MES, Conductivité, Cl<sup>-</sup>, Silice (SiO<sub>2</sub>), Fer (Fe), Sulfate (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>), NaOH libre, O<sub>2</sub> dissous...

### III.5- Problèmes rencontrés dans les chaudières

D'après la littérature [13], Les principaux problèmes recensés, dus à la mauvaise qualité de l'eau, sont : le primage, l'entartrage et la corrosion.

- **Le primage** : est le processus d'entraînement excessif de la vapeur dans les liquides, ce qui entraîne une diminution de la vapeur et le dépôt de cristaux salins sur les surchauffeurs et les turbines.
- **L'entartrage** : est provoqué par les sels minéraux solubilisés dans l'eau  
Il s'agit, entre autres, des :

- bicarbonates et carbonates de calcium et de magnésium



- Sulfates de calcium.
- **La corrosion** : est un phénomène chimique et électrochimique, dû à l'action directe ou indirecte des gaz, des sels minéraux ou des bactéries contenues dans l'eau, qui provoquent la détérioration d'un métal.

### III.6. Conditionnement des eaux de chaudières:

Il est nécessaire de conditionner les eaux de chaudières par des réactifs pour protéger les installations des risques évoqués précédemment (primage, entartrage, corrosion)

[14]. Les principes du conditionnement sont les suivants :

- Régler le pH de l'eau: utilise des alcalinisants
- Eviter la précipitation des sels: utilise des dispersants-complexant
- Dégazer l'eau alimentaire physiquement et diminuer l'oxygène dissous : utilise de réducteurs
- Neutraliser le CO<sub>2</sub> de l'eau alimentaire par décomposition des carbonates et bicarbonates : utilise des amines volatiles
- Eviter le primage : utilise des anti primages

Les réactifs les plus utilisés sont :

- **Les phosphates** : utilisés pour régler le pH et éliminer la dureté
- **Les dispersants – complexant** : tel que l'EDTA qui permet de maintenir les matières en suspension
- **Les réducteurs** : comme le sulfite de sodium qui est un inhibiteur de corrosion.

Les produits injectés dans la chaudière étudiée [11], sont :

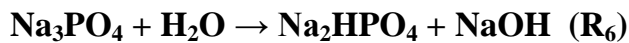
- **L'hydrazine** : malgré sa toxicité, l'hydrazine est le produit anticorrosion le plus utilisé depuis les années 1960. Cependant sa volatilité est faible et il restera essentiellement dans l'eau. Il n'augmente pas la teneur en sel de l'eau en chaudière. Elle réduit l'oxygène.

Sa réaction avec l'oxygène est :



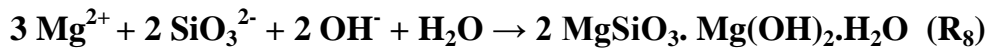
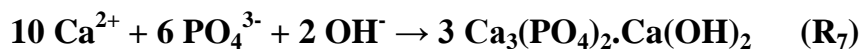
Sa dose dans l'industrie est 0,005 mg/L

- **Le phosphate** : une technique ancienne pour assurer un pH alcalin dans l'eau de chaudière consiste en l'addition de phosphate trisodique ( $\text{Na}_3\text{PO}_4$ ), peut être en mélange avec du phosphate disodique ( $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ ). 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 qu'il réagit avec les sels de calcium, de magnésium et de silice pour former des précipités non adhérents qui peuvent être aisément éliminés, sous forme de boues, avec les purges :



Sa dose dans l'industrie est 5 kg par jours [14].

A partir de 2019, ces deux produits ont été remplacés par le **Cetamine G 810** à cause des raisons économiques et de santé. Ce produit crée une couche filmante, isolante et protectrice dans les tubes.

Son dosage dépend du taux de concentration de l'eau au sein du générateur de vapeur. Le taux de concentration est défini par le rapport du TAC admissible en chaudière sur celui de l'eau d'appoint. Sa dose dans l'industrie est estimée à 20 g/m<sup>3</sup> [14].

### III.7- Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons étudié de manière générale les chaudières et de manière Détaillée la chaudière installée dans la zone Est : son fonctionnement, ses éléments et son type de conditionnement. Cette étude va nous aider, lors de la partie pratique, à

mieux visualiser les paramètres qui devraient être analysés et contrôler, de ce fait, la qualité des eaux alimentaires de la chaudière en la comparant aux normes des teneurs des eaux exigées et, en outre, suivre la qualité des eaux de chaudière pour voir l'évolution des teneurs de l'eau circulante, projeter leurs conséquences et proposer des solutions.

## Chapitre IV : Etude expérimentale

**IV- ETUDE EXPERIMENTALE****IV.1- Problématique :**

Durant notre période de stage (du mois de mars à avril 2023), on a visité la division fluide de la zone Est du complexe de SIDER de EL HADJAR à Annaba. Cette division assure la production des différents fluides : l'eau industrielle, l'eau déminéralisée, la vapeur surchauffée, etc.

Cette production est importante pour la majorité des activités du complexe.

L'installation de cette division est très ancienne, depuis une cinquantaine d'années, comptant divers problèmes.

Parmi les multiples défaillances qu'a vécues cette division, on cite l'exploitation de l'adoucissement de l'eau qui fut remplacée par l'installation de la filtration membranaire. La problématique était que l'eau adoucie était fréquemment non conforme à une qualité d'eau alimentaire des chaudières causant, entre autres, l'arrêt des chaudières. De ce fait, l'eau adoucie a été remplacée par l'eau déminéralisée convenant à l'alimentation des chaudières.

Pour notre fin de cycle de formation en Génie des Procédés de l'Environnement, on a préféré mettre en application notre acquis théorique à des fins de l'étude de l'installation de la chaudière SITERM alimentée par une eau déminéralisée. Cette chaudière d'installation, moyennement récente, a recensé, en générale, peu de problèmes, mis à part, ces constats :

- Eclatement des pores de bac à cause de débit et de pression élevés,
- Les fuites d'eau causées par la rupture des canalisations,
- Corrosion et entartrage des équipements.

La corrosion et l'entartrage sont indéfiniment les conséquences d'un mauvais traitement de l'eau. Dans le cas de l'eau industrielle produite dans l'installation de la zone Est du complexe, sa qualité médiocre subsiste car :

- Un des deux décanteurs de la station est continuellement à l'arrêt, se répercutant sur la cadence du débit de traitement. Ce dysfonctionnement a probablement affecté la qualité des eaux industrielles qui sont à leur tour

distribuées aux différents secteurs, entre autres, pour la production d'eau déminéralisée,

- En saison hivernale, la charge élevée en MES du barrage se répercute sur la maîtrise du traitement.

Généralement la chaudière a un problème de corrosion malgré qu'elle est conditionnée parce que :

- L'augmentation de la température et l'injection des réactifs chimiques provoquent une augmentation des concentrations de certains éléments dans le mécanisme,
- Un mauvais traitement anticorrosion,
- Mauvais conditionnement par les réactifs et d'autant plus quand la qualité de l'eau auparavant traitée n'est pas dans les normes exigées,
- Il y a d'autre type de corrosion par fatigue qui peuvent se produire dans les chaudières lorsque l'eau est mal traitée.

