

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR-ANNABA  
BADJI MOKHTAR- ANNABA UNIVERSITY



جامعة باجي مختار - عنابة

Faculté : Sciences de l'ingénierie  
Département : Génie des procédés  
Domaine : Sciences et Technologies  
Filière : Génie des procédés  
Spécialité : Génies des procédés de l'environnement

Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master

Thème:

ETUDE DE L'EFFICACITE DU TRAITEMENT DES EAUX DE  
REFROIDISSEMENT DE L'UNITE TSS DU COMPLEXE  
SIDERURGIQUE D'EL-HADjar

Présenté par: Kohil Maroua  
Yousfi Nesrine

Encadrant: ZOUGAR saïda Grade professeur Université: Badji Mokhtar Annaba

Jury de Soutenance :

<b>SOUDI Fethi</b>	<b>M.A.A</b>	<b>U. Badji Mokhtar Annaba</b>	<b>Président</b>
<b>ZOUGAR Saida</b>	<b>Professeur</b>	<b>U. Badji Mokhtar Annaba</b>	<b>Encadrant</b>
<b>Hamouche Karima</b>	<b>M.A.A</b>	<b>U. Badji Mokhtar Annaba</b>	<b>Examineur</b>

Année Universitaire : 2020/2021

# Remerciements

Pour commencer, nous remercions Allah, le tout puissant pour son aide, sa Miséricorde et pour le courage qu'il nous a attribué afin de pouvoir réaliser ce présent travail de fin d'études.

Notre première pensée va tout naturellement à nos parents, sans eux nous ne serions pas en train d'écrire ces remerciements.

Grand merci au « Pr.Saida ZOUGAR » notre directeur de mémoire, qui a dirigé et suivi nos travaux et qui a toujours su nous faire confiance et nous apporter l'aide nécessaire, tant sur le plan scientifique que moral.

Nous témoignons également notre reconnaissance à tous les membres de jury, d'avoir accepté d'examiner ce travail.

Nos sincères remerciements vont également à tous les enseignants du département de Génie des Procédés.

Nous tenons à remercier vivement notre responsable de stage MR **Seddiki Abdelkader** de nous avoir accueillis au sein de l'unité TSS du Complexe Sider El - **Hadjar Annaba**.

Nous avons profité de l'expérience des chercheurs et des ingénieurs et techniciens qui y travaillent.

Nous voulons lui exprimer ici toute notre estime et notre profonde gratitude, pour ses compétences scientifiques et ses qualités humaines.

Nous remercions également toute l'équipe de TSS pour leur accueil et en particulier MR **Hamidamourad**, et les doctorants de Laboratoire de Génie de l'environnement du département de Génie des Procédés de l'université Badji-Mokhtar -Annaba.

Merci infiniment à nos familles ET nos Amies pour leur soutien et leur

encouragement.

Merci à tous

# *Dédicaces*

A mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études<sup>3</sup>

A mes chères sœurs, pour leurs encouragements permanents, et leur soutien moral.

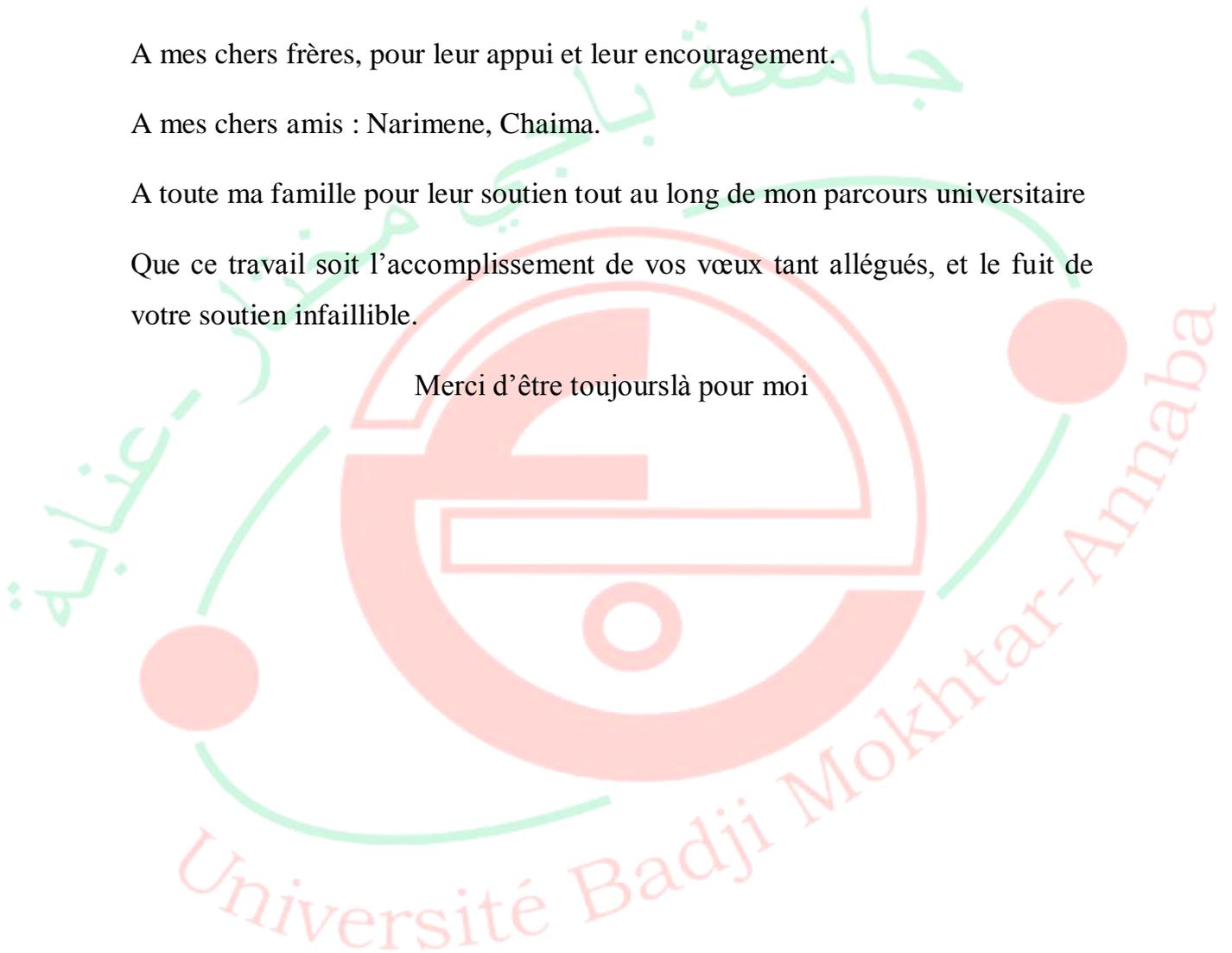
A mes chers frères, pour leur appui et leur encouragement.

A mes chers amis : Narimene, Chaima.

A toute ma famille pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire

Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant allégués, et le fruit de votre soutien infailible.

Merci d'être toujours là pour moi



# RESUME

L'objectif de notre travail a été de faire une étude de contrôle de la qualité de l'eau industrielle destinée à alimenter le circuit de refroidissement dans l'unité de TSS au sein du Complexe Sidérurgique d'El Hadjar à Annaba.

Nous avons fait une étude qualitative notamment pour les paramètres physico-chimiques tels que : la dureté (TH), l'alcalinité (TA, TAC), le pH, les matières en suspension (MES), la salinité (conductivités et TDS), les chlorures (Cl<sup>-</sup>) et la température. Les analyses de ces paramètres ont été faites au niveau de laboratoire central du complexe.

Les résultats des analyses ont été pris le mois de Février et Mars 2020 car l'unité est mise à l'arrêt à cause de l'épidémie mondiale Covid-19.

Ces analyses ont montré que la qualité de cette eau ne conforme pas à la norme avec une eau moyennement entartrant.

Cette étude nous a permis aussi de tester l'efficacité inhibitrice de l'inhibiteur (Pro Tec aquaprox TCD 3701) qui est utilisé pour protéger l'acier du circuit de refroidissement par le traçage des courbes de polarisation.

Les résultats obtenus montrent que l'ajout d'une concentration de 20ppma une efficacité de 46%.

## LISTE DES SYMBOLES

**$\beta_a$**  : Coefficient de Tafel anodique (V)

**$\beta_c$**  : Coefficient de Tafel cathodique (V)

**$C_i$**  : Concentration de l'ion i (mol/L)

**$E_{corr}$** : Potentiel de corrosion (mV)

**$E\%$**  : l'efficacité(%)

**$I_{corr}$**  : Courant global de la réaction ( $\mu A$ )

**$R_p$**  : Résistance de Polarisation ( $K\Omega$ )

**TA** : Titre alcalimétrique simple ( $^{\circ}F$ )

**TAC** : Titre alcalimétrique complet ( $^{\circ}F$ )

**TH** : Dureté totale de l'eau ( $^{\circ}F$ )

**V** : Volume ( $m^3$ )

**$V_{corr}$**  : Vitesse de corrosion (mm/an)

**pH**: Potentiel hydrogène

**ph**: Phénophtaléine.

## LISTE DES FIGURES

FigureI.1	Situation géographique de l'unité TSS	5
Figure I.2	Lingot ronds	6
FigureI.3	Processe de laminoir	7
FigureI.4	Processe de parachèvement à tube	9
FigureI.5	La salle des pompes	10
Figure I.6	Schéma de circuit de TSS	12
Figure I.7	Décanteur dans l'unité de TSS	14
Figure II.1	La corrosion galvanique	22
Figure II.2	La corrosion par piqure	22
Figure II.3	Anti tartre/Anticorrosion utiliser dans l'unité de TSS	25
Figure II.4	Exemple de tartre dans la conduit de l'unité de TSS	25
Figure III.1	Spectrophotomètre HDr5000	31
FigureIII.2	Conductimètre E578	32
Figure III.1	Variation de la dureté totale THde l'eau industrielles et arrosage en fonction du temps	34
FigureIII.2	Variation de titre alcalimétrique complet TACde l'eau et arrosage industrielle en fonction du temps	35
Figure III.3	Variation de titre alcalimétrique TA de l'eau industrielle et arrosage en fonction du temps	36
Figure III.4	Variation de la matière dissous solides TDS de l'eau industrielle et arrosage en fonction du temps	37

FigureIV.5	Variation de la conductivité de l'eau industrielle et arrosage en fonction du temps	38
Figure III.6	Variation de chlorure Cl <sup>-</sup> de l'eau industrielle et arrosage en fonction du temps	39
Figure III.7	Variation de la matière en suspension MES de l'eau industrielle et arrosage en fonction du temps	40
FigureIII.8	Variation du potentiel hydrogène pH de l'eau industrielle et arrosage en fonction du temps	41
Figure III.9	Variation de la température de l'eau industrielle et arrosage en fonction du temps	42
Figure III.10	Représentation schématique linéaire et semi-logarithmique des courbes courant – tension caractéristique d'un cinétique d'activation pur	46
Figure IV.1	Dispositif expérimental pour les mesures électrochimiques	47
Figure IV.2	Potentiostat /Galvanostat SP300	48
Figure IV.3	Cellule électrochimique à trois électrodes	48
Figure IV.4	Electrodes de travail	49
Figure IV.5	Modélisation de courbe de tafel avec le logiciel EC Lab	49
Figure IV.6	Courbes de polarisation de l'acier à différentes concentrations de l'inhibiteur TCD3701	52

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau I.1	Caractéristique d'un séparateur d'huile	13
Tableau I.2	Caractéristique du décanteur	13
Tableau I.3	Caractéristique d'un filtre à sable	14
Tableau I.4	Caractéristique thermique de l'eau dans le réfrigérant	14
Tableau III.1	Qualité de l'eau industrielle	29
Tableau III.2	Caractère de l'eau selon la dureté total TH	30
Tableau III.3	Caractère de l'eau selon le potentiel hydrogène pH	33
Tableau III.4	Les résultats des analyses de l'eau industrielle	33
Tableau III.5	Les résultats des analyses de l'eau d'arrosage	34
Tableau IV.1	Paramètre électrochimique tirés des courbes de polarisation de l'acier à différentes concentrations de l'inhibiteur TCD3701	53

# TABLE DES MATIERES

**Remerciements**

**Dédicaces**

**Liste des symboles**

**Liste des figures**

**Liste des tableaux**

**Résumé**

Introduction générale ..... 1

## **CHAPITRE I: PRESENTATION DE L'UNITE DE TSS**

I.1.Introduction .....	4
I.2. Présentation de TSS (tube sans soudure).....	4
I.2.1. L'aciérie électrique.....	5
I.3. Procédures de fabrication .....	6
I.3.1.Les ateliers de fabrications .....	6
I.3.1.1 laminoir à tubes .....	6
I.3.1.2parachèvement à tubes.....	8
I.4. Station de pompage .....	10
I.5. Utilisation de l'eau dans l'unité de TSS.....	11
I.5.1. Circuit de l'eau dans l'unité de TSS .....	11
I.6. Station de traitement des eaux .....	13
I.6.1.Décantation primaire.....	13
I.6.2.Décantation secondaire .....	13
I.6.3Filtration à sable .....	14
I.6.4 Réfrigérant .....	14
I.7.Conclusion .....	15

## CHAPITRE II: CIRCUIT DE REFROIDISSEMENT ET PHENOMENE DE CORROSION

II.1. Circuit de refroidissement .....	17
II.1.1.introduction.....	17
II.1.2. Définition de tour de refroidissement.....	17
II.2. Type de circuit .....	18
II.2.1. Circuit ouvert .....	18
II.2.2. Circuit semi ouvert .....	18
II.2.3. Circuit fermé.....	19
II.3.Principe de fonctionnement du circuit de refroidissement .....	19
II.3.1.Qualité des eaux de refroidissement .....	20
II.3.2.Phénomène de corrosion .....	20
II.3.2.1.Corrosion chimique.....	20
II.3.2.2.Corrosion électrochimique.....	20
II.3.2.3. Corrosion biochimique.....	21
II.4.Forme de corrosion .....	21
II.4.1.Corrosion uniforme.....	21
II.4.2.Corrosion localisé.....	21
II.4.3.Corrosion par pique.....	22
II.5.Moyens de protection contre la corrosion .....	23
II.5.1.La protection par revêtement.....	23.
II.5.2.Protection électrochimique.....	23
II.5.3.Protection par inhibition.....	23
II.5.3.1.La composition chimique .....	23
II.5.4. Classification d'inhibiteur.....	23
II.5.4.1. selon la composition chimique.....	24
II.5.4.1.1.Inhibiteur organique .....	24.
II.5.4.1.2. Inhibiteur minéraux .....	24
II.5.4.2.Selon la nature électrochimique.....	24
II.5.4.2.1.inhibiteur anodique.....	24
II.5.4.2.2.Inhibiteur cathodique.....	24
II.5.4.2.3.Inhibiteur mixtes.....	24

II.6.Phénomène de l'entartage.....	25
II.6.1.Cause de l'entartage.....	25
II.6.2. La lutte contre l'entartage.....	26

### **CHAPITRE III: ETUDE DE L'EFFECACITIE DE TRAITEMENT DES EAUX DE CIRCUIT DE REFROIDISSEMENT**

III.1.Introduction .....	28
III.2.Type d'eaux analysé .....	28
III.3.Paramètres physico-chimiques analysées.....	29
III.3.1.Le titre hydrotimétrique de l'eau TH.....	29
III.3.2.Titre calciqueet $Ca^{2+}$ et le titre magnésique $Mg^{2+}$ .....	30
III.3.3.Le titre alcalimétrique complet TAC.....	30
III.3.4.Le titre alcalimétrique TA.....	30
III.3.5.le total de matières solides (TDS) .....	31
III.3.6.La conductivité.....	31
III.3.7.La teneur en chlorure .....	32
III.3.8.La matière en suspension MES.....	32
III.3.9.Potentiel d'hydrogène Ph.....	32
III.3.1.La température.....	32
III.4.Les résultats et discussions.....	32
III.4.1.Présentation graphiques du paramètre.....	34
III.4.1.1.Le titre Hydrotimétrique .....	34
III.4.1.1.Le titre Hydrotimétrique .....	35
III.3.1.3.Le titre alcalimétrique (TA) .....	36
III.3.1.4.Le total de matières solides (TDS).....	37
III.3.1.5.La conductivité.....	38
III.3.1.6.La concentration de chlorure.....	39
III.3.1.7.Matières en suspension(MES).....	40
III.3.1.8. Potentiel hydrogène pH.....	41
III.3.1.9.La température.....	42
III.4.2.Interprétation des résultats.....	42

## CHAPITRE IV:ETUDE DE PHENOMENE DE CORROSION ET D'ENTARTRAGE

IV.1. Introduction.....	44
IV.2. Courbes de polarisation.....	44
IV.2.1.Conditions utilises pour les essais des courbes de polarisation.....	45
IV.2.2. Préparation de l'échantillon.....	46
IV.2.3.Dispositif expérimental et cellule électrochimique.....	46
IV.2.3 Conditions et paramètres d'essais.....	49
IV.2.4. Résultats et discussions.....	49
IV.2.4.1.Vitesse de polarisation.....	49
IV.2.4.2.Relation utilisée pour calcule de l'efficacité de l'inhibiteur.....	50
IV.2.4.3.Effet du (Pro Tec aquaprox TCD 3701) sur la corrosion de l'acier.....	50
Conclusion Générale.....	53
Références bibliographiques.....	55
Annexes.....	60

# INTRODUCTION GÉNÉRALE



L'eau est un partenaire quotidien de l'homme, utilisée pour satisfaire ses besoins de consommation et d'hygiène, elle sert à l'hydratation, la cuisson des aliments, la production alimentaire, la production d'électricité et l'usage récréatif et l'industrie. Les industries de production génèrent quotidiennement des volumes importants des eaux [1,2].

