



Faculté : Science de l'Ingénierat  
Département : Génie des Procédés  
Domaine : Sciences et Technologies  
Filière : Génie des Procédés  
Spécialité : Génie Chimique

## Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master

### Thème:

**CONTRIBUTION A L'ETUDE DE L'INHIBITION DE LA  
CORROSION AU NIVEAU DE LA CHAUDIERE BABCOCK  
FERTIAL- ANNABA**

Présenté par : AKAKCHI AMEL  
BOUADJINA LINA

### Jury de Soutenance :

HAMOUCHE Karima	Pr	Université Annaba	Président
SAOUDI Fethi	MAA	Université Annaba	Encadreur
ZOUGAR Saida	MAA	Université Annaba	Examineur

Année Universitaire : 2020/2021

# Remerciements



Nous remercions dieu le tout puissant pour tout ce qu'il nous a donné

Nous remercions très vivement notre encadreur Mr SAOUDI Fethi, pour qui nous exprimons nos vives reconnaissances et immense gratitude pour l'aide précieuse lors de l'élaboration de ce travail.

Nous remercierons les membres du jury, qui en dépit de leurs fonctions, ont bien voulu nous honorer en jugeant ce travail.

Que tout enseignant du département de Génie des Procédés trouve ici nos remerciements les plus sincères.

Aussi, nous remercions Madame HAFSI Samira, qui nous a accompagné tout au long du stage professionnel avec beaucoup de patience et de pédagogie.

Enfin, nous remercions l'ensemble des employés de l'unité centrale II et exceptionnellement ceux du laboratoire pour leurs conseils au cours de ce mois de stage.

# Dédicace

Avant tous je dis « **ALHAMDYOU LI ALLAH** »

Qui m'a aidée et donnée l'effort, la volonté et le

Courage de réaliser et permis de présenter mon

Modeste travail qui est le résultat de longues années d'études

A mes très chers parents

A mon très cher père « Fatih » pour qui je dois le plus grand respect,

qui a toujours fait preuve de générosité et de sacrifice, a qui mes études faisaient les

grandes joies de sa vie et a qui je dis merci beaucoup.

A ma très chère mère « Karima » vous qui m'a faite qui avez

forgée qui décidez de mon destin, qui avez essayé mes pleurs,

éclairée mes veillées, encouragée mes efforts vous qui vous êtes sacrifiées pour que

je dis merci beaucoup.

A mes frères et A ma sœurs : ali, maissem, adem.

A mes chers amis : nahla, manel, manar.

**Lina bouadjina**

# Dédicace

*A la mémoire de mon Père, tu as laissé un grand vide dans ma vie, tu me manques tellement trop, j'espère que là ou tu es puisses être fière de moi, que Dieu te garde...*

*A ma chère Mère, aucune dédicace ne serait exprimer mon respect, mon amour éternel et mon bien être, Puisse Dieu, vous accorder santé, bonheur et longue vie.*