Apparemment, d'après la problématique, on voit qu'en générale, c'est la qualité de l'eau industrielle qui est remise en question.

Par conséquent, dans cette partie pratique de notre mémoire, on va exposer le suivi de la qualité de l'eau alimentaire de la chaudière étudiée et le contrôle de la qualité de l'eau circulante pour en tirer une conclusion et proposer une perspective.

#### **IV.2- Objectif de l'étude**

Notre objectif est de suivre et contrôler la qualité de l'eau d'alimentation de la chaudière SITERM Sider El Hadjar Annaba. Pour y faire nous avons collecté les données de performances analytiques du laboratoire central du complexe pour le suivi de la qualité de l'eau et durant notre période de stage, on a fait des analyses physico-chimiques de l'eau alimentaire et l'eau de la chaudière à des fins de contrôle.

Ce contrôle des eaux va nous aider à déterminer ses qualités par comparaison aux normes (consulter **page 26**) et à déduire le caractère de l'eau d'alimentation de la chaudière par l'exploitation de l'indice de stabilisation.

**IV.3- laboratoire d'analyses**

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

Pendant notre période de stage, nous avons visité celui des analyses des eaux.

**IV.3.1- Laboratoire des eaux**

Son rôle est l'analyse et la mesure de la qualité physico-chimique et biologique des eaux sidérurgiques.

**IV.3.2- Matériels et méthodes****IV.3.2.1- Echantillonnage**

Durant une quinzaine de jours de stage, nous avons effectué des analyses physico-chimiques de l'eau d'alimentation et de l'eau de la chaudière SITERM, programmés le matin à 09h30.

On prélève un échantillon dans des flacons en plastique de 1,5 litres de chaque type d'eau suivant chaque étape de traitement pour être analysés au laboratoire central.

Chaque flacon doit porter une étiquette indiquant :

- ✓ Le site du prélèvement ;
- ✓ Le lieu ;
- ✓ La date et l'heure du début de prélèvement ;

Les bouteilles sont rincées plusieurs fois avec l'eau à analyser puis remplies jusqu'au bord.

Pour l'eau alimentaire, les échantillons sont obtenus auprès du dégazeur.

Pour l'eau de chaudière, les échantillons sont obtenus auprès de l'allumage du tambour à vapeur de chaudière.

Après le prélèvement des échantillons, les bouteilles sont bien fermées pour éviter l'évaporation et tout contact avec l'environnement.

**IV.3.2.2- Les méthodes des analyses**

Les paramètres physico-chimiques retenus sont :le titre alcalimétrique TA, le titre alcalimétrique complet TAC, le titre hydrotimétrique TH, le calcium  $\text{Ca}^{2+}$ , le magnésium  $\text{Mg}^{2+}$ , les chlorures  $\text{Cl}^-$ , la température , le pH , la conductivité et les sels dissous totaux TDS ; les autres paramètres énoncés en bibliographique en **page 27** ne sont pas analysés pour des causes de manque de moyens, des réactifs et de protocole, etc.

Les paramètres physico-chimiques étudiés et les méthodes de mesure utilisées sont résumés dans le tableau suivant et pour plus de détail sur les méthodes des analyses déployées, consulter **l'annexe 1** :

**Tab.IV.1-** Paramètres physico-chimiques et méthodes de mesure

Paramètres	Unités	Méthodes	Instruments	Normes
TA	°f	Volumétrique	/	NF T90-036
TAC	°f	Volumétrique	/	NF T90-036
TH	°f	Volumétrique	/	NF T90-003
$\text{Ca}^{2+}$	°f	Volumétrique	/	NF T90-016
$\text{Mg}^{2+}$	°f	Mathématique	/	
$\text{Cl}^-$	mg/L	Volumétrique	/	NF T90-14
pH	/	Électrochimique	pH-mètre	NFT 90-008
$\chi$	$\mu\text{s}/\text{cm}$	Conductimétrique	Conductimètre	NF T90-031
Turbidité	NTU	Néphélométrique	Spectrophotomètre	ISO-7027



**IV.4- Résultats et exploitation des analyses des eaux étudiées****IV.4.1- Résultats des analyses de l'eau alimentaire**

Les résultats d'analyses de l'eau alimentaire sont rassemblés dans le tableau suivant :

**Tab.IV.2.** Résultats d'analyse de l'eau alimentaire

Date	TA (°f)	TAC (°f)	TH (°f)	Ca <sup>2+</sup> (°f)	Mg <sup>2+</sup> (°f)	Cl <sup>-</sup> (mg/L)	T (°C)	pH	TDS (mg/L)	χ (μS/cm)
01/03/2023	0	0,6	0,6	0,4	0,2	7,1	15,5	7,15	6,0	12,3
02/03/2023	0	0,6	0,6	0,4	0,2	7,1	16,5	7	6,0	13,2
05/03/2023	0	0,6	0,6	0,4	0,2	7,1	14,7	7,15	5,0	11,4
09/03/2023	0	0,6	0,6	0,4	0,2	7,1	16,9	7,20	6,0	12,2
12/03/2023	0	0,6	0,6	0,4	0,2	7,1	19,5	7,0	7,0	14,3
13/03/2023	0	0,6	0,6	0,4	0,2	7,1	19,5	7,0	7,0	15,0
14/03/2023	0	0,6	0,6	0,4	0,2	7,1	19,2	7,0	8,0	16,6
15/03/2023	0	0,6	0,6	0,4	0,2	7,1	19,3	7,5	9,0	19,4
16/03/2023	0	0,6	0,6	0,4	0,2	7,1	18,5	7,10	8,0	16,9
19/03/2023	0	0,6	0,6	0,4	0,2	7,1	18,8	7,0	8,0	17,1
20/03/2023	0	0,6	0,6	0,4	0,2	7,1	14,5	7,70	16,4	11,0

**IV.4.2- Résultats des analyses de l'eau de chaudière SITERM**

L'eau alimentaire passe par un traitement chimique par injection des produits déjà cités en chapitre III (paragraphe 6) avant qu'elle circule dans la chaudière.