L'eau utilisée pour les activités industrielles est prélevée dans les lacs, les rivières ou les nappes souterraines, souvent par l'exploitant industriel lui-même. Elle fait généralement l'objet d'un traitement avant utilisation dont la nature dépend des besoins liés aux procédés industriels. Suite à son utilisation, l'eau fait l'objet d'une épuration avant d'être rejetée dans le milieu naturel [3].

L'eau utilisée comme fluide de refroidissement occasionne souvent des problèmes considérables de corrosion dans les circuits de refroidissement, les exigences en matière de qualité requises pour l'eau de refroidissement sont souvent de type contradictoire et en conséquence, différentes les unes des autres [4].

Les problèmes rencontrés sur les installations de refroidissement sont généralement, l'entartrage, la corrosion et l'encrassement biologique ou l'embouage lorsque les dépôts gênés sont issue de l'ensemble des problématique précédentes.

Ces problématiques liées à la qualité de l'eau et au mode de fonctionnement des installations qui dégradent les échanges thermiques, la circulation de l'eau et peuvent aller jusqu'à provoquer l'arrêt des installations et du procédé industriel associé [5].

L'unité de TSS (tube sans soudure) est une unité qui sert à produire des tubes sans soudure destinés principalement à l'industrie du pétrole et du gaz. Elle nécessite des quantités importantes d'eau à une température très basse afin de refroidir les machines ainsi que les tubes produits.

Les eaux de refroidissement doivent être de bonnes qualités et adéquate avec l'usage dont elles sont destinées car une mauvaise qualité peut influencer négativement sur le refroidisseur ainsi que sur les machines et les tubes à refroidir.

L'objectif de ce travail de projet de fin d'étude consiste à la présentation de l'unité de TSS, au contrôle de la qualité de l'eau de refroidissement ainsi que l'étudier de l'efficacité de l'inhibiteur de corrosion utilisé au de l'unité.

Ce manuscrit est structuré en quatre chapitres :

Dans le premier chapitre, on a donné une présentation générale de l'unité de TSS, situé dans le complexe SIDER EL HADJAR.

Le second chapitre contient une généralité sur le circuit de refroidissement et on a présenté aussi une généralité sur le phénomène de corrosion et d'entartrage.

Le troisième chapitre, consiste à présenter l'étude de la qualité de l'eau de refroidissement en se basant sur le suivi des paramètres physico-chimiques des eaux utilisées.

Le dernier chapitre expose les résultats de l'étude de l'efficacité inhibitrice de l'inhibiteur utilisé au niveau de TSS.

A la fin de ce manuscrit seront présentées la conclusion générale et les références bibliographiques.



# CHAPITRE I

## PRÉSENTATION DE L'UNITÉ DE TSS

## I.1. INTRODUCTION

L'industrie mécanique est un facteur très important dans l'économie d'un pays et c'est une des contraintes au progrès et au développement. Elle représente le niveau d'évolution et de modernité d'un pays.

La fabrication mécanique a une grande importance dans le domaine économique, elle participe à l'amélioration et au développement d'un pays et au développement des moyens de production locaux. La nouvelle stratégie industrielle mondiale est basée sur la haute technologie moderne acquise par les grands constructeurs internationaux, pour améliorer la qualité du produit, la productivité, le prix de revient et le temps d'exécution etc ... tout en consommant le minimum possible d'énergie et en respectant l'environnement.

L'Algérie est comme les autres pays du monde, essaye de construire une base industrielle suffisante pour rattraper le retard dans ce domaine qui compte chaque jour des avancées extraordinaires.

Le complexe sidérurgique d'El Hadjar a pour mission de valoriser le minerai de fer national et de fabriquer des demi-produits sidérurgiques nécessaires aux autres branches du secteur de l'industrie. En outre, pour ses besoins d'énergie et de fluides, le complexe est équipé de dispositif tel que:

- Trois (3) centrales thermiques d'une capacité totale de 65MW/h.
- Quatre (4) centrales à oxygène d'une capacité totale de 3500 m<sup>3</sup>/h.
- Trois (3) usines à eau d'une capacité de 28400 m<sup>3</sup>/h [6]

## I.2. PRÉSENTATION DE L'UNITÉ DE TSS (TUBES SANS SOUDURE)

L'unité de TSS implantée sur le site du complexe sidérurgique Annaba, a pour mission principale la production des tubes sans soudure destinés principalement à l'industrie du pétrole et du gaz, son démarrage a eu lieu en **1974**.

Les équipements de productions de les tubes sans soudure sont répartis dans les ateliers suivants : le laminoir à tubes (**LAT**) ; le parachèvement des tubes (**PAT**)(Fig. 1)[7].

L'unité de TSS spécialisée dans la fabrication des tubes :

- line-pipe pour le transport des hydrocarbures.

- Tube casing pour le coffrage des puits de pétrole [7].



**Figure I. 1** : Situation géographique de TSS

Ces ateliers sont desservis par les principales installations annexes suivantes : station de pompage ; station de traitement des eaux et sous stations électriques ; laboratoires des essais mécaniques (essais de traction et de résilience) et Laboratoire de métrologie.

### **I.2.1 L'ACIÉRIE ÉLECTRIQUE**

Le complexe est doté d'une aciérie électrique (ACE) conçu initialement pour alimenter la TSS en matière (lingots), elle produit deux types de lingots:

- Lingots ronds :  $\text{Ø}190 + 405 \text{ mm}$  (voir Fig.I.2).
- Lingots dodécagonaux :  $\text{Ø} 300 + 500 \text{ mm}$  [8].

Les aciers élaborés répondent aux exigences chimiques de l'API 5L (la norme de spécification de l'American Petroleum Institute couvre les tuyaux de canalisation soudés et sans soudure) et 5CT (la norme spécifique pour les tubes et tubage de 8<sup>ème</sup> édition, pétrole et gaz naturel) [9].



Figure I.2. Lingots ronds

### **I.3.PROCÉDURES DE FABRICATION**

Les tubes sans soudures sont des produits tubulaires en acier forgé sans ligne de soudure. Ils seront obtenus à partir d'une ébauche cylindrique par un une mise en forme du métal à chaud (Laminage) en vue de produire la forme, les dimensions et les propriétés requises.

#### **I.3.1 LES ATELIERS DE PRODUCTION**

##### **I.3.1.1. Le laminoir à tubes (LAT)**

Est l'atelier le plus stratégique par l'importance de ces installations utiles pour la fabrication des tubes qui permet la fabrication des tubes avec un large éventail des diamètres et différentes épaisseurs, en utilisant le procédé de laminage à pas de pèlerin, Cette chaîne de production comporte les installations suivantes (voire Fig. I.3).

- Parc à lingot.
- Four à sole tournante.
- Presse à percer (Pour les lingots dodécagonaux).
- Presse à centrer (Pour les lingots ronds).
- Four à plateau (intermédiaire).
- Laminoir oblique.
- Laminoir à pas de pèlerin (14'', 8''B – 8''C).

- Scies à chaud.
- Fours à longerons.
- Calibreur 5 cages (gros tubes).
- Calibreur 20 cages (petits tubes), qui est le LRE (laminoir réducteur étireur).
- Chaines de refroidissement des tubes.
- Dresseuse tubes.
- Tub scope. CND
- Bardons [10].

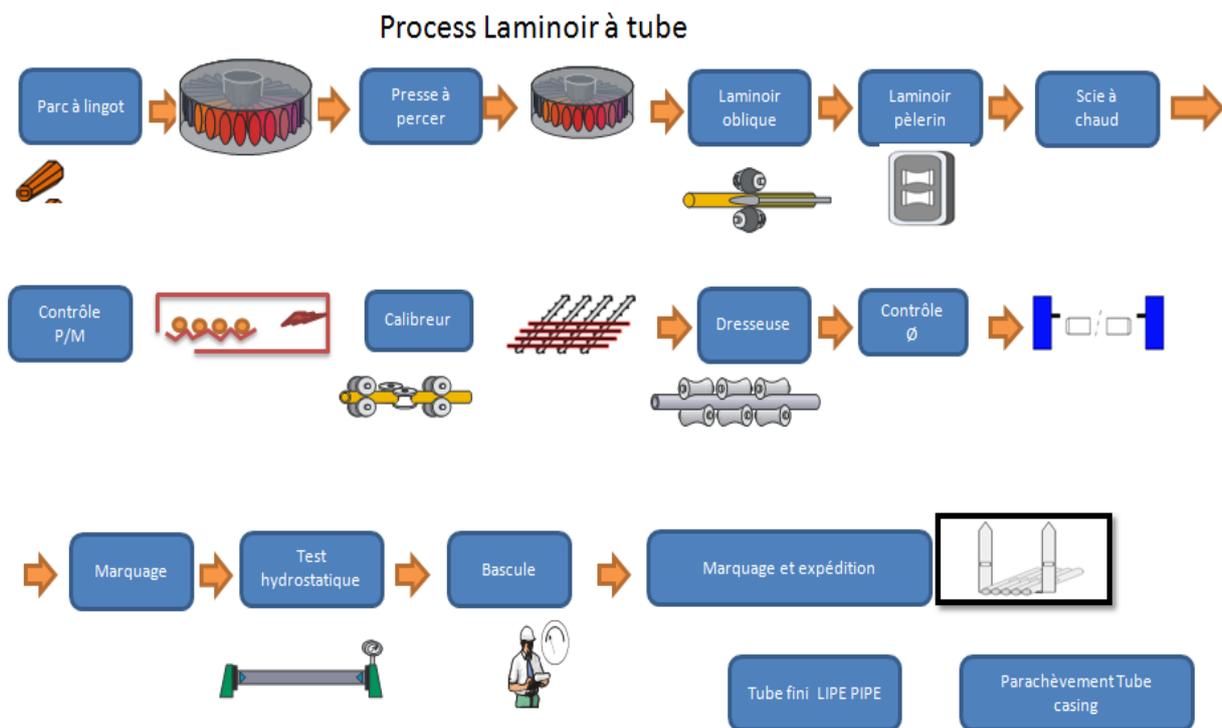


Figure I-3 Processe du laminoir à tube.

Les procédés pour obtenir un tube étant très nombreux comme nous allons voir dans le schéma (voir la Fig.I.3) chaque opération ayant des exigences.

Le fonctionnement de cette chaîne de production est: les lingots sont stockés dans le parc de TSS puis transportés vers le four à sol tournant pour chauffer les lingots progressivement à (1300 C°) les lingots deviennent pâteux, puis sont dirigés vers la presse à percer pour faire le centrage des lingots. Au cours de cette opération on aura une perte de température pour cela on réchauffe l'ébauche pour élever la température de (1100 à 1300) C° dans le four à plateaux, après cette dernière passe au laminoir oblique

Pour allonger l'ébauche puis diriger vers laminoir à pas perlé pour éliminer les défauts, après le laminage la forme de l'ébauche est non désirée pour cela on la coupe dans la scie à chaude à température (700 C°), passent par le contrôle dimensionnelle (épaisseurs) le tube passe dans un four à longerons à température (900 C°), ensuite diriger le tube vers le calibre et le dresseuse pour calibrer le diamètre extérieur, après l'élimination des défauts géométriques, passe pour le détectage des fissures à l'aide de magna-poudre et un contrôle électromagnétique à l'aide d'un Tub scope.

Finalement on obtient un tube fini chanfreiné sur un diamètre extérieur et conforme aux exigences techniques du demandeur et renvoyé vers le parachèvement à tube.

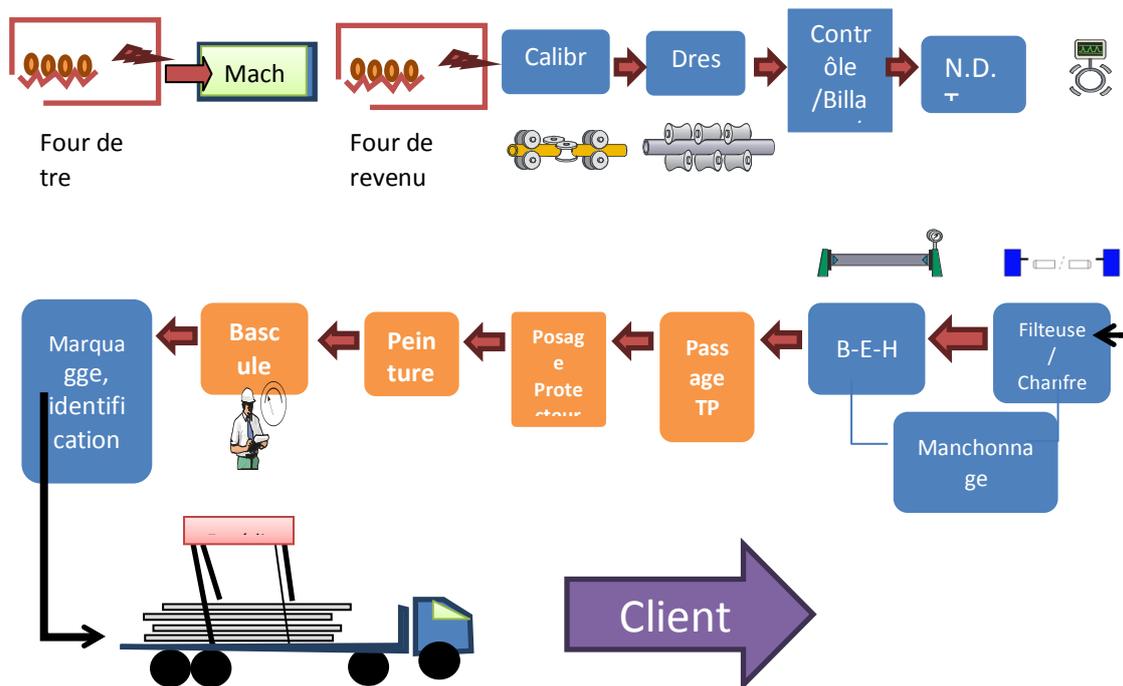
### **I.3.1.2 Parachèvement à tube (PAT)**

L'atelier du parachèvement de les tubes sans soudure contient plusieurs installations importantes, et la zone du traitement thermique est l'une parmi elles. L'objectif de cette zone est de traiter thermiquement les tubes sans soudure dans le but d'améliorer leurs caractéristiques mécaniques. La méthode du traitement utilisée au niveau de cette zone, est le traitement par trempe et revenu (détrempe). Le programme annuel assuré par la zone du traitement thermique (TTH) est d'environ 56 500 tonnes de tubes traités pendant une utilisation effective de 3 520 heures.

Cette chaîne de traitement thermique et de finition (voir la Fig. I.4) comporte les installations suivantes:

- ❖ Un four à longerons mobiles de réchauffage des tubes avant trempe (four de trempe).
- ❖ Un équipement de trempe comprenant les jupes de trempe.
- ❖ Une voie à rouleaux en aval du dispositif de trempe avec un dispositif d'éjection des tubes.
- ❖ Un four à longerons mobiles de revenu.
- ❖ Un équipement de décalaminage avant calibre.

- ❖ Le calibreur.
- ❖ Une chaîne de refroidissement.
- ❖ La dresseuse.
- ❖ Les machines de coupe (Bardons).
- ❖ NDT [11] .



FigureI-4: Processe de parachèvement a tub.

Dans l'atelier de parachèvement à tube lestubes nécessitent un traitement thermiques et une finition aux extrémitéscomme nous allons voir dans le schéma (Fig.4).

Dans le four de trempe et le four de revenue pour l'objet de réduire plus ou moins l'écart de l'équilibre, Après diriger vers le calibreur ,ensuite déplacer les tubes vers une chaîne pour le contrôle de diamètre,avant d'êtrecontrôler dans laboratoire de métrologie pour assurer la conformité des outillages par apport à la norme,les tubes passé par le dresseuse ,puis les tubes doivent êtrechanfreiné.

Finalement, Les tubes subir un contrôledimensionnelles (diamètre, épaisseur ...), après passe par le poste de contrôle des agents.

#### **I.4.STATION DE POMPAGE**

La Salle des pompes alimenter toutes les installations qui permettent le traitement et l'envoi des eaux de refroidissement vers les différents les ateliers de production de l'unité de TSS.