*A ma sœur et mon frère,*

*A toute ma famille et mes amies,*

*A tous les gents qui j'aime et à tous les gents qui m'aime,*

*Du profond de mon cœur, je dédie ce travail à tous ceux qui me sont chers,*

**AKAKCHI AMEI**

## SOMMAIRE

Liste des figures

Liste des Tableaux

Liste des sigles et notations

Introduction Générale<sup>1</sup>

### Partie I : Présentation du Complexe

<b>I.1. Introduction</b>	<b>4</b>
<b>I.2. Historique</b>	<b>4</b>
<b>I.3. Présentation du FERTIAL</b>	<b>5</b>
<b>I.4. Situation géographique</b>	<b>7</b>
<b>I.4.1. FERTIAL</b>	<b>7</b>
<b>I.4.2. KIMIAL(STPP)</b>	<b>8</b>
<b>I.4.3. SOMIAS</b>	<b>8</b>
<b>I.4.4. ASFERTRADE</b>	<b>8</b>
<b>I.5. Production de l'entreprise</b>	<b>9</b>
<b>I.6. l'unité centrale utilité II</b>	<b>10</b>
<b>I.7. Présentation de la centrale utilité</b>	<b>10</b>
<b>I.7.1. Section de pompage de l'eau de mer</b>	<b>12</b>
<b>I.7.2. Section de dessalement de l'eau de mer (SIDEM)</b>	<b>13</b>
<b>I.7.3. Section de déminéralisation</b>	<b>16</b>
<b>I.7.4. Section turboalternateurs</b>	<b>16</b>
<b>I.7.5. Section d'air comprimé (compresseur)</b>	<b>16</b>
<b>I.7.6. Section de la production de la vapeur (chaudière)</b>	<b>17</b>
<b>I.7.6.1. Elément de construction d'une chaudière</b>	<b>18</b>
<b>I.7.6.2. Fonctionnement d'une chaudière</b>	<b>20</b>
<b>I.8. Problèmes rencontrés dans les équipements</b>	<b>21</b>
<b>I.8.1. Moussage et primage</b>	<b>21</b>

<b>I.8.2. Entartrage</b>	<b>22</b>
<b>I.8.3. La Corrosion</b>	<b>23</b>

## **Partie II: Etude Expérimentale**

<b>II.1. Introduction</b>	<b>26</b>
<b>II.2. Paramètres des analyses des eaux</b>	<b>26</b>
<b>II.2.1. Le titre hydrotimétrique (TH)</b>	<b>26</b>
<b>II.2.2. Le titre alcalimétrique et le titre alcalimétrique complet (TA etTAC)</b>	<b>28</b>
<b>II.2.3. Le pH</b>	<b>29</b>
<b>II.2.4. La conductivité</b>	<b>29</b>
<b>II.2.5. Les chlorures</b>	<b>30</b>
<b>II.3. Les résultats d'analyses</b>	<b>32</b>
<b>II.4. Discussion</b>	<b>33</b>
<b>II.5. Conclusion</b>	<b>33</b>
<b>II.6. Généralités sur la corrosion</b>	<b>34</b>
<b>II.7. Définition</b>	<b>36</b>
<b>II.8. Formes de corrosion</b>	<b>37</b>
<b>II.9. Types de corrosion</b>	<b>39</b>
<b>II.10. Influence de la corrosion sur le choix d'un matériau</b>	<b>42</b>
<b>II.11. Moyens de prévention</b>	<b>42</b>
<b>II.11.1. Conception des équipements</b>	<b>42</b>
<b>II.11.2. Les revêtements</b>	<b>42</b>
<b>II.11.3. Les inhibiteurs de corrosion</b>	<b>43</b>
<b>II.11.3.1. Définition et propriétés</b>	<b>43</b>
<b>II.11.3.2. Les classes d'inhibiteurs</b>	<b>43</b>
<b>II.11.3.3. Nature des molécules de l'inhibiteur</b>	<b>44</b>
<b>II.12. Mécanismes d'action électrochimique</b>	<b>46</b>
<b>II.13. Mécanismes d'action interfaciale</b>	<b>47</b>
<b>II.13.1. Adsorption des molécules inhibitrices à la surface métallique</b>	<b>47</b>
<b>II.13.2. Formation d'un film intégrant les produits de dissolution du substrat</b>	<b>48</b>