Les résultats de l'analyse de cette eau sont indiqués dans le tableau suivant :

Tab.IV.3. Résultats d'analyse de l'eau de chaudière SITERM

Date	TA (°f)	TAC (°f)	TH (°f)	Ca <sup>2+</sup> (°f)	Mg <sup>2+</sup> (°f)	Cl <sup>-</sup> (mg/l)	pH	TDS (mg/L)	T (°C)	$\chi(\frac{S}{cm})$
01/03/2023	7,0	8,2	4,6	4,4	0,2	35,5	11,83	202	18,3	430
02/03/2023	8,4	10	4,4	4,2	0,2	35,5	11,69	239	15,7	505
05/03/2023	6,6	8,8	3,8	3,6	0,2	35,5	11,79	249	16,1	532
09/03/2023	8,8	10,2	3,2	3,0	0,2	42,6	11,85	263	23,0	560
12/03/2023	8,9	9,4	3,6	3,4	0,2	63,5	12,05	292	22,4	622
13/03/2023	10	11,6	8,0	7,4	0,6	71,0	11,53	627	18,0	800
14/03/2023	6,4	7,8	3,2	3,0	0,2	35,5	12,87	226	20,9	482
15/03/2023	5,0	6,8	3,8	3,6	0,2	42,6	11,44	181	21,4	386
16/03/2023	5,0	7,0	3,8	3,4	0,4	42,6	12,73	186	20,3	397
19/03/2023	5,0	6,8	3,8	3,4	0,2	42,6	11,52	168	19,7	357
20/03/2023	14,2	16,6	6,6	6,4	0,4	56,8	11,60	732	15,0	870

#### IV.4.3- Détermination du caractère de l'eau alimentaire

Il existe différentes méthodes permettant la mesure et la caractérisation de la tendance d'une eau. Parmi ces méthodes, on a choisi d'exploiter la relation de l'indice de RYZNAR car il a été prouvé de sa réelle tendance à l'échelle industrielle.

Cette relation de Ryznar [16] est un indice ( $I_R$ ) qui permet de définir la tendance de l'eau aérée.

Il est déterminé par la formule suivante :

$$I_R = 2 \text{ pH}_s - \text{pH}$$

Le  $\text{pH}_s$  est calculé à partir de la formule empirique, détaillée ci-dessous :

$$\text{pH}_s = (9,3 + A + B) - (C + D)$$

Où :

$$A = ((\text{Log (salinité)}) - 1) / 10 \quad \text{TDS en mg.L}^{-1}$$

$$B = -13,12 \times \text{Log}(T) + 34,55 \text{ où } T \text{ en } ^\circ\text{C} + 273$$

$$C = \text{Log}(\text{dureté calcique}) - 0,4 \text{ où } \text{Ca}^{2+} \text{ en mg.L}^{-1}$$

$$D = \text{Log}(\text{TAC}) \text{ où TAC en mg.L}^{-1}$$

**Tab.IV.4.** Tendance de l'eau suivant  $I_R$  [16]

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

Les résultats de l'exploitation de cette méthode sont indiqués dans le tableau suivant :  
(pour les applications numériques voir les détails en annexe 2)

**Tab. IV.5.** Résultats de l'exploitation de la méthode de Ryznar

pH	A	B	C	D	pH <sub>s</sub>	$I_R$
7,15	-0,02	2,29	0,20	0,78	10,59	14,03
7,0	-0,02	2,28	0,20	0,78	10,58	14,16
7,15	-0,03	2,31	0,20	0,78	10,60	14,05
7,20	-0,02	2,27	0,20	0,78	10,57	13,94
7,0	-0,02	2,22	0,20	0,78	10,52	14,04
7,0	-0,02	2,22	0,20	0,78	10,52	14,04
7,0	-0,01	2,22	0,20	0,78	10,53	14,06
7,5	0,00	2,22	0,20	0,78	10,54	13,58
7,10	-0,01	2,24	0,20	0,78	10,55	14,0
7,0	-0,01	2,23	0,20	0,78	10,54	14,08
7,70	0,02	2,31	0,20	0,78	10,65	13,60

#### IV.4.4- Interprétation des résultats

D'après les résultats de l'indice de RYZNAR obtenus du tableau précédent, on trouve une moyenne de  $I_R$  de 13,96

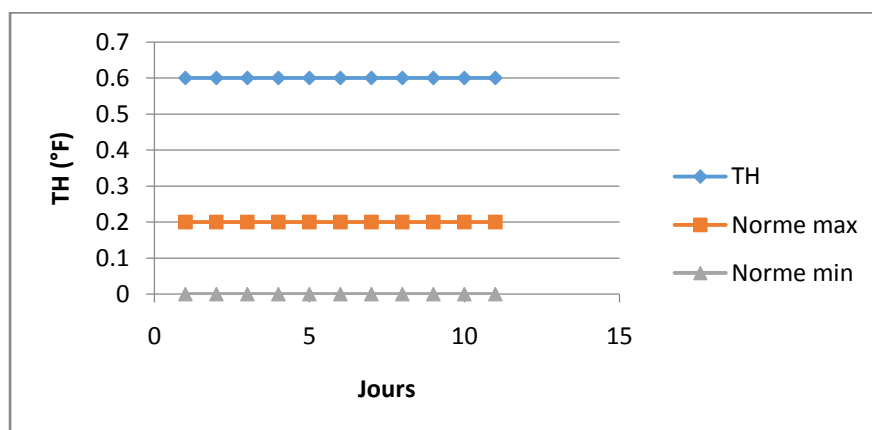
Donc, on conclut que l'eau d'alimentation de la chaudière est de caractère très corrosif ce qui pourrait accuser le mauvais traitement de l'eau.

#### IV.5- Discussion et Interprétation les résultats

##### IV.5.1- Présentation graphique des résultats d'analyses de l'eau alimentaire

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

- **Variation du TH :**



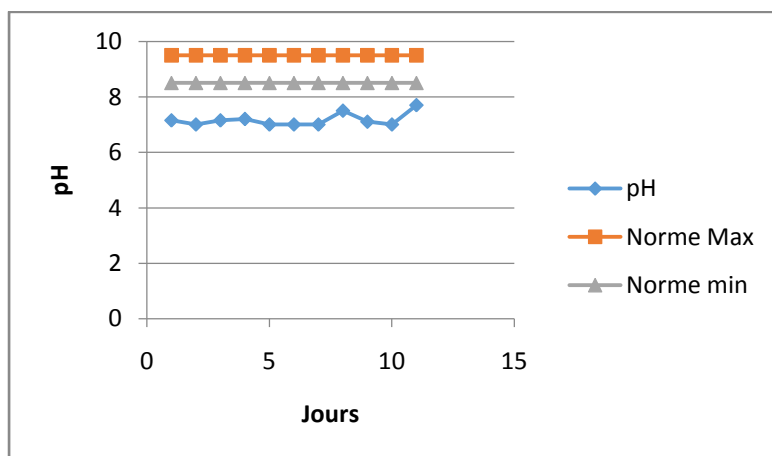
**Fig.IV.1-** Variation du TH de l'eau alimentaire en fonction du temps

D'après la figure IV.1, les valeurs de TH sont stables toute la période de notre stage égales 0,6°F. Elles sont supérieures aux normes qui devraient ne pas dépasser 0,20°F.

Cela indique un mauvais fonctionnement des membranes d'ultrafiltration et d'osmose inverse mais cette dureté n'est pas très élevée pour provoquer les problèmes de tartre que nous avons constatés lors de nos visites de l'installation mais cette dureté avec la présence de l'alcalinité pourrait, dans ce cas et aux conditions de fonctionnement de la chaudière, provoquer des probables tartres risquant des corrosions par aération différentielle.