Ce secteur se compose de:

- ❖ Deux hydro cyclones recevant l'eau chargée venant d'atelier
- ❖ Une batterie de 5 filtre à sable servant à la filtration de l'eau provenant de la bâchehydro cyclone
- ❖ Deux décanteurs qui reçoivent les eaux provenant de l'hydro cyclone et qui servent à séparer l'eau des matières en suspension et des huiles
  
- ❖ Une réfrigérant atmosphérique pour permettre un refroidissement de l'eau arrosage, four et moteur.
  
- ❖ Les pompes ont pour rôle derefroidir les rouleaux d'enfournement et de défournement situés à l'intérieur des fours et des butoirs aussi pour l'alimentation du dispositif de trempe et de décalaminage coté parachèvement de tube [12].



Figure I.5: Salle des pompes.

### **I.5.L'UTILISATION DE L'EAU DANS L'UNITE DE TSS**

L'eau est un élément nécessaire et indispensable dans une unité sidérurgique, elle est utilisée pour le refroidissement des:

Four à sol

Four à plateaux

Des tiges

Four à longerons

Lame de scie [13]

#### **I.5.1.CIRCUIT DE L'EAU DANS L'UNITÉ TSS**

L'eau de refroidissement passe à Travers des machines puis elle est récupérée sous pression par les pompes  $G_1$ ,  $G_2$  et  $G_3$  dans les canaux à battitures. Et a cheminée gravitairement vers un hydro cyclone, ou elle subit une séparation dans un hydro cyclone .est reprise par des pompes  $G_6$   $G_7$  envoyée vers les décanteur ou elle subit un traitement chimique pour être reprise encore une fois par pompage, puis renvoyer à partir les pompes  $G_{12}$   $G_{13}$  vers les filtres à sables, après la filtration ,l'eau s'écoule vers le réfrigérants ,puis passe dans la bâches à eaux est désinfectée par le biocide 6000.pour être réutilisée dans les différentes circuit de refroidissement des installations (voire la Fig. I.6)[14].

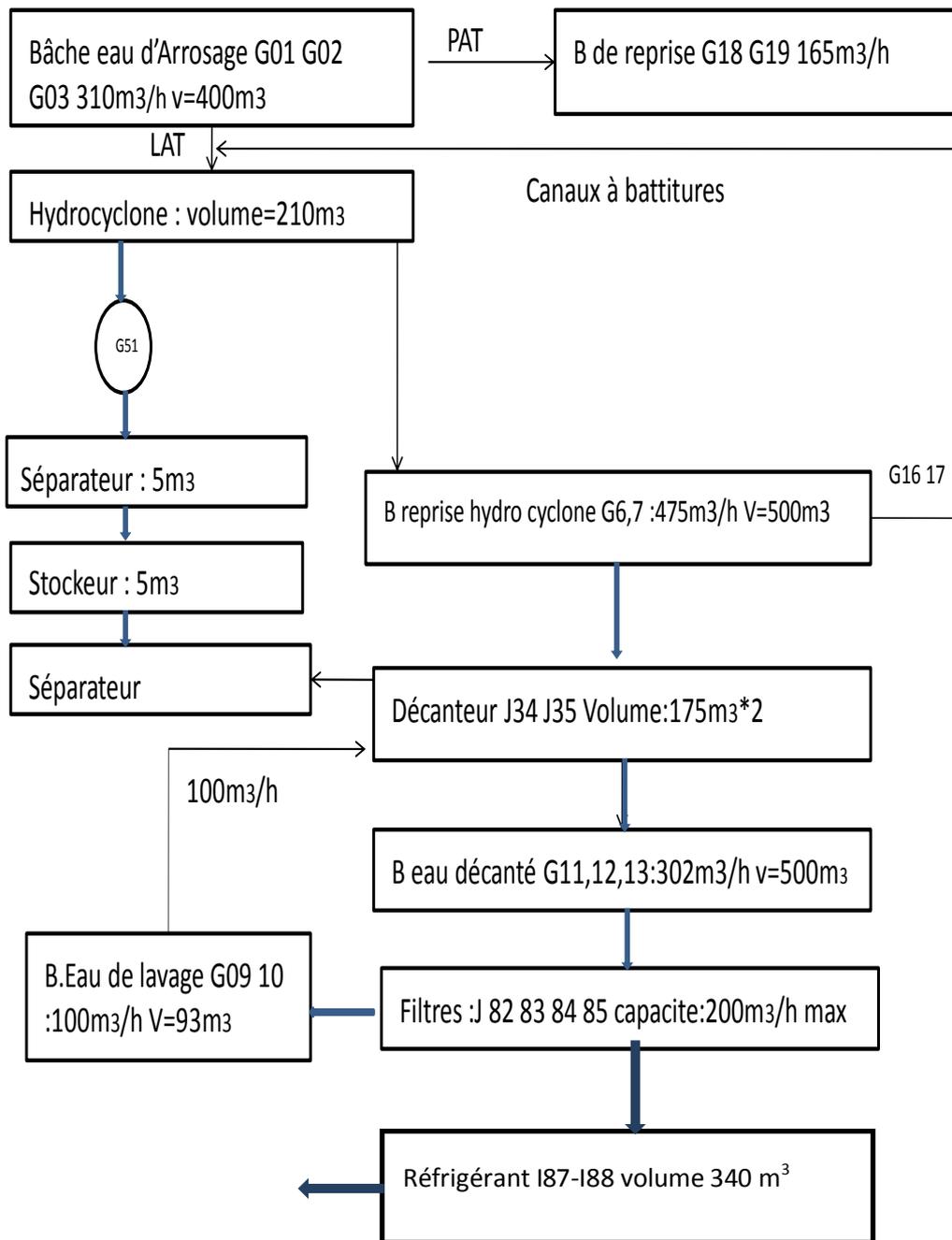


Figure I.6: Circuit schématique d'eau de refroidissement

L'eau industrielle doit généralement être traitée avant d'être admise dans le circuit.

Les avantages des circuits semi-ouverts sont la possibilité de gros débits, une faible consommation d'eau d'appoint, une consommation réduite de réactifs, et une meilleure protection contre la corrosion et l'entartrage que dans le cas des circuits ouverts

## I.6. STATION DE TRAITEMENT DE L'UNITE DE TSS

L'eau à alimenter les ateliers de production après son utilisation subit un traitement dans la station de recyclage de l'eau au niveau de l'unité.

L'eau passe par l'opération suivante :

### I.6.1.DÉCANTATION PRIMAIRE: HYDRO CYCLONE

Est une opération de séparation mécanique, par différence de gravité de phase non-miscible dont l'une au moins est liquide

L'hydro cyclone reçoit les eaux de laminage et finissage et les eaux de saches, Et permet la séparation des calamine (la couche oxydée qui est due à la l'échauffement sous atmosphère) et les huiles.

Ces huiles sont séparées de l'eau et qui sont dirigées vers un bac de stockage d'huile

Tableau I.1: les caractéristiques géométrique d'un séparateur d'huile.

Les dimensions	Logeur (m)	Volume (m <sup>3</sup> )	Largeur (m)	Hauteur (m)
Séparateur d'huile	4.5	8	0.8	2.3

### I.6.2.DÉCANTATION SECONDAIRE

Ces décanteurs sont utilisée dans l'installation à boues activée pour sépare l'eau traitée de la biomasse, elle subit un traitement chimique pour décanter lesMES (matière en suspension) à l'aide d'un coagulant **aquaproxMFA3140**et le **TCD3701**(anti tartre et anti corrosion), puis envoyées sous pression vers les filtres à sable.

Les caractéristiques du décanteur sont représentées dans le tableau I.2.

**Tableau I.2. Caractéristiques géométriques d'un décanteur.**

Les paramètres	Longueur (m)	Volume (m <sup>3</sup> )	Largeur (m)	Hauteur (m)
Les grandeurs	46	-	5.5	3.5



Figure I.7. Décanteur de l'unité de TSS

### I.6.3. FILTRATION À SABLE

Le filtre à sable permet une séparation sur la base du diamètre des particules, il consiste en un récipient ou bassin rempli de sable en guise de médium filtrant, le liquide à traiter s'écoule de haut en bas à travers ce médium.

L'opération de filtration dans l'unité s'effectue par 5 filtres à sable

Les dimensions du filtre à sable sont représentées dans le tableau I.3

**Tableau I.3: Caractéristique géométrique d'un filtre à sable dans l'unité TSS.**

Paramètres	$\phi$ (mm)	Long (m)	Pression (bar)	charge (m <sup>3</sup> )	Granulométrie (mm)
Valeurs	2.8	6	2	16	0.95

### I.6.4. RÉFRIGÉRANT

Après le traitement de l'ensemble de ces eaux (décantation – filtration), La réfrigération est assurée par un réfrigérant à tirage force divisé en deux demi-cellules et a pour but d'évacuer la quantité de la chaleur acquise lors de l'utilisation [15].

Les caractéristiques thermiques de l'eau sont représentées dans le tableau :

**Tableau I-4: Caractéristique thermique de l'eau dans le réfrigérant**

Paramètres	Débit (m <sup>3</sup> /L)	T chaude (c)°	T(c)°refroidie	Pression
Valeurs	605	43	35	760mmhg

## **I.7.CONCLUSION**

Le complexe sidérurgique d'EL HADJAR a pour mission de valoriser le minerai de fer national et de fabriquer des demi- produits sidérurgiques nécessaires aux autres branches du secteur de l'industrie. En outre, pour SES besoins d'énergie et de fluides, le complexe est équipé de plusieurs installations énergétiques.

La TSS est l'une des principales unités de production de sider el hadjar Annaba, elle a pour mission principale: la production des tubes sans soudure, destinés principalement à l'industrie du pétrole, du gaz et le transport des hydrocarbures.

# CHAPITRE II

## **CIRCUIT DE REFROIDISSEMENT, PHENOMENES DE CORROSION ET D'ENTARTRAGE**

## **II.1 CIRCUIT DE REFROIDISSEMENT**

### **II.1.1.INTRODUCTION.**

Les eaux de refroidissement sont largement utilisées dans la plupart de l'industrie des pays développés notamment dans les centrales électriques thermiques ou nucléaires pour la condensation de la vapeur ; dans la sidérurgie pour le refroidissement des installations servant à la fabrication de la fonte et de l'acier, dans l'industrie chimique et pétrochimique pour la condensation des distillats, refroidissement de compresseurs, pour le refroidissement des produits donnant lieu à des réaction exothermiques.

Ces utilisations représentent des quantités d'eau extrêmes importantes, à titre d'exemple:

- La production d'une tonne de papier nécessite 25 m<sup>3</sup> d'eau
- La production d'une tonne d'acier utilise 150 tonne d'eau [16].

### **II.1 .2.DÉFINITION DUNE TOUR DE REFROIDISSEMENT**

Une tour de refroidissement est un échangeur d'un type particulier qui permet de rejeter de la chaleur dans l'air d'environnement sous forme à la fois de chaleur sensible et de chaleur latente du fait de l'augmentation de son humidité. Il est possible de refroidir un fluide jusqu'à une température supérieure de quelques degrés à la température humide de l'air ambiant (et donc éventuellement inférieure à sa température sèche), ceci au prix d'une quantité d'eau consommée de l'ordre de 5 % de celle que demanderait un refroidissement à eau [17].

Tant sur le plan économique qu'environnemental, les tours de refroidissement sont des systèmes très intéressants, notamment en climat chaud et sec.

Selon les températures souhaitées pour obtenir le rendement optimal de la processe, l'on peut distinguer quatre catégories de technologie de refroidissement :

- L'eau, avec refroidissement par passage unique: aujourd'hui, beaucoup de procédés, particulièrement dans les applications industrielles, utilisent toujours ces systèmes à « eau perdue » (interdit par l'arrêté du 2 février 98, article 14) entraînant pollution, nuisance pour l'environnement et gaspillage de ce si précieux élément qu'est l'eau. Il est donc primordial de prendre en compte d'autres systèmes.

- L'air évaporatif: ce principe, appelé refroidissement évaporatif, est celui utilisé dans les tours de refroidissement. En réutilisant 95% de l'eau de refroidissement, il est le plus adapté pour le refroidissement de procédés nécessitant des températures comprises entre 25°C et 45°C.
- L'air sec, utilisé dans tous les aéroréfrigérants secs, est destiné au procédé ayant un rendement optimal avec des températures supérieures à 45°C. Dans les applications de conditionnement d'air, beaucoup de procédés utilisent aujourd'hui des condenseurs à air pour évacuer la chaleur générée. Ces systèmes entraînent à la fois des consommations électriques et des coûts d'installation très élevés.
- Le refroidissement mécanique par groupes frigorifiques qui sera utilisé pour des températures de refroidissement inférieures à 25°C et pour tout besoin en températures négatives [18].

## **II.2.TYPE DE CIRCUITS**

On distingue trois type de circuits sont:

### **II.2.1.CIRCUITS OUVERTS**

Ce sont des circuits sans recirculation d'eau ou systèmes à passage unique (once through system) ou au fil de l'eau. Nous ne les décrirons pas puisqu'ils ne comportent pas d'équipement propre, l'eau chauffée par le procédé industriel étant rejetée dans le milieu naturel. Tout au plus existe-t-il des équipements annexes destinés à filtrer l'eau ou à lui ajouter parfois des produits de traitement.

C'est un système très répandu lorsque l'on dispose d'eau en assez grande quantité. Comme nous l'avons déjà dit, ce type de système est moins en moins utilisé en raison des prélèvements d'eau importants qu'il nécessite et de l'augmentation de chaleur du milieu récepteur [19].

### **II.2. 2.CIRCUITS SEMI-OUVERTS**

L'eau est recyclée après refroidissement par passage dans une tour aéroréfrigérante (tour de refroidissement) dans laquelle est refroidie à son tour par contact avec l'air.

Ce type de circuit est très utilisé dans l'industrie. Il existe différents types de tour de refroidissement, classés généralement par le mode de création du contact d'air appelée aussi tirage [20].

### II.2.3.CIRCUITS FERMÉS

Les circuits fermés sont en réalité constitués par deux systèmes liés thermiquement; l'un complètement fermé (aux fuites près) sert à faire circuler l'eau et à refroidir le procédé par l'intermédiaire d'un échangeur de chaleur, l'autre, appelé aussi circuit secondaire, sert à refroidir l'eau réchauffée. Ce circuit secondaire est très souvent un circuit semi-ouvert ou un système de batteries aérothermes (refroidissement par air).

L'exemple le plus connu est le refroidissement des moteurs thermiques avec circulation fermée d'eau, le refroidissement de l'eau se faisant avec un échangeur de chaleur à air (le radiateur dans une automobile).

L'avantage de ce procédé est qu'il ne consomme théoriquement pas d'eau. Il est aussi très facile de maintenir une composition homogène de cette eau dans tous les points du circuit.

Il y a deux inconvénients:

- Dispositif de refroidissement assez volumineux.
- Obtention d'une température « basse » relativement élevée [21].

### II.3.PRINCIPES DE FONCTIONNEMENT CIRCUIT DE REFROIDISSEMENT

Nous avons vu qu'un réfrigérant atmosphérique est un échangeur de chaleur dans lequel l'eau à refroidir s'écoule en contact avec l'air ambiant en la faisant ruisseler sur des empilages de claies ou de plaques superposées (zone de dispersion), c'est le garnissage ou packing qui constitue le corps d'échange thermique. Il est enfermé dans une tour assurant une circulation d'air la meilleure possible, La fonction de cette tour de refroidissement est uniquement de refroidir de l'eau chaude. On fait circuler l'eau refroidie ainsi obtenue jusqu'à l'unité en fonctionnement, où son rôle est d'éliminer la chaleur produite dans cette unité. De ce fait, l'eau refroidie redevient chaude et est renvoyée à la tour de refroidissement pour être refroidie et recyclée [22] .

#### II.3.1.QUALITÉ DES EAUX DE REFROIDISSEMENT

Les circuits de refroidissement industriels, qu'ils soient ouverts, semi-ouverts ou fermés, sont généralement alimentés en eau naturelle, de la qualité disponible sur place (Eau de rivière, eau de forage, eau de mer ... etc.). Les eaux d'appoint, toujours minéralisées, et parfois polluées

biologiquement (par nature ou par apport extérieur) conduisent souvent à trois types de problèmes:

- La corrosion.
- L'entartrage.
- Les proliférations biologiques [23].

### **II.3.2. PHÉNOMÈNE DE CORROSION**

La corrosion est une interaction physico- chimique entre un métal et son environnement entraînant des modifications dans les propriétés du métal et souvent une dégradation fonctionnelle du métal lui-même, de son environnement ou du système technique constitué par les deux facteurs, Cette interaction est généralement de nature électrochimique.

On distingue trois types de corrosion

#### **II.3.2.1. Corrosion chimique**

C'est une réaction hétérogène entre une phase solide (le métal) et une phase liquide ou gazeuse. Lorsque le réactif est gazeux, la corrosion est dite sèche.

Si le réactif est liquide, il est en général accompagné d'une corrosion électrochimique. L'attaque d'un métal par un autre métal liquide, par un sel fondu ou par une solution non aqueuse, peut être considérée comme une corrosion chimique. Donc, on peut dire, que la corrosion chimique est l'attaque du métal par son environnement. Elle est généralement rencontrée dans les industries produisant ou utilisant les acides [24].