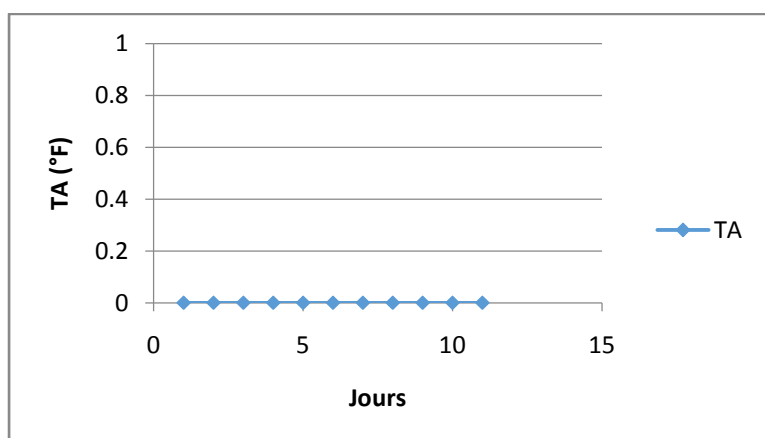
Nous avons réalisé des représentations graphiques (fig IV.2, figIV.3 et figIV.4) pour les valeurs de pH, TA et TAC pour montrer la relation entre eux.

- **Variation du pH :**



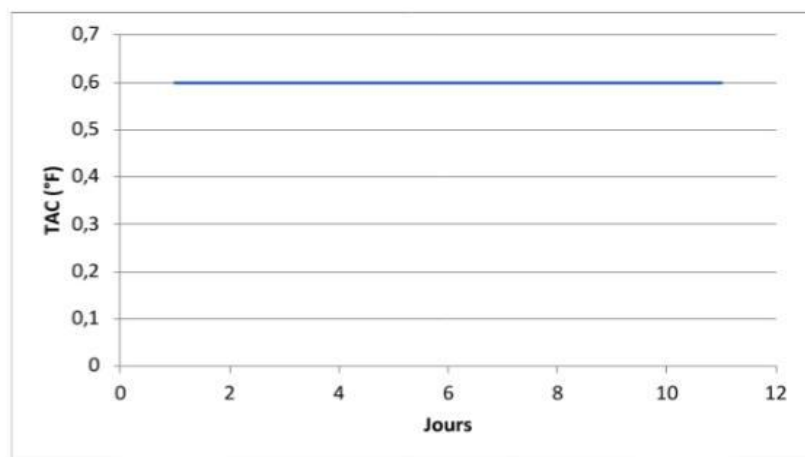
**Fig.IV.2-** Variation du pH de l'eau alimentaire en fonction du temps

- **Variation du TA**



**Fig.IV.3-** Variation du TA de l'eau alimentaire en fonction du temps

- **Variation du TAC :**



**Fig.IV.4-** Variation du TAC de l'eau alimentaire en fonction du temps

Les valeurs de TA et TAC déterminent l'alcalinité (carbonates, bicarbonates, hydroxydes.....) de l'eau.

Elles sont variables suivant le pH.

D'après les représentations graphiques (fig IV.2, figIV.3 et figIV.4), les résultats d'analyses montrent que TA est nul pendant toute la période de notre stage (concentration négligeable en ion  $\text{OH}^-$  et  $\text{CO}_3^{2-}$ ).

Cela indique que le pH de l'eau alimentaire est inférieur à 8,3. Cette eau ne contient que des bicarbonates.

La présence de bicarbonate peut provoquer une forme libre de  $\text{CO}_2$  agressif pour les chaudières.

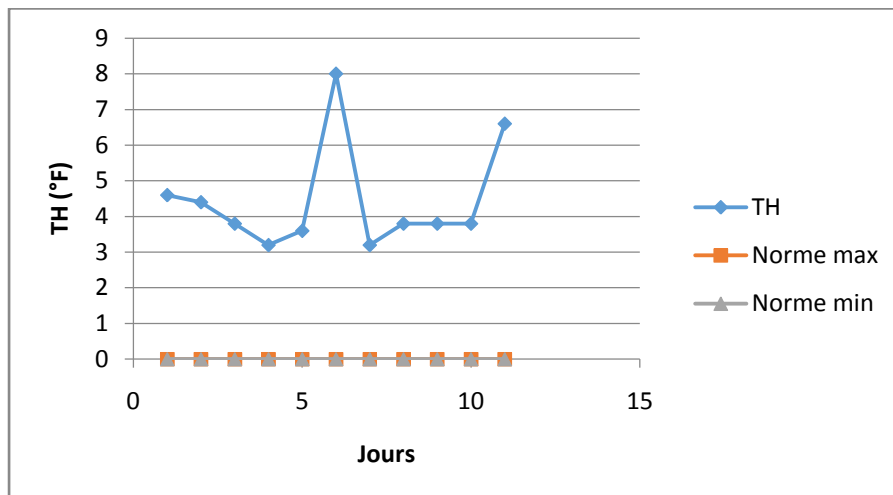
Les valeurs de pH doivent être dans l'intervalle de 8,5 à 9,5 et les résultats d'analyses montrent des valeurs inférieures aux normes avec un caractère légèrement neutre.

Le pH doit être ajusté par l'injection de la soude pour le ramener dans la norme.

#### **IV.5.2- Présentation graphique des résultats d'analyses de l'eau de chaudière**

On représente graphiquement les résultats des caractéristiques de l'eau de la chaudière

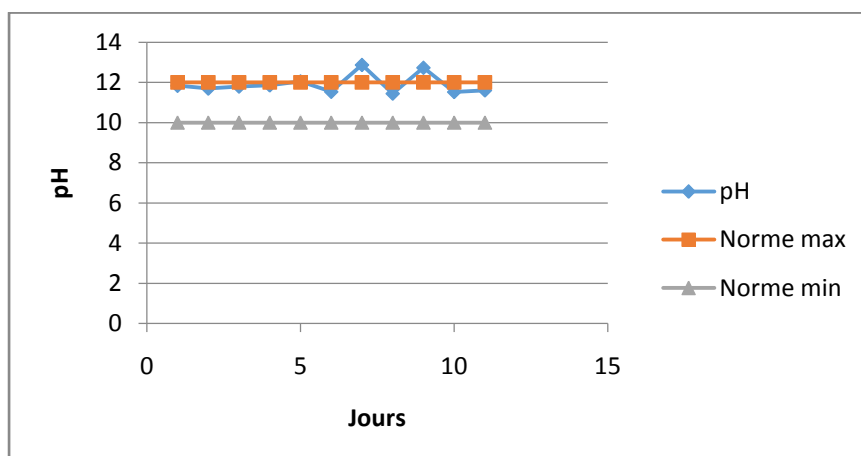
- **Variation du TH :**



**Fig.IV.5-** Variation du TH de l'eau de la chaudière en fonction du temps

D'après la figure IV.5, les valeurs de TH sont supérieures aux normes qui devraient être égales à 0 °f. Cette dureté excessive et de fréquence aléatoire indique un risque et notamment d'entartrage, en outre, ces valeurs sont supérieures à celles de l'eau alimentaire ce qui nous laisse perplexe sur l'origine de cette dureté excessive ; l'explication qu'on pourrait émettre est que cette dureté est d'origine des tartres qui sont restés dans les tubes de la chaudière et avec le temps ils peuvent se détacher et se solubiliser dans l'eau en reformant sur certains sites de la chaudière des élévations de dureté hydrotimétrique.

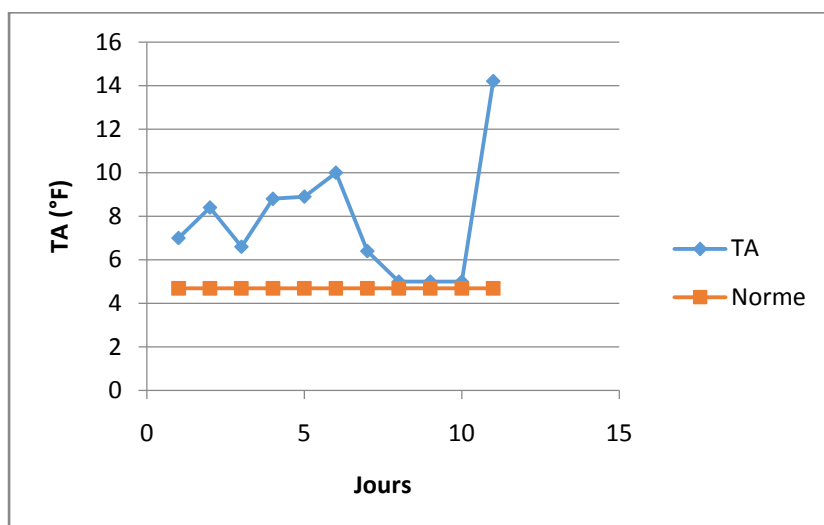
- **Variation du pH :**



**Fig.IV.6-** Variation du pH de l'eau de la chaudière en fonction du temps

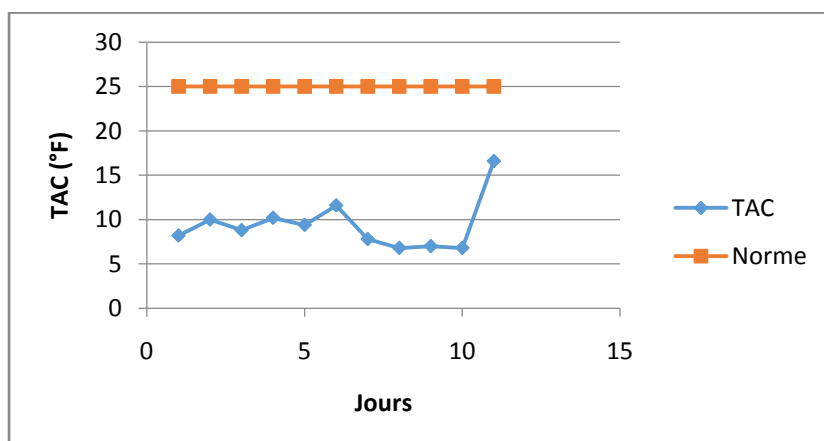
D'après la figure IV.6, on trouve que certaines valeurs de pH de l'eau de chaudière ne respectent pas les normes édictées dans l'intervalle 10-12 avec un caractère basique. Pour parer à ces problèmes, on propose que le pH doit être ajusté par l'injection de la soude ou de l'acide sulfurique au cas où les valeurs sont hors normes.

- **Variation du TA :**



**Fig.IV.7-** Variation du TA de l'eau de la chaudière en fonction du temps

- **Variation du TAC :**



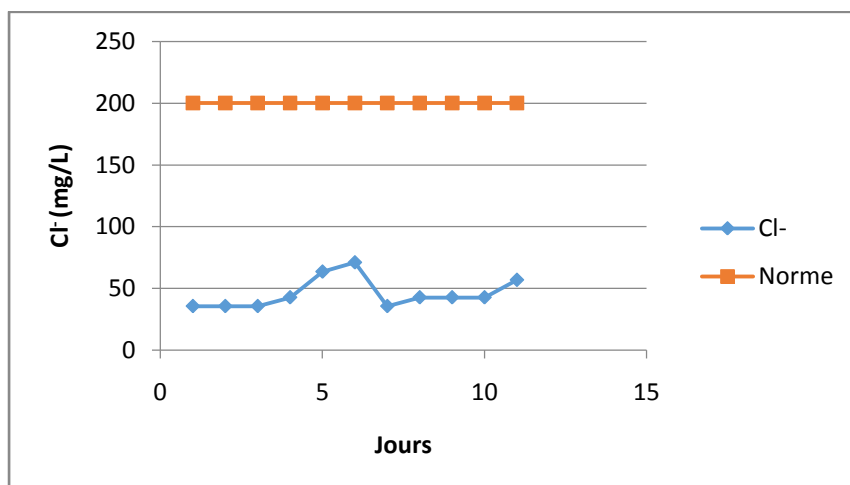
**Fig.IV.8-** Variation du TAC de l'eau de la chaudière en fonction du temps

Selon les normes le TA doit être supérieure ou égale à 0.5 TAC et dans notre cas, on remarque que les résultats des analyses conforment cette norme ( $TA \geq 0.5 \text{ TAC moy}$ ).



Cela indique qu'il y a présence d'hydroxyde et de carbonate et les valeurs de TAC adaptent en outre les normes ( $TAC \leq 25^\circ f$ )

- **Variation du  $Cl^-$  :**



**Fig.IV.9-** Variation du  $Cl^-$  de l'eau de la chaudière en fonction du temps

D'après la figure IV.9, on remarque que les valeurs s'adaptent aux normes qui doivent être inférieures à 200 mg/L.

Donc, normalement, il ne peut pas y avoir de risque de corrosion par piqure à moins que l'influence du milieu (minéralisation de l'eau élevée) peut affecter avec les conditions de la chaudière le matériau des tubes si le conditionnement est mal maîtrisé.

#### IV.6- Conclusion

On a effectué des analyses physico-chimiques pour suivre la qualité de l'eau d'alimentation et l'eau de la chaudière SITERM.

On a comparé les valeurs de certains paramètres physico-chimiques par rapport aux normes (**page 26**), et on a constaté que les valeurs de TA et TAC et  $Cl^-$  sont dans les normes par contre les valeurs de TH et de pH, en général, n'adaptent pas les normes. Cela indique probablement un mauvais traitement de l'eau. Donc, il faut assurer le bon fonctionnement des membranes et ajuster le pH.

D'après le contrôle de la qualité des eaux alimentaires et de la chaudière, il en ressort une tendance corrosive ce qui doit être, de plus urgent, à adapter la bonne mise de conditionnement de la chaudière SITERM.

## CONCLUSION GÉNÉRALE

## CONCLUSION GÉNÉRALE

### Conclusion générale :

Cette étude a eu pour objectif de suivre et de contrôler la qualité de l'eau distribuée à la chaudière SITERM Sider El-Hadjar de la ville de Annaba à travers l'analyse de différents paramètres physico-chimiques de l'eau alimentaire et de l'eau de la chaudière.