#### **II.3.2.2. La corrosion électrochimique**

Est un phénomène d'oxydo-réduction qui se produit lorsque le métal est en contact avec l'électrolyte qui représente généralement le milieu agressif. à l'anode, il y a une oxydation des atomes métalliques avec formation des cations (dissolution du métal), à la cathode, il y'a une réduction de l'oxydant dissous dans la solution. En milieu acide la réaction cathodique est une réduction des ions hydrogènes et de l'oxygène dissous

dans l'électrolyte. Les métaux, même les plus purs, ne sont pas en général monophasés. Lorsqu'ils sont plongés dans un réactif, ils sont donc le plus souvent siégés d'une corrosion électrochimique qui se superpose à la corrosion chimique proprement dite [25].

### II.3.2.3. La corrosion biochimique

Est due à l'activité vitale des divers microorganismes utilisant le métal comme milieu nutritif ou sécrétant des produits qui altèrent le métal. Son évolution est favorisée par les sols de composition déterminée, les eaux stagnantes et certains produits [26].

## II.4. FORMES DE CORROSION

IL existe de différentes formes de corrosion, dépendant de la nature du métal et des caractéristiques de son environnement, ont peut être identifiées et répertoriées selon leurs principales manifestations visibles

### II.4.1. CORROSION UNIFORME

C'est une corrosion qui se manifeste avec la même vitesse sur toute la surface du métal. Elle est aisément contrôlable par des mesures de pertes de masse ou de diminution d'épaisseur du métal [27].

### II.4.2. CORROSION LOCALISÉ

Certains secteurs de la surface du métal se corrodent à des taux plus élevés que d'autres dus à l'hétérogénéité de surface dans le métal, l'environnement ou dans la géométrie de la structure dans l'ensemble ,qui englobe plusieurs types:

#### II.4.2.1. La corrosion galvanique:

Appelée aussi corrosion bimétallique. Ce type de corrosion est dû à la formation d'une pile électrochimique entre deux métaux en contact (voire la Fig.II.1)



Figure II.1. La corrosion galvanique

### II.4.2.2.La corrosion par aération différentielle

(ou caverneuse ou sous dépôts) qui est souvent observée lorsqu'il y a infiltration d'une solution entre deux parties d'un assemblage [28].

### II.4.2.3.corrosion par piqures

Est produite par certains anions complexant, notamment les chlorures, sur les métaux protégés par des films d'oxyde mince. Elle induit des cavités de quelques micromètres de diamètre à quelques millimètres à l'intérieur du matériau (voire Fig.II.2)[29].



Figure II.2.2.La corrosion par piqure

## II.5 .MOYENS DE PROTECTION CONTRE LA CORROSION

Le choix du type de protection contre la corrosion dépend des métaux concernés, de l'utilisation de l'application, du milieu dans lequel elle se trouvera et de la somme que l'entreprise est prête à investir

Les moyens de protection des métaux contre la corrosion sont:

### II.5.1.LA PROTECTION PAR REVÊTEMENTS

Cette méthode a été beaucoup développée, de l'utilisation de peintures non métalliques jusqu'à l'application de recouvrement galvanique sur les aciers. Les peintures jouent un rôle de barrière physique qui protège la surface métallique en empêchant le contact direct de cette surface avec les espèces agressives et les autres composants favorisant le commencement de corrosion. Cette méthode a l'inconvénient de n'être pas sûre, car un petit défaut dans l'application de recouvrement provoquera un grand risque de corrosion de l'acier.

## **II.5.2.LA PROTECTION ÉLECTROCHIMIQUE**

La protection cathodique (qui contrôle le courant électrochimique de corrosion), la réalcalinisation et la déchlorurations (qui modifient l'environnement autour de l'armature), toutes basées sur l'application de courant électrique entre une anode placée sur la surface à protéger (cathode)

## **II.5.3.LA PROTECTION PAR INHIBITION**

Un inhibiteur de corrosion est une substance qui est ajoutée en petite concentration à un environnement, provoque une diminution significative de la vitesse de corrosion d'un métal situé dans cet environnement [30] [31].

## **II.5.4.CLASSIFICATION D'INHIBITEUR**

Il n'existe pas de critères uniques pour classer les inhibiteurs. Parmi les classements possibles, on peut différencier les inhibiteurs selon

### **II.5.4.1. la composition chimique**

#### **II.5.4.1.1.Les inhibiteurs organiques**

Les inhibiteurs organiques sont généralement constitués de sous-produits de l'industrie pétrolière. ILS comportent tous au moins un hétéroatome qui, possédant une forte densité électronique

Les inhibiteurs organiques agissent par :

- Adsorption à la surface (cas des composés aminés et soufrés)
- Neutralisation ou alcalinisation du milieu corrosif.
- Formation d'un film protecteur à la surface du métal
- Hydrophobisation de la surface du métal [32].

#### **II.5.4.1.2.Les inhibiteurs minéraux**

Les molécules minérales sont utilisées le plus souvent en milieu proche de la neutralité, voire en milieu alcalin et plus rarement en milieu acide. Les produits se dissocient en solution et ce sont souvent leurs produits de dissociation qui assurent les phénomènes d'inhibition (anions et cations). Les cations inhibiteurs sont [33].

### II.5.4.2.Selon la nature électrochimique

**II.5.4.2.1.Les inhibiteurs anodiques:** Ils ont une action sur la partie anodique de la surface du métal.il peut entrainer localement une augmentation de la densité de courant sur ces surfaces.

**II.5.4.2.2.Les inhibiteurs cathodiques:** En induisant une augmentation de la surtension cathodique, ils réduisent donc le courant de corrosion. Ces inhibiteurs précipitent souvent des sels ou des hydroxydes, du fait de l'accumulation

**II.5.4.2.3.Les inhibiteurs mixtes :** Ils ont à la fois des propriétés des inhibiteurs anodiques et cathodiques[34].

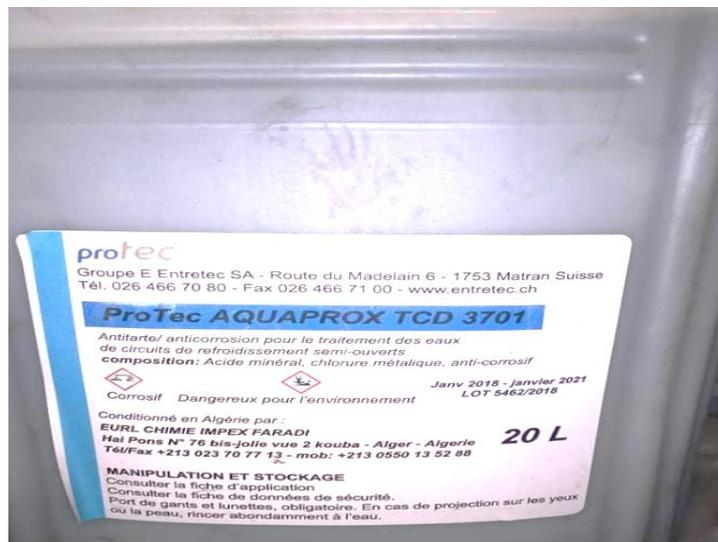


Figure II.3.Antitarte /Anti corrosion utiliser dans l'unité de TSS

## II.6.PHÉNOMÈNE DE L'ENTARTRAGE

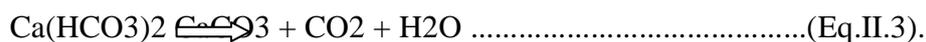
L'entartrage est un phénomène qui correspond à la précipitation des sels minéraux en fonction de leur solubilité et de leur concentration ,Les sels produisant les tartres le plus souvent dans les de refroidissement sont la silice, le sulfate de calcium, le phosphate de calcium et le carbonate de calcium(voir Fig.II.4) [35].



Figure II. 4. Exemple de tartre dans la conduit de l'unité de TSS

### II.6.1.CAUSE DE L'ENTARTRAGE

La cause principale de l'entartrage est la rupture de l'équilibre carbonique de l'eau, notamment pour les sels de calcium et de magnésium.



La présence du CO<sub>2</sub> permet la formation des ions (-HCO<sub>3</sub>) et par suite, le maintien des sels carbonatés en solution. Tout phénomène physique ou chimique qui entraîne le dégagement du CO<sub>2</sub> favorise donc l'entartrage par précipitation du carbonate de calcium et du carbonate de magnésium, parmi ces phénomènes on note:

- L'élévation de la température.
- La variation du pH
- A l'abaissement de la pression de l'eau.

### II.6.2. LA LUTTE CONTRE L'ENTARTRAGE

Pour lutter contre l'entartrage, il y'a deux types de procédé peuvent être envisagés: **Procédé soustractifs**: élimination d'un ou des ions formateurs de tartres par des **résines échangeuses** ou par **la décarbonatation a le chaud**

**Procédés additifs**: ajouter des substances qui vont reculer le produit de solubilité, ou altérer le processus de croissance des cristaux, ou disperser les cristaux formés (solubilisation par acidification, ou par agents chélates[36].

# **CHAPITRE III**

## **ETUDE DE L'EFFICACITE DE TRAITEMENT DES EAUX DE REFROIDISSEMENT**

### III.1. INTRODUCTION

L'eau industrielle est une ressource fondamentale pour l'industrie, un secteur qui est le second consommateur d'eau après l'agriculture avec 22% des volumes d'eau prélevés dans le monde.

Le secteur industriel utilise généralement l'eau selon trois grandes catégories comme : fluide thermique, fluide de nettoyage et agent intervenant dans un processus de fabrication comme solvant ou matière première, pour le refroidissement des centrales électriques et la production.

Cette consommation d'eau varie selon les pays et les secteurs d'activités, la qualité requise pour l'eau industrielle dépend de l'activité de l'industrie.

Lors de notre stage au complexe Sidérurgique d'El-Hadjjar, nous avons fixé comme objectif de notre projet de fin d'étude, l'étude de l'efficacité des eaux destinées à alimenter les circuits de refroidissement. Cette présente étude a été basée sur des analyses qui ont été effectuées dans le laboratoire centrale du complexe du 07/01/2020 au 05/03/2020, date après laquelle l'unité TSS déclare l'arrêt des installations jusqu'à nouvel ordre.

### III.2. TYPE D'EAUX ANALYSEES

#### Eau industrielle

La zone EST traite l'eau brute qui alimente l'usine de provenance du barrage de CHAFIA en eau industrielle et l'envoie par la suite à l'unité TSS.

L'eau industrielle désigne l'eau résiduaire qui provient des différents usages industriels. Les caractéristiques de ces eaux sont extrêmement variables et directement liées au type d'industrie, en fonction leurs caractéristiques, elles peuvent être envoyées au réseau des eaux pluviales ou des eaux usées (contrôle de la qualité par le laboratoire de la STEP)[37].

#### Prélèvement

Pour les analyses physico-chimiques; l'emploi des flacons de plastique d'un 1,5L. Après le prélèvement des échantillons, les bouteilles sont fermées pour éviter l'évaporation et transportées au laboratoire dans une glacière

**Les caractéristiques d'une eau industrielle sont les suivantes:**

Tableau III.1 : la norme d'eau industrielle.

Paramètres	Unité	Min –max
TA	°F	1 à 2
TAC	°F	2,5 à 6
TH	°F	9 à 11
Ca <sup>2+</sup>	°F	6 à 8
Mg <sup>2+</sup>	°F	1 à 3
Cl	mg /L	30 à 40
TDS	mg/L	300 à 400
MES	mg/L	2 à 5
pH	-	8,5 à 9,5
Température	°C	10 à 26
Conductivité à 25c	µS /cm	300.0 à 400

### III.3.PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES ANALYSEES

Les paramètres physico-chimiques à analyser sont le pH, la conductivité, la dureté, le titre alcalimétrique (TAC), (TA), TDS, MES et la concentration en Cl.

#### III.3.1. TITRE HYDROTOMETRIQUE TH

**La dureté ou le titre hydrotimétrique (TH) :** d'une eau correspond à la somme des concentrations en ions calcium et magnésium.

- **Type de dureté**

**La dureté calcique :** correspond seulement aux ions calcium.

**La dureté magnésienne :** correspond seulement aux ions magnésium.

**TH totale :** est la somme de la dureté calcique et magnésienne, La dureté carbonatée ou temporaire

**La dureté carbonatée :** correspond à la partie de la dureté totale, chimiquement équivalente à la quantité de bicarbonates présents dans une eau.

**La dureté non carbonatée :** ou permanente Ce type de dureté est en général associée aux sulfates, chlorures, nitrates. On ne peut pas l'éliminer ou faire précipiter par ébullition.

**La détermination du TH :** est basée sur la formation du complexe entre les alcalino-terreux et le sel disodique de l'acide éthylène-diamine tétra éique (EDTA) en présence de noir ériochrome T en milieu convenablement tamponné.

Tableau III.2 :Caractère de l'eau selon TH

TH (°F)	0 à7	7à15	15à30	30à40	>40
Eau	Très douce	douce	Moyennement dure	Dure	Très dure

### III.3.2.TITRE CALCIQUE $\text{Ca}^{2+}$ ET LE TITRE MAGNESIQUE $\text{TMg}^{2+}$

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 quelquefois Titre Calcique  $\text{TCa}^{2+}$  de l'eau.

On parle de même de la dureté magnésienne (ou Titre Magnésien,  $\text{TMg}^{2+}$ ) uniquement dû aux sels de magnésium.

### III.2.3.LE TITRE ALCALIMETRIQUE COMPLET (TAC)

Mesure la somme des alcalis libres, des carbonates et des bicarbonates :

$$\text{TA} = [\text{OH}^-] + [\text{CO}_3^{2-}] + [\text{HCO}_3^-].$$

Il est déterminé également par neutralisation acide jusqu'au virage de l'hélianthine (méthylorange) du jaune au rose-orangé, vers pH 4,3.

### III.3.4.LE TITRE ALCALIMETRIQUE (TA)

Mesure la teneur en alcalis libres ( $\text{OH}^-$ ) et en carbonates :

$$\text{TA} = [\text{OH}^-] + 1/2 [\text{CO}_3^{2-}]$$

Il est déterminé par neutralisation à l'aide d'une solution d'acide sulfurique N/50 normale. La phénolphtaléine permet de détecter le point de virage du rose vers l'incolore, vers pH 8,3.

### III.3.5.LE TOTAL DE MATIERES SOLIDES (TDS)

Ou solides dissous totaux est le total de matières solides dissoutes estime le résidu total qui reste après évaporation d'un échantillon d'eau qui a été filtré afin d'enlever les matières solides en suspension de plus de 1 mm de grosseur, Exprimé en mg/L.

Le total de matières solides (TDS) est mesuré à l'aide d'un spectrophotomètre (voire la FIG.1)



Figure 1 : un spectrophotomètre

### III.3.6.LA CONDUCTIVITE

Conductivité est mesurée par la méthode ISO 7888 à l'aide d'un conductimètre modèle E587.

Il est muni d'une cellule dont la constante  $K=1$  et d'une sonde de compensation de température. Plusieurs échelles de mesure permettent de déterminer avec précision la valeur de la conductivité.



Figure 2 :conductimètre

### III.3.7.TENEUR EN CHLORURES

Chlorures sont mesurés selon la méthode AFNOR NFT 90-014. Ils sont dosés en milieu neutre par une solution de nitrate d'argent en présence de chromate de potassium comme indicateur exprimé en mg/l

### III.3.8.LES MATIERES EN SUSPENSION(MES)

Lesparticules en suspension désignent l'ensemble des matières solides insolubles visibles à l'œil nu présentes en suspension dans un liquide (eau turbide).

Il s'agit ici de la matière qui est sous forme de particule et la matière colloïdale et qui reste en suspension dans l'eau (de taille 10<sup>-2</sup>à 10<sup>-8</sup>mm).

### III.3.9.LE POTENTIEL D' HYDROGENE pH

Est une mesure de l'activité chimique des hadrons (proton) aux ions hydrogène en solution, en solution aqueuse, ces ions sont présents la forme de l'ion hydronium.

Le pH mesure l'acidité ou la basicité d'une solution, dans un milieu aqueuse à 25 c°

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

Tableau III. 2 :caractère de l'eau selon le pH

pH7	pH=7	pH 7
Acide	Neutre	Basique

### III.3.10.LA TEMPERATURE

C'est une caractéristique physique importante, elle joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout des gaz, dans la détermination du pH pour la connaissance de l'origine de l'eau des

mélanges éventuels. Sa mesure est nécessaire pour accéder à la détermination du champ de densité et des courants [38].

**Les protocoles opératoires des caractères physico-chimiques sont indiqués dans l'Annexe.**

### III.4.LES RESULTATS ET DISCUSIONS

Les résultats des analyses des différents paramètres effectués au niveau du laboratoire du complexe Sidérurgique d' El-Hadjar sont regroupés dans le tableau III.1 pour l'eau industrielle

(qui alimente le circuit de refroidissement) et dans le tableau III.2 pour l'eau d'arrosage (récupérée après passage dans le circuit de refroidissement)

**Tableau : III.1. Les résultats des analyses d'eau industrielle.**

Date	TH (°F)	Mg <sup>2+</sup> (°F)	Ca <sup>2+</sup> (°F)	TAC (°F)	TA (°F)	TDS( mg/l)	MES (mg/)	Cond (µs/cm )	Cl <sup>-</sup> (mg/L )	pH	T(C°)
07/01/2020	17.8	4.8	13	10.8	0.2	411	18	500	63.9	8.8	16
15/01/2020	10.4	4	6.4	4.4	0.4	266	13	300	53.2	8.50	13
21/01/2020	8	2.6	5.4	2.4	1	285	10	285	42.6	9	16
09/02/2020	16	3.8	12.2	9	0	440	4	440	56.8	7.90	15.5
18/02/2020	10.6	2.2	8.4	3.4	0.6	360	5	360	71	8.68	16.5
05/03/2020	12.5	3.1	9.4	7.3	0	420	30	420	49	8.6	24

**Tableau III.2 : L'analyse de l'eau arrosage.**

Date	TH (°F)	Mg <sup>2+</sup> (°F)	Ca <sup>2+</sup> (°F)	TAC (°F)	TA (°F)	TDS (mg/L)	MES (mg /l)	Cond (µs /cm)	pH	Cl <sup>-</sup> mg/l	T (°C)
07/01/2020	15	4.2	10.8	9.8	0	97	374	460	7.60	71	16.5
15/01/2020	14.4	3.4	11	9.2	0	366	90	435	7.97	71	15
21/01/2020	15	4.6	10.4	9.6	0	394	137	502	7.48	71	18
09/02/2020	15.2	4.2	11	9	0	362	46	440	7.90	63.9	16

18/02/2020	14	3	11	8.4	0	366	36	450	7.95	71	17.5
05/03/2020	13.6	3.6	10	8	0	330	151	480	7.20	67.4	24

### III.4.1.Présentation graphiques des paramètres

Les paramètres physico-chimiques étudiés pour l'analyse de l'eau industrielle et l'eau d'arrosage sont présents dans les figures suivantes afin de voir leur évolution

#### III.4.1.1.Le titre Hydrotimétrique.

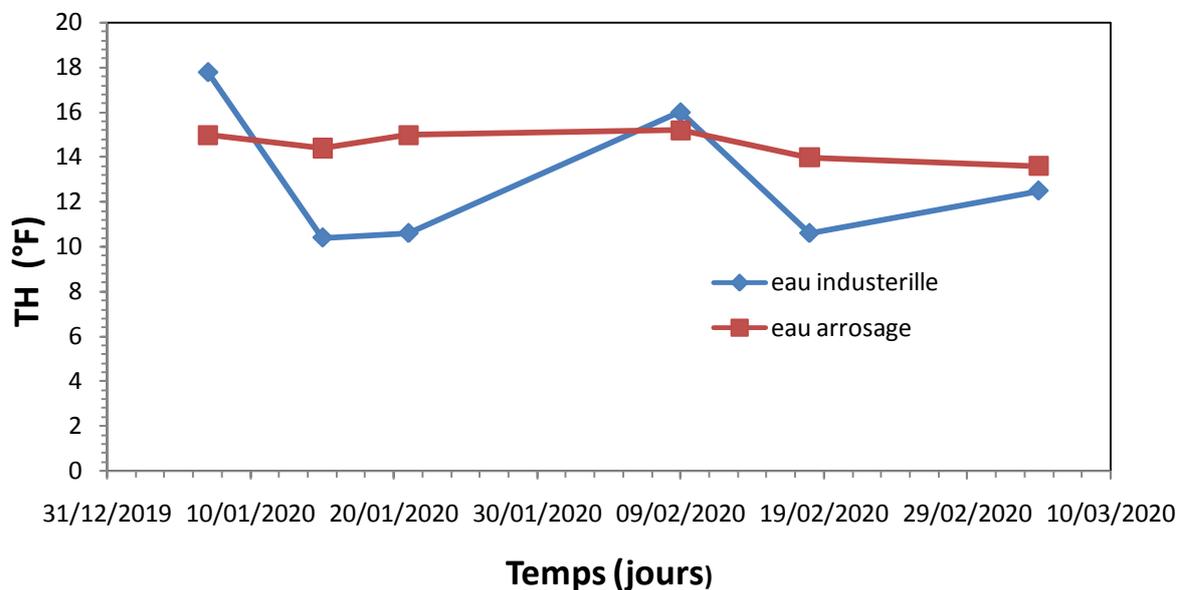


Figure III.1 : Variation de la dureté totale TH de l'eau industrielle et d'arrosage en fonction du temps.

Figure III.1 donne l'allure de la variation de la dureté totale de l'eau industrielle et d'arrosage en fonction de la période d'étude.

On peut dire que l'eau industrielle est douce, où les valeurs de TH sont inférieures à 15 °F. En outre, les valeurs de TH pour l'eau d'arrosage sont comprises entre 13 à 15 °F, donc on peut dire que cette eau est aussi douce.

Cependant, l'eau industrielle présente une dureté supérieure aux normes ( $7 \geq TH \leq 11$  °F) durant les journées n°: 07/01 09/02 05/03

nous pouvons expliquer cela par le non-respect des protocoles de traitement de l'eau d'arrosage

**Une faible dureté ne permet pas l'élaboration de couche carbonatée pou-vant participer à une protection des canalisations contre certains risques de corrosion ; par contre, une dureté élevée constitue un risque important d'entartrage des canalisations[39]**

#### III.4.1.1. Le titre Hydrotimétrique

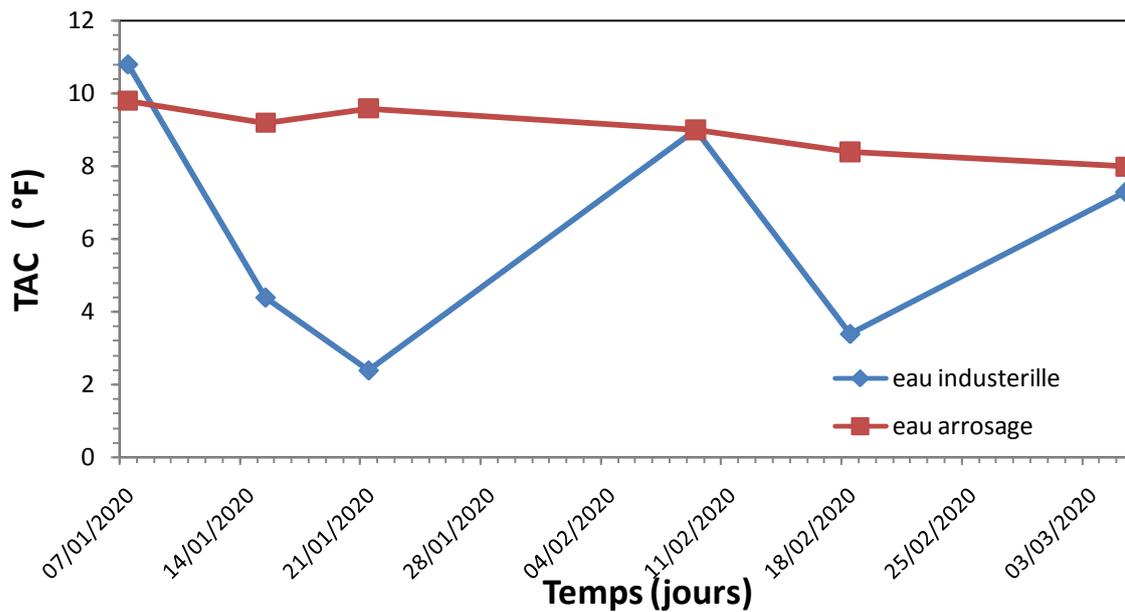


Figure III.2: variation de l'alcalinité totale TAC de l'eau industrielle et d'arrosage en fonction du temps.

Le titre TAC exprime l'alcalinité totale de l'eau, il a une importance fondamentale dans la connaissance de la capacité d'entartrage de l'eau dans le traitement des eaux de refroidissement.

La figure III.2 présente les valeurs du titre alcalimétrique complet des eaux de refroidissement en fonction du temps, on remarque que les valeurs de titre alcalimétrique complet de l'eau d'arrosage sont moyennes (TAC = 8 à 9.8 °F). Par contre, celles de l'eau industrielle (arrosage après traitement), elles sont fluctuantes ce qui affecte les caractéristiques de l'eau de refroidissement et laisse des micro-flocs en solution de la chaux ou de la coagulation (verser de grandes quantités à la fois mauvaise traitement de décantation dans la zone EST et aussi dans TSS). [voir les annexes]

### III.3.1.3. Le titre alcalimétrique (TA)

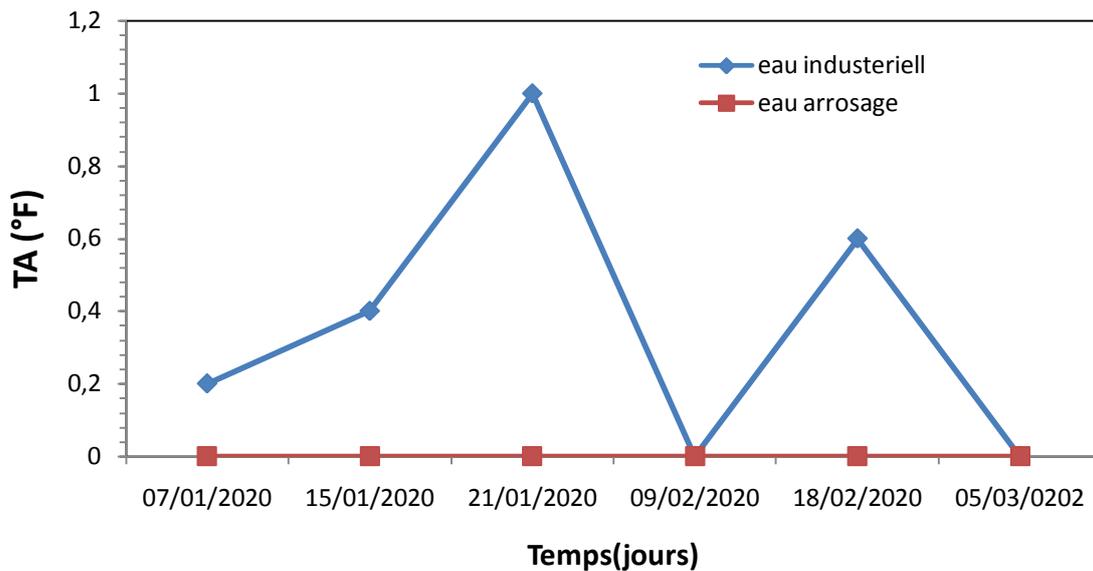


Figure III.3 : Variation de titre alcalimétrique simple de l'eau industrielle et arrosage en fonction du temps.

D'après la figure III.3 on remarque que la mesure de titre alcalimétrique simple TA pour l'eau arrosage est égale à zéro dans la période étudiée. Par contre, le titre alcalimétrique simple TA de l'eau industrielle varie de 0 jusqu'à 0,6°F est toujours inférieure aux normes est peut-être dû 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.

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

### III.3.1.4. Le total de matières solides (TDS)

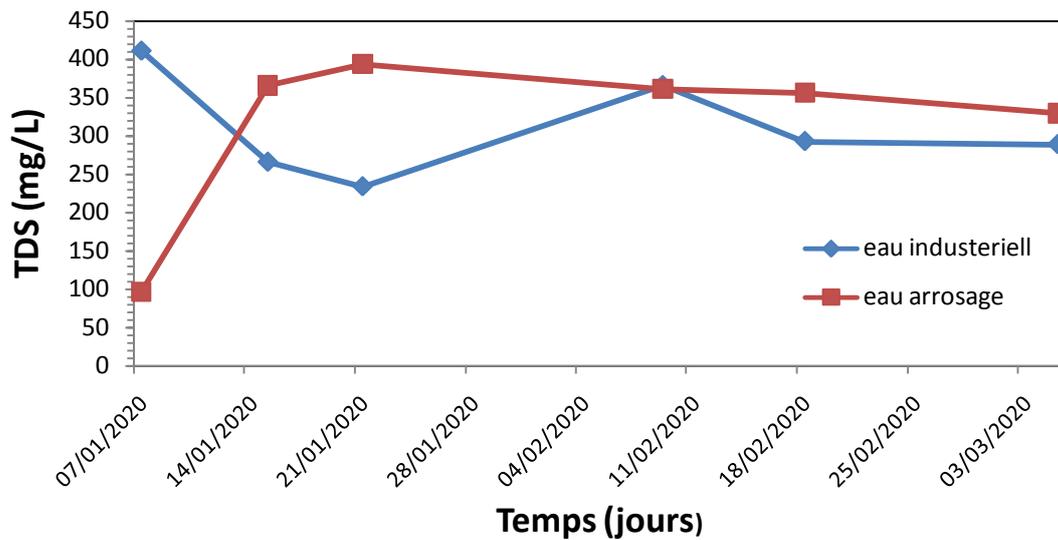


Figure III.4 : Variation du total de matières solides TDS de l'eau industrielle et arrosage en fonction du temps

La figure III.4 représente la variation des taux des sels dissous TDS dans l'eau d'arrosage et dans l'eau industrielle dans la période de stage. On remarque que l'allure pour les deux eaux donnent des fluctuations pour les de types d'eaux. Mais reste toujours dans la norme

En effet, leurs minéralisations sont acceptables du moment qu'elles répondent aux normes.

### III.3.1.5. La conductivité

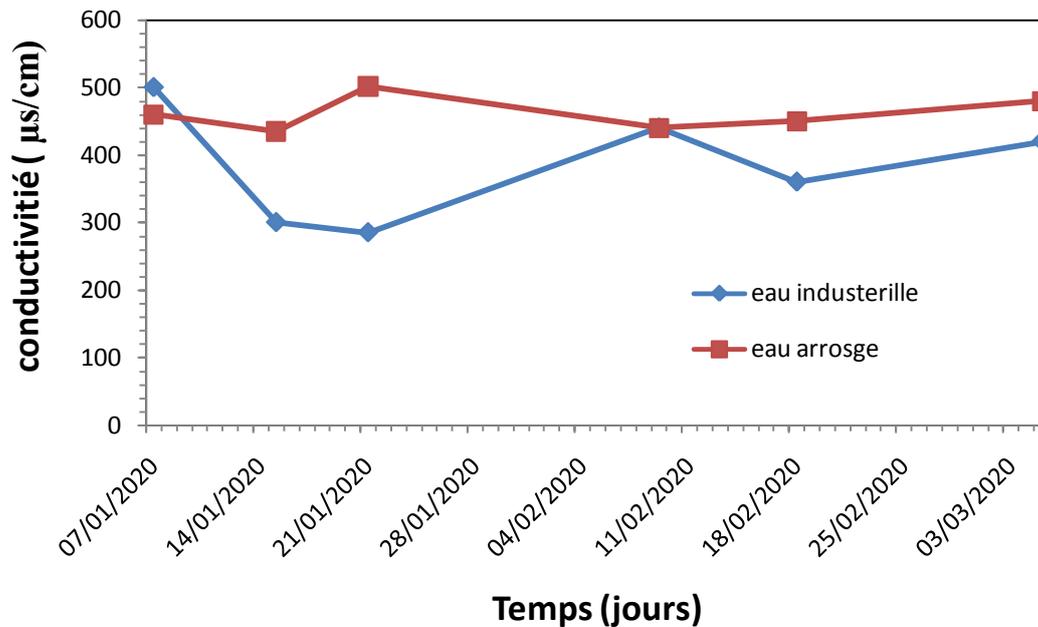


Figure III.5. Variation de la conductivité de l'eau industrielle et arrosage en fonction du temps

La figure III.5 présente les variations de la conductivité en fonction du temps

Nous pouvons dire que le traitement n'est pas efficace vu que les valeurs de la conductivité sont toutes hors norme exigées (300 – 400 µS/cm).