Nous pouvons dire que malgré la courte période de notre étude affectée à la zone Est de la division des fluides du complexe de SIDER, nous avons tout de même visité et étudié les différentes méthodes de traitement de l'eau telles que l'ultrafiltration et l'osmose inverse. De cette étude, il en est ressorti une exploitation des analyses des eaux distribuées dans l'équipement que nous avons ciblé pour notre projet de fin de cycle universitaire.

D'après les contrôles de la qualité d'eau alimentaire et de la chaudière il en ressort d'après les valeurs calculées de l'indice de Ryznar une tendance de caractère de l'eau très corrosive soit en moyenne de 13,96.

Les résultats du suivi des analyses obtenues de l'eau alimentaire et l'eau de chaudière montrent que TA et TAC et  $Cl^-$  sont dans les normes préconisés par le constructeur de la chaudière SITERM par contre le TH et le pH ne respectent pas les normes édictées et l'attribution probable à cette non-conformité est le mauvais traitement de l'eau osmosée qui lui-même est la conséquence d'un traitement non maîtrisée des eaux industrielles.

On peut insister sur l'importance de cette étude du suivi et contrôle de l'eau d'alimentation des chaudières car elle est primordiale pour un bon conditionnement de l'équipement afin d'éviter les problèmes d'entartrage et de corrosion.

Donc, en perspective, nous proposons au site étudié du Complexe de SIDER de toujours contrôler la qualité de cette eau et pour réduire les problèmes :

- Faire des analyses physico-chimiques classiques,
- Faire des analyses des paramètres NaOH,  $SiO_2$ ,  $P_2O_5$  car ce sont des paramètres, très importants pour le suivi de la qualité de l'eau de chaudière,

## **CONCLUSION GÉNÉRALE**

- Respecter le bon dosage des réactifs
- Injecter les inhibiteurs en un dosage adéquat d'une qualité d'eau bien traitée,
- Et s'assurer sur le bon fonctionnement des membranes exploitée à l'usine.

## REFERENCES

### Listes des Références bibliographiques

- [1] <https://elwatan-dz.com/historique-du-complexe-siderurgique-d> El-Hadjar, consulté 03/05/2023
- [2] S. Bouziane, Analyse et suivi du comportement des eaux des circuits de refroidissement du complexe SIDERURGIQUE D'EL HADJAR, Mémoire de master génie chimique, Département de génie des procédés. Université Badji Mokhtar, Annaba, 2018.
- [3] Document technique (zone fluide) –Archive du Complexe Sidérurgique de Sider El- Hadjar
- [4] Mémento technique de l'eau. Processus élémentaire du génie physico-chimique en traitement de l'eau. Tome 1, 10<sup>ème</sup> édition, Degrémont, 2005, p 206
- [5] <https://www.rapport-gratuit.com/la-decantation-lamellaire-dans-lepuration-de-leau-par-boues-activees>, consulté le 31/05/2023
- [6] 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
- [7] M. Bouraoui, Etude théorique et expérimentale de la production et l'utilisation des eaux dans l'industrie cas : complexe SIDERURGIQUE D'EL HADJAR, Mémoire de master génie de l'environnement, Département de génie des procédés. Université Badji Mokhtar, Annaba, 2019
- [8] MAUREL, A., AIMAR, P., BACCHIN, P., MAUREL, A., 2013a. Filtration membranaire (OI, NF, UF, MF) Aspects théoriques : mécanismes de transfert. Tech. Ing. Procédés Trait. Eaux Potables Ind. Urbaines base documentaire : TIB318DUO, 2013.
- [9] <https://fr.pureaqua.com/membrane-hydranautics-cpa5-ld/> consulté le 03/05/2023
- [10] J.J.BARON, chaudière, Technique de l'ingénieur, Ed ISTA, 1948.
- [11] K. Benaliouche, Suivi de la qualité de l'eau pour l'alimentation de la chaudière 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, 2019.

## REFERENCES

- [12] A. Waheb, Contrôle de qualité de l'eau d'alimentation et de la Chaudière BAB-COCK de l'unité centrale et utilité II FERTIAL- Annaba, Mémoire de master génie chimique, Département de génie des procédés, Université Badji Mokhtar, Annaba, 2020.
- [13] Document technique (zone fluide)Complexe Sider El-Hadjar Annaba –Les problèmes de corrosion, l'entartrage, le primage
- [14] <https://fr.scribd.com/document/475401747/Conditionnement-Et-Traitement-Des-Eaux-de-Procedes>, consulté le 05/05/2023.
- [15] A. Akakchi, L. Bouadjina, Contribution à l'étude de l'inhibiteur de la corrosion au niveau de la Chaudière BAB-COCK FERTIAL- Annaba, Mémoire de master génie chimique, Département de génie des procédés, Université Badji Mokhtar, Annaba, 2020.
- [16] <https://www.oreau.eu/glossaire.php?search=I&defid=34>, consulté le 10/05/2023.

## LES ANNEXES



## **ANNEXE 01 : Méthodes analytiques**

### **DETERMINATION DE L'ALCALINITE (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 Sider.

#### **2. Réactifs :**

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

#### **3. Mode opératoire :**

##### **Détermination de TA :**

- On prélève 100ml d'eau à analyser dans un erlenmyer.
- 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'erlenmyer 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).

##### **Détermination de TAC :**

- On utilise l'échantillon traité précédemment, ou la prise d'essai primitif s'il n'y a 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.

- On note le volume lu à la burette au moment du nouveau virage.

#### **4. Expression des résultats :**

**V1** : volume d'acide en millilitres lu à la burette et exprime le TA en °f.

**V2** : volume d'acide en millilitres 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



**Fig.24-** Dosage volumétrique du TA et TAC

### **DETERMINATION DU TITRE HYDROTIMETRIQUE TH**

#### **1. Principe :**

La détermination du TH est basée 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 0.02 N;
- Solution indicateur noir ériochrome T
- Solution tampon ammoniacale (pH 10)

## **3. Mode opératoire :**

- On prélève 100 ml 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 ( $\text{Ca}^{2+}$ ) et magnésium ( $\text{Mg}^{2+}$ );
- Si la coloration est rose violette, nous déduisons une présence de calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) et magnésium ( $\text{Mg}^{2+}$ ) 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.

## **DOSAGE DU TITRE CALCIQUE**

### **1. Principe :**

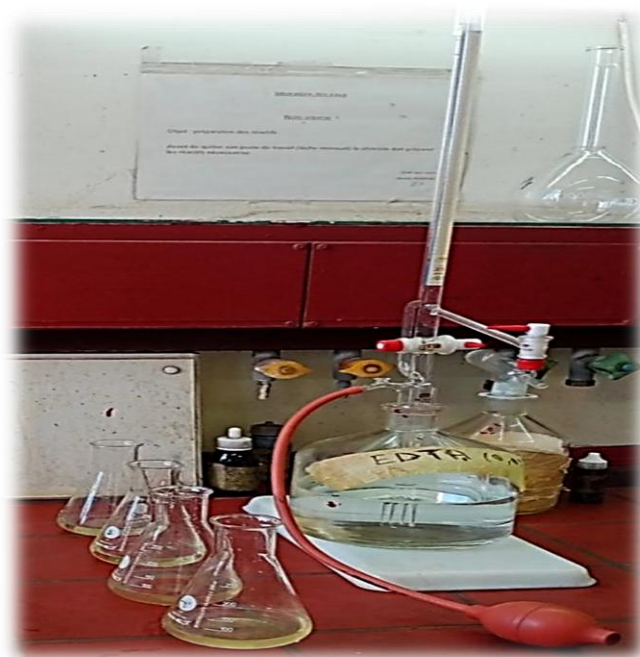
La détermination du Tca est basée sur la formation de complexes entre les ions calcium et le sel disodique de l'acide éthylène-diamine tétra-acétique (EDTA) en présence de calconne carboxylique en milieu tamponné.