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

Les valeurs de la conductivité dans l'eau industrielle sont dans les normes 300 à 400 (µS/cm) correspondant aux eaux de refroidissement dans les jours 15/01 21/01 18/02

Une eau douce admet généralement une conductivité basse

### III.3.1.6. La concentration de chlorure.

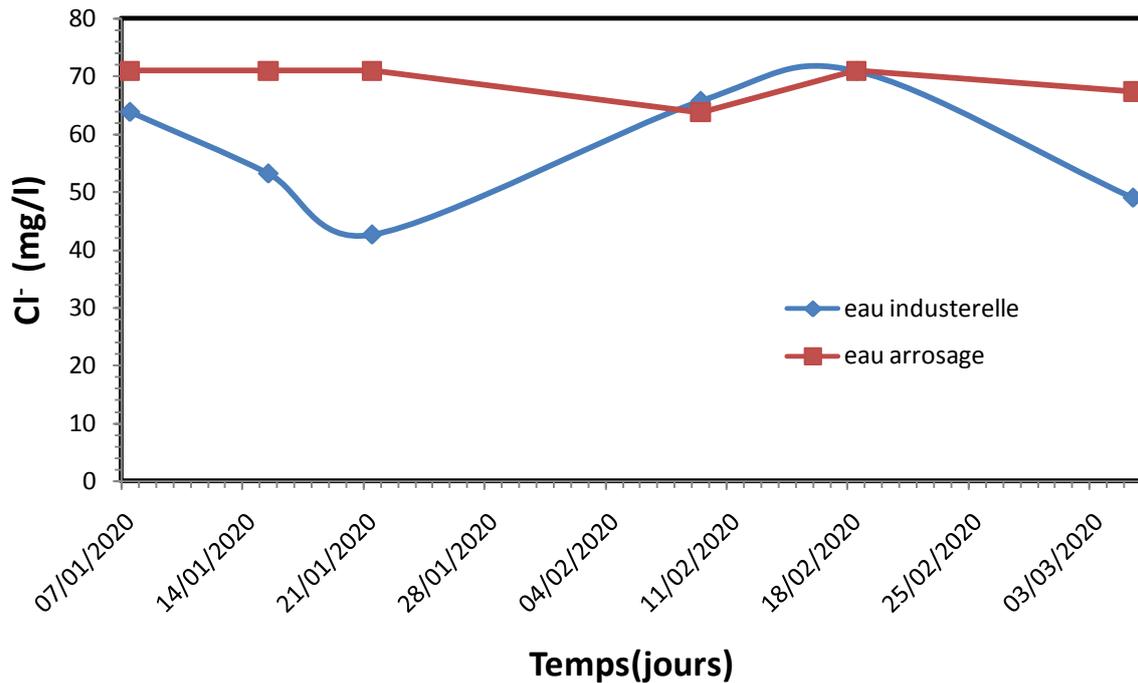


Figure III.6. La variation du chlorure de l'eau industrielle et arrosage en fonction du temps.

La figure III.6 montre les variations des concentrations des chlorures dans l'eau, nous remarquons la présence de chlorure avec des concentrations énormes, pratiquement tous les eaux du circuit ont une teneur en chlorure qui dépasse les normes exigées (30 – 40 Mg/L), l'eau industrielle variée entre 40-70 mg/l avec une moyenne de 57.58 mg/l. Et pour l'eau d'arrosage 60-80 mg/l avec une moyenne de 69.2 mg/l.

Ceci peut être expliqué par un traitement limité qui pourrait facilement conduire à une corrosion par piqûres. En effet, l'ion chlorure s'hydrolyse dans l'eau pour former HClO et

HCl provoquant localement de fortes chutes de pH et conséquemment une forte corrosion localisée.

### III.3.1.7. Matières en suspension (MES)

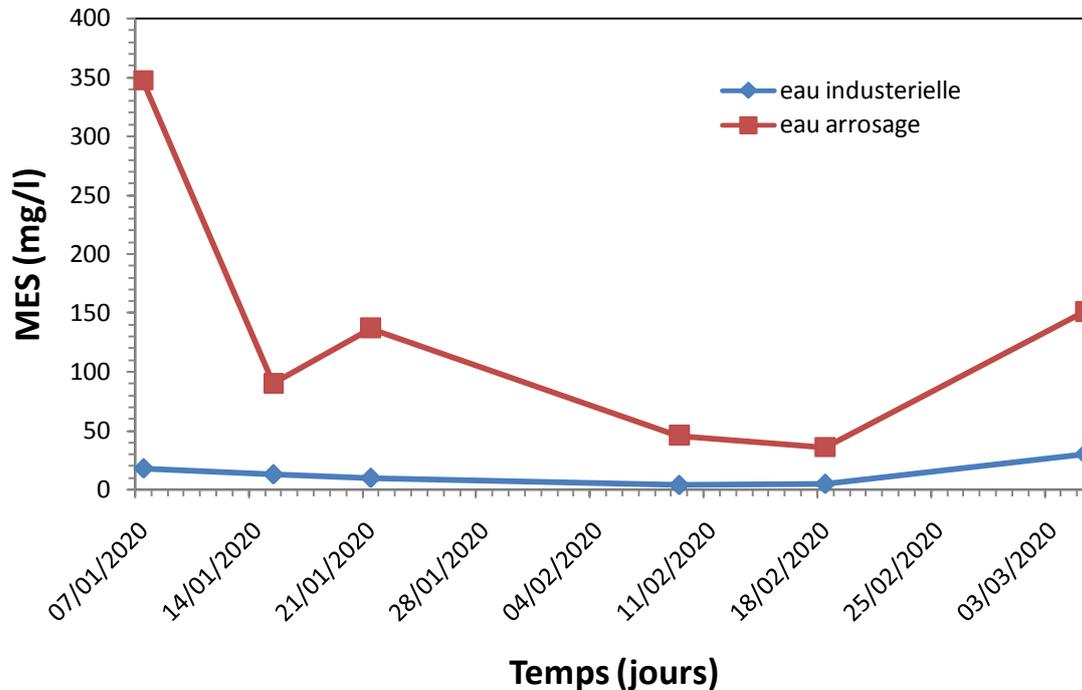


Figure III.7. Variation des matières en suspension MES de l'eau industrielle et arrosage en fonction du temps.

D'après la figure III.7 on peut dire que la teneur des matières en suspension dans l'eau d'arrosage est élevée (36°F à 347 °F) parce qu'il contient des résidus de fer provenant de matières premières (la calamine)

On trouve que la variation de MES variée entre (4°F à 30°F) avec une moyenne de 13.33°F dans l'eau industrielle

Cependant l'eau industrielle présente un teneur des matières en suspension supérieur aux normes exigées ( $MES \leq 10 \text{ °F}$ )

Un traitement de coagulation-floculation-filtration s'avère alors nécessaire. et faible rendement de filtration car le filtre à sable est en panne ou hors service.

### III.3.1.8. Potentiel hydrogène pH:

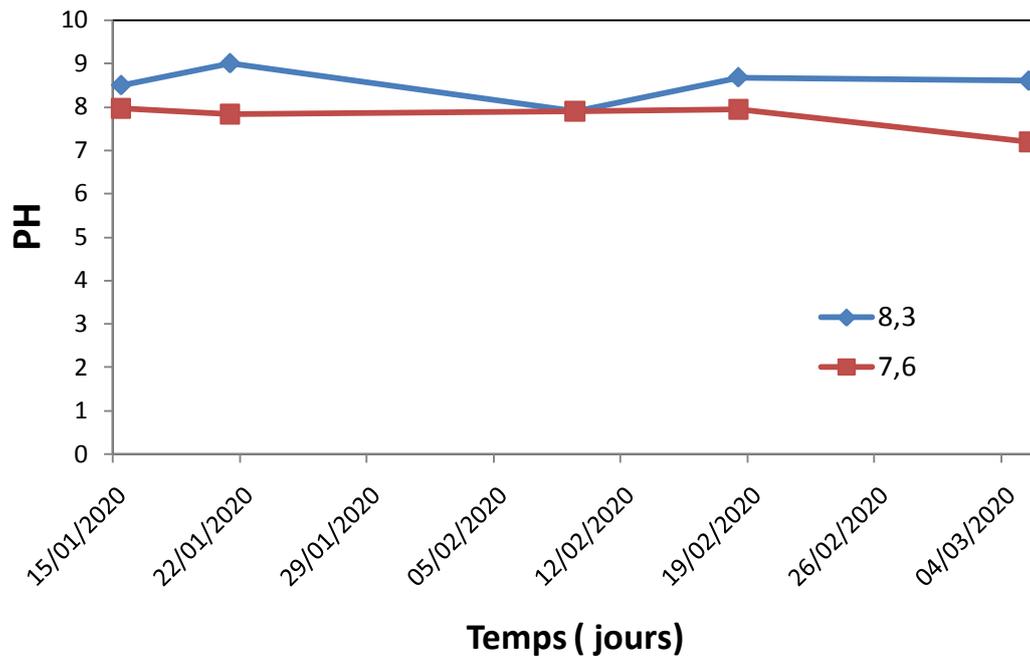


Figure III.8 : variation potentiel hydrogène PH de l'eau industrielle et arrosage en fonction du temps.

La figure II.8 présente les variations du pH en fonction du temps, toutes les observations montrent que l'eau industrielle et arrosage est une eau neutralisée. D'après les normes, le pH de l'eau de refroidissement doit varier entre 8,5 et 9,5. On peut remarquer que le pH dans les normes

### III.3.1.9.La température.

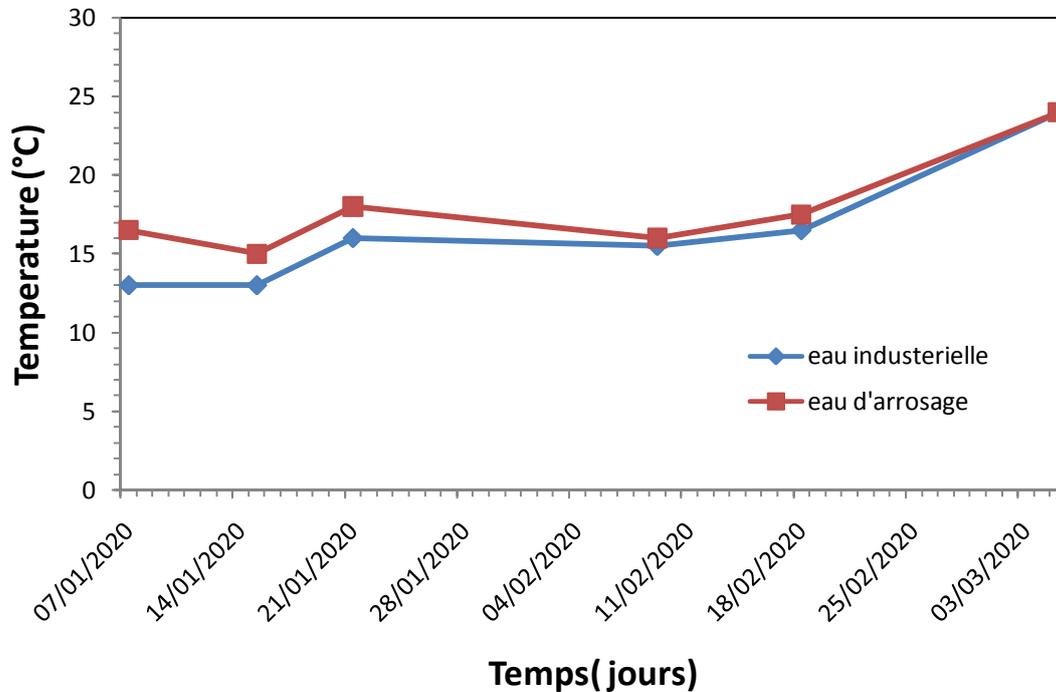


Figure III.09 : Variation de la température de l'eau industrielle et arrosage en fonction du temps.

D'après la figure III.09 on observe que les températures sont entre 13 et 25°C c'est la transition entre la froide et la chaude. On peut remarquer que la température dans les normes.

### III.4.2.INTERPRETATION DES RESULTATS.

D'après les résultats d'eau industrielle analysés on remarque que les valeurs des pH est dans les normes, avec un caractère basique.

D'après les résultats d'eau industrielle analysée on remarque que les valeurs des titres TA est toujours inférieure aux normes est peut-être dû au mauvais traitement de l'eau.

Le titre TAC exprime l'alcalinité totale de l'eau, il a une importance fondamentale dans la connaissance de la capacité d'entartage de l'eau dans le traitement des eaux de

refroidissement, onelles sont fluctuations ce qui affecte les caractéristiques de l'eau de refroidissement et laisse des micros floes en solution donc mauvais décantation

La teneur de chlorure est très élevés elle dépasse les normes, elle influence sur le comportement corrosif de l'eau, qui favorise la formation des piqures.

La variation des températures est instable et élevée dans certain jours, cette élévation provoque la précipitation des  $Mg^{2+}$  et  $Ca^{2+}$ , ce dernier provoque un dépôt de calcaire, plus la température est élevés plus l'effet corrosif augmente.

La teneur de conductivité adaptant la norme dans certains jours, La température influence grandement sur la conductivité de l'eau.

D'après les résultats d'eau industrielle analysée on remarque que les valeurs de TH totale sont élevées et dépasser les normes, Signifie que notre eau est douce.

La conséquence de cette eau est la formation du dépôt de calcaire des canalisations.

La teneur des matières en suspension MES des eaux de refroidissement est supérieure à la norme

L'analyse de la dureté est par conséquent hors norme, à cause du non-respect des protocoles du traitement, ce qui provoquera certainement l'éclatement des tubes.

Pendant toute la dureté d'étude on a constaté que tous ces problèmes de corrosion et d'entartrage peuvent être réduites, si les intervenants appliquent les protocoles de traitement nécessaires.

Et donc pour réduit cette teneur est vérifier l'injection de l'adjuvant de floculation et vérifier aussi la bonne marche des ponts racleurs et nettoyage filtre à sable.

**CHAPITRE IV:**  
**ETUDE DE PHENOMENES DE CORROSION ET**  
**D'ENTARTRAGE**

## IV.1. INTRODUCTION

Après l'étude de la qualité de l'eau de refroidissement, on a trouvé que l'eau de refroidissement est de mauvaise qualité, pour cela on s'est penché vers l'étude de l'efficacité de l'inhibiteur (Pro Tec AquaproxTCD3701) utilisé au sein de l'unité de TSS.

## IV.2. COURBES DE POLARISATION

Un métal plongé dans un milieu électrolytique quelconque tend à se dissoudre et à charger électriquement avec la création d'une double couche électrochimique assimilable à un condensateur électrique. Au bout d'un temps suffisamment long pour qu'un régime stationnaire soit établi, l'électrode métallique prend, par rapport à la solution un potentiel, un potentiel appelé potentiel de corrosion ( $E_{corr}$ ). Ce potentiel est un indicateur qualitatif de l'état de corrosion d'un substrat métallique dans un milieu électrolytique. Ce potentiel ne peut être connu qu'en valeur absolue. Il est repéré par rapport à une électrode de référence.

Cette technique simple apporte des informations préliminaires sur la nature des processus produisant à l'interface métal/ électrolyte et permet de déterminer d'une façon précise les paramètres électrochimiques à savoir, la vitesse instantanée de corrosion ( $I_{corr}$ ), le potentiel de corrosion ( $E_{corr}$ ), les pentes de Tafel, la résistance de polarisation ( $R_p$ ) et les courants limites de diffusion. Elle donne des mesures rapides et sa mise en œuvre est relativement simple [40].

La méthode consiste à imposer à l'échantillon une tension donnée par rapport à l'électrode de référence, et à mesurer la densité de courant résultante traversant l'électrode de travail.

Les courbes  $E=f(I)$  représentent les courbes de polarisation. La courbe de polarisation de l'interface métal-solution est une caractéristique fondamentale de la cinétique électrochimique.

Pour déterminer expérimentalement ces paramètres électrochimiques, une présentation logarithmique de la densité de courant est en général préférable (Figure IV.1), car elle met en évidence la relation linéaire entre le logarithme de la densité de courant et le potentiel.

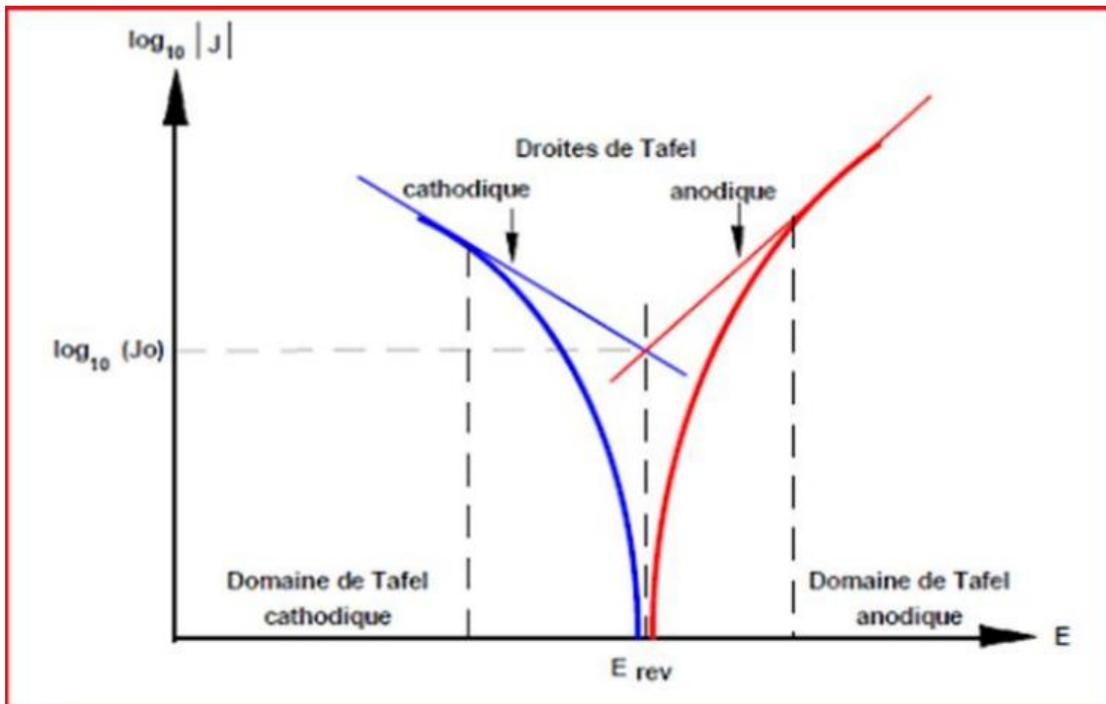


Figure IV.1. Représentation schématique linéaire et semi-logarithmique des Courbes courant-tension caractéristique d'une cinétique d'activation pure

### IV.2.1. CONDITIONS UTILISES POUR LES ESSAIS DES COURBES DE POLARISATION.

Potentiel initial :  $E_{abond} - 250 \text{ mV}$

Potentiel final :  $E_{abond} + 250 \text{ mV}$

Vitesse de balayage du potentiel :  $1 \text{ mV / s}$

Volume de l'eau dans la cellule :  $250 \text{ mL}$

### IV.2.2. PRÉPARATION DE L'ÉCHANTILLON

Les échantillons d'acier inoxydable utilisés dans les différentes expériences se présentent sous forme parallélépipède de surface active égale à  $1\text{ cm}^2$ . Ils sont préparés en appliquant un polissage avec une polisseuse sous eau avec papier abrasif au carbure de silicium de granulométrie décroissante allant de P50 à P2400. Le finissage se fait à l'aide d'un papier Drap en ajoutant de la pâte diamantée pour obtenir une surface miroir. Les échantillons obtenus sont ensuite nettoyés avec de l'acétone et rincés à l'eau distillée puis séchés. Le polissage doit de préférence être effectué juste avant les essais électrochimiques [41].

### IV.2.3. DISPOSITIF EXPERIMENTAL ET CELLULE ELECTROCHIMIQUE

Le dispositif expérimental utilisé pour la réalisation des mesures d'impédance électrochimique (et tracer les courbes de polarisation) est l'ensemble :



Figure. IV.2 : Dispositif expérimental pour les mesures électrochimiques

#### 1. Potentiostat / Galvanostat

Le montage fait intervenir un Potentiostat qui permet d'imposer un potentiel à l'électrode de travail, géré par des microprocesseurs. Des logiciels spécifiques assurent le pilotage des séquences expérimentales, l'acquisition et le traitement des données.

Le dispositif expérimental utilisé pour tracer les courbes de polarisation et pour la réalisation des mesures d'impédance électrochimique est l'ensemble Potentiostat / Galvanostat SP300 associé au logiciel « ECLab».



Figure IV.3 : Potentiostat / Galvanostat SP300

## 2. Cellule électrochimique

Les mesures électrochimiques ont été réalisées dans une cellule électrochimique

À double parois en verre à trois trous des électrodes.

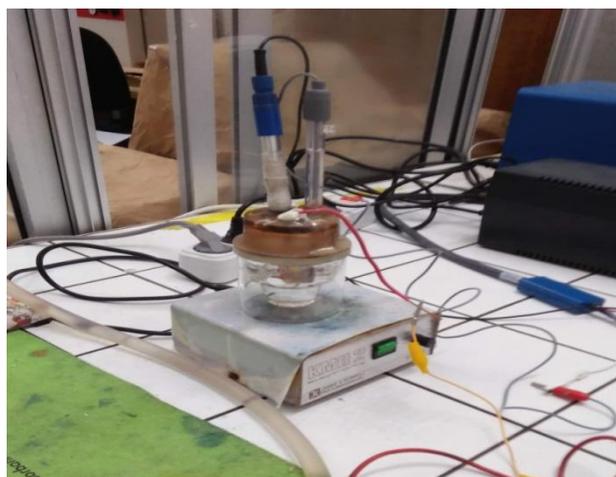


Figure IV.4 : Cellule électrochimique à trois électrodes

### a). Une électrode de référence

Est une électrode en (Ag/AgCl /KCL saturé). Cette électrode possède un potentiel Spécifique, connu et constant, ce qui permet d'imposer un potentiel précisément défini À l'électrode de travail.

### b). Une électrode auxiliaire

Appelée aussi contre-électrode qui permet de boucler le circuit électrique dans La cellule électrochimique. C'est une électrode en platine, dont le rôle est d'assurer le Passage du courant dans la cellule de mesure.

### c). Une électrode de travail

C'est l'électrode sur laquelle on examine les différents processus électrochimiques à Explorer. Elle est conçue à partir d'une tige fer .

L'ensemble EC Lab. SP 300 (Potentiostat/Galvanostat) relié avec les trois Électrodes est utilisé pour exécuter les mesures électrochimiques. le système est Piloté par un microordinateur équipé par le logiciel ECLab.

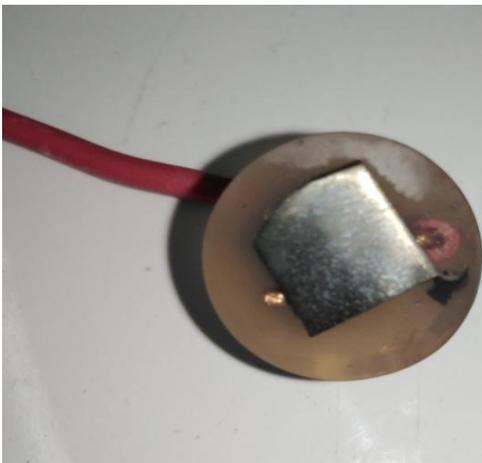


Figure IV.5 : Electrode de travail

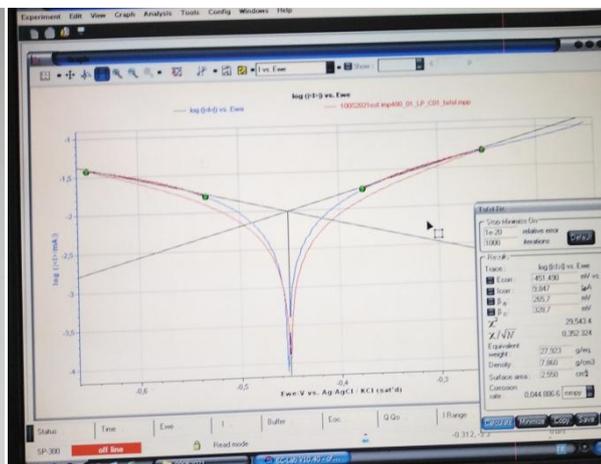


Figure IV.6 : Modélisation de courbe de tafel avec le logiciel ECLab.

## IV.2.3 CONDITIONS ET PARAMETRES D'ESSAIS.

Pour tous les essais électrochimiques réalisés, nous avons suivi les étapes suivantes :

- Tester l'inhibiteur dans le milieu utilisé en immersion à différents temps.
- Immersion de l'électrode de travail dans le milieu utilisé en absence puis en présence d'inhibiteur.
- Etablissement du diagramme d'impédance en mode potentiostatique au potentiel d'abondant, pour conserver une réponse linéaire de l'électrode ;
- Etablissement du diagramme de polarisation (courbe de Tafel) pour la détermination de la vitesse de corrosion de l'échantillon dans chaque milieu.

Tous les essais ont été conduits dans des milieux non agités et à température ambiante.

#### **IV.2.4. RÉSULTATS ET DISCUSSIONS**

Sert à présenter les résultats obtenus par la méthode d'extrapolation des droites de Tafel avant et après l'ajout de chaque concentration de l'inhibiteur «Pro Tec aquaprox TCD 3701».

##### **IV.2.4.1. Vitesse de polarisation.**

Quel que soit le type de mécanisme par lequel agit l'inhibiteur, le pouvoir Protecteur de ce dernier caractérise le ralentissement de la corrosion, c'est-à-dire la diminution du courant de corrosion (ou de la vitesse de corrosion), La vitesse de Corrosion est calculée selon la formule (1) :

$$V_{CORR} = I_{CORR} / nFA \dots\dots\dots (EqIV.1)$$

Où :

$I_{corr}$  : la densité de courant de corrosion ( $A/cm^2$ )

F : Constante de Faraday (96500 C).

n : Nombre de charge mis en jeu

La densité du courant de corrosion  $I_{corr}$  ( $\mu A/cm^2$ ) selon la formule Stren–Geary [2].

$$i_{corr} = \frac{|\beta_a| |\beta_c| (2.303 \times R_p (|\beta_a| + |\beta_c|))}{|\beta_a| + |\beta_c|} \dots \dots \dots \text{(Eq IV.2)}$$

Tels que :

$\beta_c$  et  $\beta_a$  sont les pentes de Tafel cathodiques et anodiques respectivement.

$R_p$ : Résistance de polarisation.

#### IV.2.4.2. Relation utilisée pour calcul de l'efficacité de l'inhibiteur

Pour déterminer l'efficacité inhibitrice E (%) à partir des données des courbes de polarisation on utilise l'équation suivante :

$$E \% = \frac{i_{corr} - i'_{corr}}{i_{corr}} * 100 \dots \dots \dots \text{Eq (IV.3)}$$

Où :  $i_{corr}$  et  $i'_{corr}$  sont les valeurs de la densité de courant de corrosion en absence et en présence des inhibiteurs étudiés, On peut aussi utiliser l'expression suivante :

#### IV.2.4.3. Effet du (Pro Tec aquaprox TCD 3701) sur la corrosion de l'acier.

Afin d'avoir une indication de l'effet du (Pro Tec aquaprox TCD 3701) sur le comportement de l'acier vis-à-vis de la corrosion, il est intéressant de tracer sa courbe de polarisation.

La Figure ci-dessous présente les courbes de polarisation obtenues dans l'eau de Industrielle sans et avec l'inhibiteur.

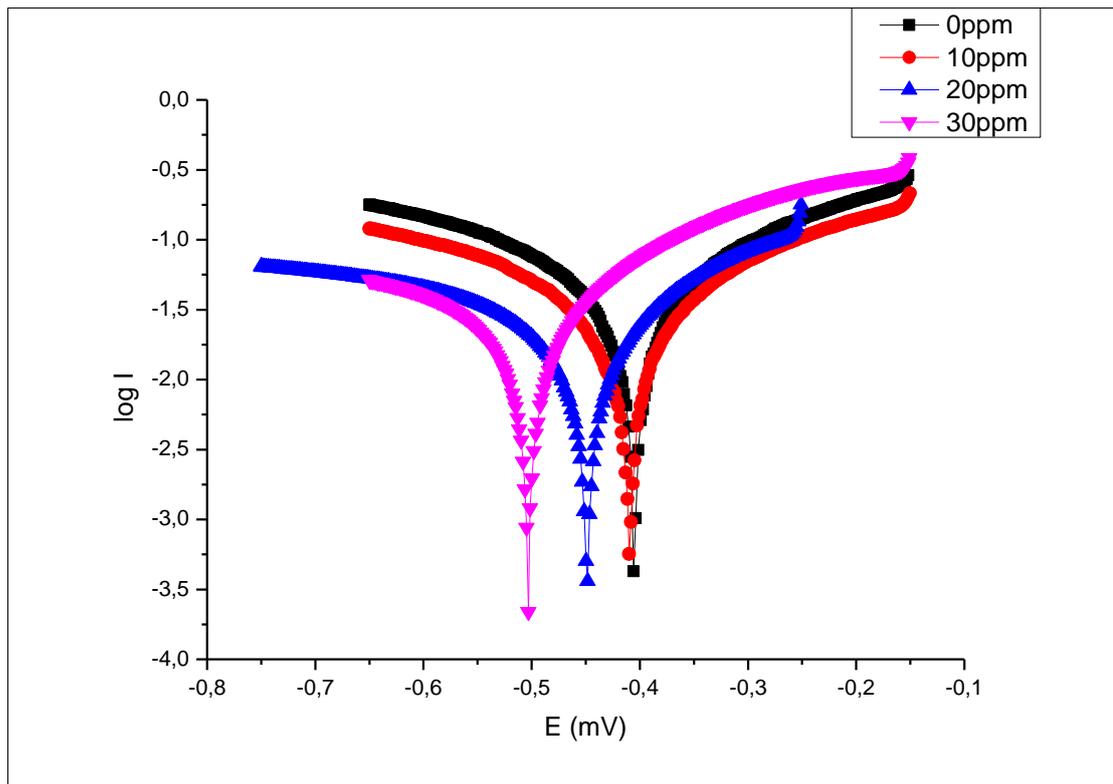


Figure .IV.7 : Courbes de polarisation de l'acier à différentes concentration de Pro Tec aquaprox TCD 3701

D'après la figure ci-dessus, nous constatons que les densités de courant de corrosion diminuent d'une façon importante en présence de l'inhibiteur dans l'eau industrielle.

Nous remarquons aussi que les valeurs du potentiel de corrosion ( $E_{corr}$ ) sont déplacées vers les valeurs les plus négatives au fur et à mesure que la concentration de l'inhibiteur augmente de 10ppm à 30 ppm.

D'après ces constatations, il est clair que l'inhibiteur montre un comportement d'un inhibiteur cathodique.

Le **tableau IV.3** : regroupe les paramètres électrochimiques déduits des courbes de polarisation obtenues dans en absence et en présence des différentes concentrations de (Pro Tec aquaprox TCD 3701)

[C] (ppm)	-E <sub>corr</sub> (mV)	I <sub>corr</sub> ( $\mu$ A)	$\beta_a$ mV	$\beta_c$ (mV)	Vitesse (mm/an)	R <sub>p</sub> ( Ohm)	E (%)
0	404.856	41.408	294.4	341.7	0.225	1170	-
10	408.797	29.153	291.5	348.7	/	1664	29.59
<b>20</b>	<b>453.665</b>	<b>22.024</b>	<b>271.8</b>	<b>483.5</b>	<b>/</b>	<b>1474</b>	<b>46.81</b>
30	518.399	24.782	247.5	396.1	0.228064	1248	40.15

D'après les valeurs des paramètres électrochimiques (Tab IV.3), nous notons que l'addition de (Pro Tec aquaprox TCD 3701) jusqu'à 20 ppm entraîne :

-Une diminution de la densité de courant (I<sub>corr</sub>) jusqu'à une valeur minimale De 22.024  $\mu$ A.

-Une augmentation de l'efficacité inhibitrice qui atteint une valeur maximale de 46.81 % pour la concentration 20 ppm de (Pro Tec aquaprox TCD 370) .

## **CONCLUSION GENERALE**

Nous avons réalisé, au cours de ce mémoire de fin d'études, une étude qualitative concernant le traitement des eaux. Nous nous sommes ensuite penchés sur la question de la corrosion et de l'entartrage.

L'inhibiteur utilisé a une efficacité trop faible, d'une valeur de 46,81 %. Bien que nous ayons refait les calculs plusieurs fois pendant la durée d'un mois et demi, nous avons à chaque fois eu la même valeur du rendement du l'inhibiteur.

La première raison que nous relevons à cela est le fait que l'unité TSS dans laquelle nous avons effectué notre stage était non opérationnelle depuis le début de l'apparition de la pandémie Covid-19. De ce fait, il n'y avait pas de commandes de tubes et l'inhibiteur utilisé se trouvait dans un ancien stock. Il est donc fort possible que cet inhibiteur ne soit pas en état d'être fonctionnel.

Une autre raison de la mauvaise efficacité est le fait que l'eau industrielle ne soit pas de bonne qualité. Ses analyses ont montré que ses paramètres physico-chimiques ne sont pas dans les normes requises. En effet, la CFL qui fabrique cette eau industrielle la leur envoie hors normes.

De plus, cette eau envoyée par la CFL est traitée au niveau de l'unité TSS afin d'être utilisée pour la fabrication des tubes, ce qui fait que ses paramètres changent encore.

En conclusion, à notre avis, les deux principales raisons de la corrosion constatée sont d'une part, l'utilisation d'une eau industrielle de mauvaise qualité, et d'autre part, l'utilisation d'un inhibiteur inadéquat et mal dosé, donc forcément inefficace.