### **2. Réactifs :**

- Hydroxyde de potassium 20% (solution tampon pH 12)
- Sel disodique de l'acide éthylène diamine tétra-acétique : solution à 0.02 N
- Acide calconne carboxylique (indicateur coloré).

### 3. Mode opératoire :

- 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  $\text{Tca}^{2+}$  exprimé en degré français (°f).



**Fig.25-** Dosage volumétrique du TH +  $\text{Tca}^{2+}$

## DOSAGE DU CHLORURE

### 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 ( $\text{K}_2\text{CrO}_4$ ) à 5% (indicateur)
- Nitrate d'argent ( $\text{AgNO}_3$  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 , soit par la relation :

$$\text{Cl}^- (\text{en mg/L}) = V \times 35,5$$

avec :

V : volume du nitrate d'argent en ml ;

35,5 est la masse molaire du chlorure ( $\text{Cl}^-$ )



**Fig.26-** Dosage volumétrique du  $\text{Cl}^-$

## DETERMINATION DE 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 étalonnée pour que les mesures soient fiables

## **3. Expression des résultats :**

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

# **DETERMINATION DE LA CONDUCTIVITE**

## **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 étalonnée 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 exprime en TDS en  $\text{mg}/\text{L}$ .



**Fig.27-** Couple pH- mètre/Conductimètre



**Fig.28-** pH- mètre consort « C832 »

## **DETERMINATION DU TAUX DE SALINITE**

### **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 :**

On sélectionne le facteur de correction et on obtient le taux de salinité selon la relation suivante :

$$\text{TDS} = \text{conductivité} \times \text{facteur de correction}$$

## **DETERMINATION DES MATIERES 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.29-** Spectrophotomètre « H Dr 5000 »

## **Détermination de la turbidité**

Elle est effectuée grâce à un turbidimètre : c'est un appareil permettant la 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.

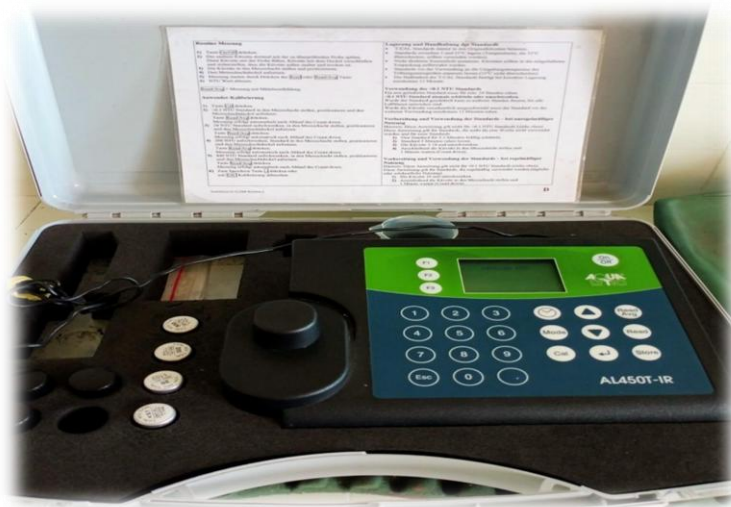


## 2. Mode opératoire :

- 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 nephélométrique)

## 3. Expression des résultats :

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



**Fig.30-Turbidimètre AL450T-IR**

## ANNEXE 02 : Les details des calculs

### 1. Calculer l'indice de RYZNAR :

$$I_R = 2pH - pH_s$$

### 2. Calculer $pH_s$

$$pH_s = (9,3+A+B)-(C+D)$$

avec :

$$A = \text{Log}_{10} (\text{salinité en mg.L}^{-1}) - 1/10$$

$$B = -13,12 \times \text{Log}_{10} (\text{température en } ^\circ\text{C} + 273) + 34,55$$

$$C = \text{Log}_{10} (\text{dureté calcique en mg.L}^{-1}) - 0,4$$

$$D = \text{Log}_{10} (\text{TAC en mg.L}^{-1})$$

**Tab.13.** Résultats de l'exploitation

TAC(mg /L)	Ca <sup>2+</sup> (mg /L)	TDS (mg/L)	T (°K)	pH	pH <sub>s</sub>	I <sub>R</sub>
6	4	6	288,5	7,15	10,59	14,03
6	4	6	289,5	7	10,58	14,16
6	4	5	287,7	7,15	10,60	14,05
6	4	6	289,9	7,20	10,57	13,94
6	4	7	292,5	7	10,52	14,04
6	4	7	292,5	7	10,52	14,04
6	4	8	292,2	7	10,53	14,06
6	4	9	292,3	7,5	10,54	13,58
6	4	8	291,5	7,10	10,55	14
6	4	8	291,8	7	10,54	14,08
6	4	16,4	287,5	7,70	10,65	13,60

### Exemple de calcul

On a :

$$A = ((\text{Log salinité en mg.L}^{-1}) - 1) / 10$$

$$= (\text{Log } (6) - 1) / 10$$

$$= (0,77 - 1) / 10$$

$$= - 0,02$$

$$B = -13,12 \times \text{Log } (\text{température en } ^\circ\text{C} + 273) + 34,55$$

$$= -13,12 \times \text{Log } (288,5) + 34,55$$

$$= 2,29$$

$$C = \text{Log } (\text{dureté calcique en mg.L}^{-1}) - 0,4$$

$$= \text{Log } (4) - 0,4$$

$$= 0,20$$

$$D = \text{Log } (\text{TAC en mg.L}^{-1})$$

$$= \text{Log } (6)$$

$$= 0,78$$

Alors,

$$\text{pH}_s = (9,3 + A + B) - (C + D)$$

$$= (9,3 + (-0,02) + (2,29)) - (0,20 + 0,78)$$

$$= 10,59$$

Donc,

$$I_R = 2\text{pH}_s - \text{pH}$$

$$= (2 \times 10,59) - 7,15$$

$$= 14,03$$

Et nous complétons le reste de la même manière

### 3. Calculer $I_R$ moy

$$I_{R\text{moy}} = \sum I_R / 11$$

$$= (14,03 + 14,16 + 14,05 + 13,94 + 14,04 + 14,04 + 14,06 + 13,58 + 14 + 14,08 + 13,60) / 11$$

$$= 13,69$$

# ANNEXE 03 : Méthode de calcul de chlore

**Tab.14.** 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		

## ANNEXE 04 : Conversion en minéralisation

Tab.15. 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



## ANNEXE 05 : Fiches signalétiques d' inhibiteur de SITERM- SIDER



**Fig.31-** Inhibiteur (Cetamine G810) utilisé depuis 2019 dans la chaudière SITERM[11]

## **Cetamine® G 810**

### **Inhibiteur de corrosion et d'entartrage pour générateurs de vapeur**

#### **Applications principales**

Cetamine® G 810 a été élaboré pour résoudre l'ensemble des problèmes posés par l'eau alimentaire des générateurs de vapeur dont l'eau d'appoint est déminéralisée ou adoucie.