## **REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUES**

- [1]: <https://www.futura-sciences.com/planete/dossiers/developpement-durable-eau-elle-encore-bleue> pp7.
- [2]: <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/environnement-securite-th5/eaux-industrielles>
- [3]: <https://www.eaufrance.fr/les-activites-industrielles-dans-le-cycle-de-l-eau>
- [4]: <https://www.veolia.com/fr/solution/circuits-refroidissement-processus-industriels>
- [5]: <https://www.suezwaterhandbook.fr/procedes-et-technologies/traitement-et-conditionnement-des-eaux-industrielles/eaux-de-refroidissement/les-generalites-sur-les-circuits-de-refroidissement-ouverts>.
- [6]: Othmani Abdessalem, Présentation générale d'Arcelor Mittale Annaba, rapport de stage de l'unité de TSS SIDER EL HADJAR, 2016
- [7]: Talai Bilel, Méthodes de contrôle non destructive pour la détectassions des défauts dans les tubes sans soudure .Mémoire de master, université de Badji Mokhtar Annaba 2018.
- [8]: Bouziane Maher, Bouziane Zakaria, Hiérarchisation et analyse des risques en manutention pour une prévention conforme, rapport de stage de l'unité de TSS, SIDER EL HADJAR ,2019.
- [9]: [https://www. Api .org / Product-and-services/standares-annouements/standar-5ct](https://www.Api.org/Product-and-services/standares-annouements/standar-5ct)  
<https://masder-news.com> 25-05-2021
- [10]: Louafikhelifa, Four et Machine de Trempe Principe de Fonctionnement et Paramètres Technologiques, rapport de stage de l'unit de TSS, SIDER EL HADJAR ,2018.
- [11]: Tadj Fateh, contribution de l'amélioration de la fabrication des tubes sans soudure, Mémoire de master. Université de Badji Mokhtar Annaba 2017
- [12] [13]: Aichouche Hacene, traitement des eaux de refroidissement des installations d'Arcelor Mittale Pipes And Tube Algériens, Mémoire de Master .université Badji Mokhtar Annaba 2011
- [14]: Bouaziz Bilal, La centrale hydropneumatique, rapport de stage de l'unité de TSS, SIDER ,2019

- [15]: Aichouche Hacene, traitement des eaux de refroidissement des installations d'Arcelor Mittale Pipes And Tube Algerien., Mémoire de Master université Badji Mokhtar Annaba 2011 p12
- [16] : Duvivier. L, Traitement des eaux de refroidissement, Ed TEC & DOC, Paris(2006)
- [17]: BEKHADOUMA. M A, Benali. M A. Amélioration de la qualité d'eau de refroidissement au sein de CP1/Z. Mémoire master. Université des Sciences et de la Technologie Mohamed Boudiaf d'Oran, 2014
- [18]:<https://www.condair.fr/applications/sujet-sur-l-humidification/le-refroidissement-par-evaporation>.
- [19]: ROUANE, Les eaux de refroidissement industrielle cas E.N.I.C.A.B et impacte sur l'environnement, mémoire fin d'étude, université MOHAMED KHIDER-Biskra, 2016.
- [20]: Duvivier. L, Traitement des eaux de refroidissement, Ed TEC & DOC, Paris 2006.
- [21]:OthmaniKhawla .Etude et analyse de l'efficacité de traitement des eaux de refroidissement cas complexe FERTIAL Annaba.Mémoire de master ,2018
- [22]: Duvivier. L, Traitement des eaux de refroidissement, Ed TEC & DOC, Paris 2006
- [23]: Bekhadouma. M A, Benali. M A, Amélioration de la qualité d'eau de refroidissement au sein de CP1/Z, Mémoire de master, Université des Sciences et de la Technologie Mohamed Boudiaf d'Oran, 2014
- [24]: PINEAU, S. DUPONT, I,(Matériaux et technique . N°9.102002.
- [25]: Benali, O. Etude électrochimique et gravimétrique de l'inhibition de la corrosion du cuivre et de deux aciers au carbone par quelques composés organiques soufrés en milieux acides, Université Tlemcen (2007).
- [26]:Laidi Imane,Étude du pouvoir filmant d'un inhibiteur sur la corrosion de l'acier dans HCl à 0.1N (URASM/CRTI) du complexe sidérurgique métal Algérien d'El Hadjar Annaba Mémoire de master, Université Badji Mokhtar Annaba 2018.
- [27]: R, Boubaker, Etude du comportement à la corrosion de l'Aluminium dans différents milieux, Mémoire de Master, Université de Batna2, 2018

[28]:FONTANA, M. Corrosion engineering, edition3 McGraw Hill international, New York., (1987), P556

[29]:R, Boubaker, Etude du comportement à la corrosion de l'Aluminium dans différents milieux, Mémoire de Master, Université de Batna2, 2018

[30][31]:N.Tsuji, K. Nozawa, Corrosion Science, 2000, vol.42, pp.1523-1538.

Mansfeld, M.W. Kendig, W.J. Lorenz, Journal of Electrochemical Society, 1985, vol.32, pp.290-296.

[32]: O.M.Vololonirina, Contribution à l'évaluation des capacités des glycérophosphates pour la maintenance dans le béton armé, Thèse de doctorat, Toulouse, 2011.

[33]:MEKKAOUI ALAOUI, M. Etude du comportement de l'acier inoxydable UR45N et l'acier au carbone C38 dans différents milieux simulant le béton: sciences des matériaux. Rabat, Maroc: Université Mohamed (2014, 31 décembre).

[34]:LabbaciNourelhouda etMokhneche yousra, Etude d'un inhibiteur de corrosion MEDACHUD "vis à -vis "de la corrosion de l'aluminium, Mémoire de master, Université Badji Mokhtar Annaba, 2020, pp 23

[35]:[https://WWW.Suezwaterhandook.fr/Procedes-et-technologies/traitement-et-conditionnement -des-eaux-industrielles/eaux de refroidissement /problématique -liées -a la qualité d'eau et aux conditions d'exploitation.](https://WWW.Suezwaterhandook.fr/Procedes-et-technologies/traitement-et-conditionnement-des-eaux-industrielles/eaux-de-refroidissement-problematique-liees-a-la-qualite-d-eau-et-aux-conditions-d-exploitation)

[36]:Aidoud, Roumaïssa. Etude de l'effet de certains inhibiteurs sur le pouvoir entartrant de l'eau potable de la ville d'Ain Kébira. Thèse de doctorat, Electrochimie des matériaux. Université Ferhat AbbasSétif, 2017, pp108

[37] F. Lasserre and L. Descroix, Eaux et territoires: tensions, coopérations et géopolitique De l'eau,2005.

[38] M. L. Belghiti, A. CHAHLAOUI, D. Bengoumi, et R. El Moustaine, "Etude de la Qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines de la nappe plio-quaternaire dans la région de Meknès (Maroc)," LARHYSS J. ISSN 1112-3680, no. 14, 2013.

[39] Jean RODIER Bernard LEGUBE Nicole MERLET et coll, L'Analyse de l'eau 9e

Edition pp - 1251.1252

[40] R. Halimi, Comportement électrochimique de l'acier A37 dans l'eau d'alimentation de Chaudière, Mémoire de Master, Université de Annaba, 2017.

[41] M. BOURAOUI, Evaluation expérimentale de l'efficacité d'un inhibiteur vert de corrosion : l'huile de cannelle, Mémoire de Master, Université de Annaba, 2017.

[42] Hamdaoui, Oualid, études traitement conditionnement industrielle destines au circuit De refroidissement des cheminées de l'aciérie à oxygène N°1 SIDER ANNABA, thèse de Magister, juillet. 1997, pp. 84-94

[43] Jean RODIER Bernard LEGUBE Nicole MERLET et coll, L'Analyse de l'eau 9e Édition, pp.107-118.

# ANNEXES

## Décarbonatation à la chaux

La décarbonatation est assurée dans le diffuseur conique du décanteur qui joue le rôle d'une chambre de réaction et c'est dans cette chambre de forte concentration de boues que la chaux est injectée. La chaux est employée sous forme de lait de chaux (solution saturée) précipite à froid les bicarbonates de calcium et de magnésium contenus dans l'eau à traiter. Il se trouve que le carbonate de calcium et les magnésies obtenues par la réaction avec le lait chaux ne sont pas solubles dans l'eau et l'on peut voir, lorsque ces réactions sont en cours, se former de petits grains fins. Il suffit de retirer les petits grains contenus dans l'eau pour avoir une eau partiellement épurée [41]

## MATERIELS ET METHODES :

### LA MESURE DE TITRE ALCALIMETRIQUE (TA)

Le dispositif expérimental utilisée pour la réalisation de cette étude au niveau du laboratoire est composé de : un erlenmeyer 80 ml, fiole jaugée 100 ml, un bécher, une pipette, une poire.

Les produits chimiques utilisées sont : l'échantillon de la solution à mesuré, l'eau distillée phénophtaléine, acide sulfurique 0.02N.

### Mode opératoire dosage du titre alcalimétrique (TA)

L'alcalinité est mesurée selon la méthode volumétrique AFNOR NFT 90-036.

Le titre alcalimétrique (TA) mesure le teneur en alcalis libres (OH-) et en carbonates :

$$TA = [OH^-] + 1/2[CO_3^{2-}]$$

Prélever 100 ml d'échantillon, ajouter une goutte de phénophtaléine.

- En absence du carbonate l'échantillon reste incolore : TA=0°F
- On présence des carbonate une coloration rose se développe, dans ce cas titre avec l'acide sulfurique 0.02N jusqu'au l'incolore, et lire le TA en degré français : 1°F=1ml acide sulfurique 0.02 N.[43]

Examen du mélange obtenu :

- Si la coloration (le virage) est incolore : une absence TA
- Si la coloration est rose : a une présence de TA dans l'échantillon étudié, pour ceci, il sera nécessaire de procéder à un titrage avec H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>(0.02 N) jusqu'à l'obtention d'une l'incolore.

Lecture du résultat :

Employer la formule suivante :

TA en °F = V H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> en ml

Le volume du H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> est lu sur la burette automatique.

Unités : TA en °F

V : volume de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> en ml

### **MODE OPERATOIRE DOSAGE DU TITRE ALCALIMETRIQUE (TAC)**

Le titre alcalimétrique complet (TAC) mesure la somme des alcalis libres, des carbonates et des bicarbonates :

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

Il est déterminé également par neutralisation acide jusqu'au virage l'héliantine (méthylorange) du jaune au rose-orangé, vers PH 4,3

L'analyse se fait selon le mode opératoire suivant :

Mesurer 100 ml d'échantillon d'eau à analyser dans une fiole jaugée de 100 ml, verser cette quantité dans un Erleen de Mayer, puis on joute une goutte de méthylorange à 5% (indicateur) dans l'Erleen de Mayer.[43]

Examen du mélange obtenu:

- Si la coloration (le virage) est jaune orange nous concluons une absence des bicarbonates.
- Si la coloration est jaune, nous concluons une présence de TAC dans l'échantillon étudié, pour ceci, il sera nécessaire de procéder à un titrage avec l'acide sulfurique, jusqu'au virage jaune orange.

Lecture du résultat :

Employer la formule suivante :

TAC en °F = V H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> en ml

Le volume de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> est lu sur la burette automatique.

Unités : TAC en °F

V : volume de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> en ml

### **MODE OPERATOIRE DOSAGE DU DURETE OU TITREHYDROTOMETRIQUE (TH) :**

Le dispositif expérimental utilisée pour la réalisation de cette étude au niveau du laboratoire est composé de :

- solution de noir ériochrome T à 0,5 % (qui est le sel de sodium de l'acide [(hydroxy-1-naphtylazo-2) nitro-6-naphtol-2-sulfonique-4])(\*) 0,5 g triéthanolamine q.s.p. 100 mL)

- Solution tampon PH 10 :

chlorure d'ammonium (NH<sub>4</sub>Cl) 67,5 g ammoniaque (d = 0,925) 570 mL sel disodique de magnésium de l'EDTA (C<sub>10</sub>H<sub>12</sub>N<sub>2</sub>O<sub>8</sub>Na<sub>2</sub>Mg) 5 g eau déionisée q.s.p. 1 L

Conserver la solution en flacon de polyéthylène.

Vérifier le pH qui doit être égal à 10 sur une dilution au 1/10 de la solution avec de l'eau déionisée.

– Solution d'EDTA :

Sel disodique de l'acide éthylène diamine tétracétique 3,725 g eau déionisée q.s.p. 1 L

Conserver la solution en flacon de polyéthylène et vérifier son titre périodiquement à l'aide de la solution étalon de calcium. Prélever 20 mL de solution étalon de calcium, les diluer à 50 mL puis procéder au dosage comme décrit dans le mode opératoire.

La concentration de la solution d'EDTA en mol. / L est donnée par l'expression :

$$c = 0,01 \times \frac{v_1}{v_2}$$

v<sub>1</sub> = Volume en mL de la solution étalon.

$v_2$  = Volume en mL de la solution d'EDTA.[42]

– Solution étalon de calcium à 0,4008 g/L :

carbonate de calcium déshydraté 1,001 g acide chlorhydrique dilué au 1/4 q.s.p. dissoudre rouge de méthyle quelques gouttes ammoniacale diluée au 1/10 q.s.p. virage de l'indicateur et l'eau déionisée q.s.p. 1 L

Mettre le carbonate de calcium dans un bécher, ajouter 100 mL d'eau puis de l'acide chlorhydrique en quantité juste suffisante pour dissoudre le carbonate de calcium. Ajouter 200 mL d'eau et porter la solution à l'ébullition quelques minutes pour éliminer le dioxyde de carbone. Après refroidissement, ajouter quelques gouttes de solution de rouge de méthyle puis de la solution d'ammoniacale jusqu'au virage de l'indicateur à l'orange.

Transvaser la solution dans une fiole jaugée de 1 litre, compléter le volume avec de l'eau déionisée. 1 mL de la solution contient 0,4008 mg de calcium.

#### II .2.1.4 Mode opératoire dosage du calcium

Mesurer 100 ml d'échantillon d'eau à analyser dans une fiole jaugée de 100 ml, verser cette quantité dans un Erleem de Mayer, puis ajouter (09)à (10) gouttes (environ 1ml) de KOH (20%) dans l'Erleem de Mayer. Ajouter 0.4 mg acide calcique carboxylique en poudre.

Examen du mélange obtenu:

- Si la coloration (le virage) est bleue nous concluons à une absence de calcium (Ca)
- Si la coloration est rose violet, nous concluons à une présence de calcium (Ca) dans l'échantillon étudié, pour ce Ca, il sera nécessaire de procéder à un titrage avec EDTA (0.01 mole) jusqu'à l'obtention de la coloration bleu.[43]

Lecture du résultat :

- Employer la formule suivante :

$Ca \text{ en } \mu\text{g} = V \text{ EDTA (0,02 N) en (ml)}$

Le volume d'EDTA est lu sur la burette automatique.

Unités : Ca en °F

V : volume de l'EDTA en ml

### **MODE OPERATOIRE DOSAGE DU CHLORURE DANS L'EAU (CL<sup>-</sup>)**

Les chlorures sont mesurés selon la méthode AFNOR NFT 90-014. Ils sont dosés en milieu neutre par une solution de nitrate d'argent en présence de chromate de potassium comme indicateur.

L'analyse se fait selon le mode opératoire suivant :

Mesurer 100 ml d'échantillon d'eau à analyser dans une fiole jaugée de 100 ml, verser cette quantité dans un Erleem de Mayer, puis ajouter au doseur 1ml de chromate de potassium à 5% (indicateur) dans l'Erleem de Mayer.[43]

Examen du mélange obtenu :

- Si la coloration (le virage) est rouge brique nous concluons une absence des chlorures.
- Si la coloration est jaune, nous concluons 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.

Lecture du résultat :

Employer la formule suivante :

$$\text{Cl}^-(\text{en mg/l}) = V \text{ nitrate d'argent en ml} \times 35,5$$

- Le volume du nitrate d'argent est lu sur la burette automatique.
- Unités : Cl-en mg/l
- V : volume du nitrate d'argent en ml
- 35,5 : est la masse molaire du chlorure (Cl<sup>-</sup>)

### **MATERIELS ET PRODUITS CHIMIQUES UTILISEES POUR LA MESURE DE PH :**

Le PH mesuré par la méthode électrochimique AFNOR NFT90-008 à l'aide d'un pH-mètre

HANNA211. Il est muni d'une électrode combiné indicatrice du PH en lien coaxial avec une électrode de référence argent/chlorure et d'une sonde de compensation de température. Lors de la mesure, l'échantillon est homogénéisé à l'aide d'un agitateur magnétique. La valeur du pH est lue après la stabilisation du PH-mètre

#### **Mode opératoire mesure du pH :**

L'analyse se fait selon le mode opératoire suivant :

Mesurer 50 ml d'échantillon d'eau à analyser dans une fiole jaugée de 100 ml, verser cette quantité dans un ERLEEN DE MAYER, puis tremper l'électrode de pH dans la solution. Lire le chiffre directement sur l'écran du pH mètre.). [43]

### **MATERIELS ET PRODUITS CHIMIQUES UTILISEESPOUR LA MESURE DE LA CONDUCTIVITE**

La conductivité est mesurée par la méthode ISO 7888 à l'aide d'un conductimètre PHWE

Il est muni d'une cellule dont le constante  $K= 1$  et d'une sonde de compensation de température. Plusieurs échelles de mesure permettent de déterminer avec précision la valeur de la conductivité.

Les produits chimiques utilisés sont : la solution à mesurer, l'eau distillée

#### **Mode opératoire détermination de la conductivité**

Mesurer 50 ml d'échantillon d'eau à analyser dans une fiole jaugée de 100 ml, verser cette quantité dans un Erleen de Mayer, puis immerger l'électrode du conductimètre dans la solution, lire le chiffre directement sur le conductimètre.

La valeur de la conductivité est en Micro siemens ( $\mu\text{s/cm}$ ). [43]