Cetamine® G 810 est efficace contre :

- L'entartrage, ou l'encrassement des surfaces d'échange
- La corrosion en chaudière, d'origine galvanique (couple fer-cuivre), liée à la présence d'oxygène dissout (aération différentielle, piqûres), ou de type généralisé (pH non conforme, etc...)
- La corrosion dans les réseaux de condensats, liée à l'oxygène dissout ou au pH
- Le primage ou l'entraînement d'eau et de sels avec la vapeur.

L'emploi de Cetamine® G 810 permet de maintenir les caractéristiques souhaitables pour l'eau alimentaire et l'eau de chaudière en réalisant une économie substantielle au niveau des purges de déconcentration.

Cetamine® G 810 protège également les lignes de transfert vapeur et les réseaux de condensats. De plus, celle-ci favorise la condensation en gouttes et les échanges thermiques, améliorant notablement le rendement des condenseurs.

Pendant les périodes d'arrêt des chaudières, en fonction de la durée de l'arrêt, il peut s'avérer nécessaire de mettre en place une procédure de conservation : lors d'un arrêt programmé de chaudière, se rapprocher de votre interlocuteur Kurita pour l'en informer et définir les conditions de la mise en œuvre de la procédure de conservation.

#### **Description générale**

Cetamine® G 810 est à base d'amines filmantes et neutralisantes.

Cetamine® G 810 permet de fournir une vapeur conforme à la circulaire du 2 juillet 1985 concernant le traitement thermique des eaux destinées à la consommation humaine (art.16-9 du règlement départemental type).

Cetamine® G 810 NE CONTIENT PAS DE CYCLOHEXYLAMINE.

#### **Aspect**

Liquide opalescent blanchâtre à légèrement jaunâtre

#### **Paramètres physico-chimiques**

- Densité (20°C) : 0,98 +/- 0,03
- pH pur : 12,0 +/- 0,5
- pH (sol. 1% H<sub>2</sub>O) : 11,5 +/- 0,5
- Solubilité dans l'eau : 100%
- Stable en phase vapeur

#### **Impact sur l'environnement**

Produit non volatil, non inflammable.

Aux doses d'emploi préconisées le rejet vers une station d'épuration du type urbain est possible du fait de l'impact éco toxicologique non significatif et de la très faible incidence sur les paramètres DCO, N<sub>T</sub>, P<sub>T</sub>.

Pour des informations détaillées, consulter la fiche de sécurité.

#### **Mode d'action**

Cetamine® G 810 assure le maintien du pH en chaudière et dans les condensats par son pouvoir alcalinisant spécifique.

Cetamine® G 810 est efficace contre les phénomènes d'embouage par son pouvoir dispersant.


Cetamine® G 810 assure la protection contre les phénomènes de corrosion par son pouvoir filmogène et son action sur la cinétique de formation de la magnétite.

Cetamine® G 810 n'accroît pas la salinité de l'eau.

Cetamine® G 810 améliore les échanges thermiques

Cetamine® G 810 limite le primage.

**Fig.32- fiche signalétique du produit Cetamine G810[15]**



INFORMATION PRODUIT – CETAMINE® G 810

**Dosage**  
Le dosage est proportionnel aux appoints. Il dépend également du taux de concentration de l'eau au sein du générateur de vapeur. Ce taux de concentration "N" est normalement défini par le rapport du TAC admissible en chaudière sur celui de l'eau d'appoint.

Il sera toutefois limité par la teneur en silice dans certains cas.

- Pour N = 10, le dosage sera de l'ordre de 80 g/m<sup>3</sup>
- Pour N = 40, le dosage sera de l'ordre de 20 g/m<sup>3</sup>

**Mode d'emploi**  
Cetamine® G 810 est un mono produit qui doit être utilisé en l'état, sans dilution préalable.

Cetamine® G 810 est injecté proportionnellement aux appoints par un système de dosage automatique approprié.

**Mode de suivi**  
Les analyses d'eaux nécessaires au bon fonctionnement d'une installation et au contrôle du produit sont résumées dans le tableau ci-après :

	BACHE	CHAUDIERE	CONDENSAT
pH	> 8	9,5 à 11,5	> 8
TH (°f)	< 0,2	0	0
TA (°f)	Oui	Oui	Traces
TAC (°f)	Oui	< Maxi	Traces
Cl <sup>-</sup> SiO <sub>2</sub>	Si besoin		
Amines	Méthodes Kurita A 18		

La concentration de Cetamine® G 810 peut être déterminée par une méthode d'analyse photométrique (méthode Kurita A 18).

La méthode de dosage peut être fournie par nos soins.

La teneur à maintenir sera déterminée par notre technicien.

**Précautions particulières**  
Le produit pur est basique.

Il est impératif de respecter les précautions d'usage et les règles d'hygiène et de sécurité pour la manipulation des produits chimiques.

Lire les étiquettes et informations liées au produit avant utilisation.

Pour des informations détaillées, se reporter à la fiche de données de sécurité.

**Stockage et conditionnement**  
Cetamine® G 810 doit être stocké hors gel, dans un endroit frais et ventilé, dans son emballage d'origine.

Pour une meilleure efficacité, il est conseillé de respecter la date limite d'utilisation du produit notifiée sur l'étiquette.

Pour les conditionnements disponibles, merci de nous consulter.

La manipulation des produits, leur usage et leurs et leur application, sont conformes à leur destination, aux conseils et précautions d'emploi, ou aux autres indications de responsabilité de notre Société. Les précautions et conseils d'utilisation indiqués sont destinés à être utilisés et ne constituent pas des règles techniques. Nos Services Techniques sont à votre disposition pour vous conseiller sur la façon adéquate de nos produits, adaptés à vos applications spécifiques. Les informations énumérées dans ce document ne peuvent être comprises comme liées à la validation d'un produit, service.

Headquarters  
Kurita Europe B.V. GmbH  
Duisburger Str. 2  
D-47058 Duisburg  
Tel: +49-201 4706-2200  
Fax: +49-201 4706-6000

Kurita France S.A.  
27 rue de l'Industrie  
93800 A  
93780 L'Herminette  
Tel: +33 (0)1 75 41 42 80  
Fax: +33 (0)1 75 81 24 70  
E-mail: france@kurita.eu

Revision Date: 2015-03-27

Internet: [www.kurita.eu](http://www.kurita.eu)  
Email: [contact@kurita.eu](mailto:contact@kurita.eu)

2 / 2

Fig.32- fiche signalétique du produit Cetamine G810 (suite) [16]