<b>II.14. Les essais de corrosion</b>	<b>49</b>
<b>II.15. Montage potentiocinétique</b>	<b>49</b>
<b>II.15.1. Cellule électrochimique</b>	<b>49</b>
<b>II.15.2. Potentiostat</b>	<b>51</b>
<b>II.15.3. Système d'acquisition et traitement des données</b>	<b>52</b>
<b>II.16. Préparation des échantillons</b>	<b>52</b>
<b>II.17. Préparation de la solution</b>	<b>54</b>
<b>II.18. Les essais électrochimiques</b>	<b>54</b>
<b>II.19. L'installation de l'essai</b>	<b>55</b>
<b>II.20. Résultats</b>	<b>56</b>
<b>II.20.1. L'influence du phosphate trisodique</b>	<b>56</b>
<b>II.20.2. L'influence de la Cétamine</b>	<b>59</b>
<b>II.21. Conclusion</b>	<b>62</b>
<b>Conclusion générale</b>	<b>63</b>
<b>Références Bibliographie</b>	<b>64</b>
<b>ANNEXE</b>	

## Liste des Figures

<b>Figure 01</b>	<b>Complexe des engrais phosphatés et azotés: Fertial-Annaba</b>	<b>04</b>
<b>Figure 02</b>	<b>Présentation des sociétés</b>	<b>06</b>
<b>Figure 03</b>	<b>Différents produits fabriqués par l'entreprise</b>	<b>09</b>
<b>Figure 04</b>	<b>Structure de la centrale utilité II</b>	<b>11</b>
<b>Figure 05</b>	<b>Procédés de dessalement de l'eau de mer</b>	<b>15</b>
<b>Figure 06</b>	<b>Cycle de l'eau dans la chaudière</b>	<b>17</b>
<b>Figure 07</b>	<b>Chaudière de type BABCOCK</b>	<b>20</b>
<b>Figure 08</b>	<b>Matériels et réactifs utilisés pour le dosage</b>	<b>27</b>
<b>Figure 09</b>	<b>Conductimètre de type CRISON GLP 31.</b>	<b>30</b>
<b>Figure 10</b>	<b>Répartition des formes de corrosion relevées dans un grand Groupe Chimique Européen</b>	<b>37</b>
<b>Figure 11</b>	<b>Corrosion chimique</b>	<b>39</b>
<b>Figure 12</b>	<b>Un exemple de corrosion électrochimique sur batterie de voiture</b>	<b>40</b>
<b>Figure 13</b>	<b>Effet des bactéries sur la corrosion d'un acier</b>	<b>41</b>
<b>Figure 14</b>	<b>Corrosion par érosion</b>	<b>41</b>
<b>Figure 15</b>	<b>Représentation schématique des modes d'adsorption de molécules organiques inhibitrices sur une surface métallique</b>	<b>45</b>
<b>Figure 16</b>	<b>a) Action d'un inhibiteur cathodique b) Action d'un inhibiteur anodique</b>	<b>47</b>
<b>Figure 17</b>	<b>Les électrodes utilisées dans les essais de la corrosion</b>	<b>51</b>
<b>Figure 18</b>	<b>Potentiostat Galvanostat Biologic SP-300.</b>	<b>51</b>
<b>Figure 19</b>	<b>Echantillon utilisés dans les essais de corrosion.</b>	<b>52</b>
<b>Figure 20</b>	<b>Echantillon pendant le polissage.</b>	<b>53</b>
<b>Figure 21</b>	<b>Montage des essais de corrosion accélérée</b>	<b>55</b>
<b>Figure 22</b>	<b>Courbe de tafel (0.5 g/l phosphate trisodique)</b>	<b>57</b>
<b>Figure 23</b>	<b>Courbe de tafel (01g/l phosphate trisodique )</b>	<b>58</b>
<b>Figure 24</b>	<b>Courbe de tafel (02 g/l phosphate trisodique)</b>	

<b>Figure25</b>	<b>Courbe de tafel (05 g/l phosphate trisodique)</b>	<b>59</b>
<b>Figure 26</b>	<b>Courbe de tafel (0,5mg/l Cétamine)</b>	<b>60</b>
<b>Figure 27</b>	<b>Courbe de tafel (01 mg/l Cétamine)</b>	<b>61</b>
<b>Figure 28</b>	<b>Courbe de tafel (1,5 mg/l Cétamine)</b>	<b>61</b>

## Liste des Tableaux

<b>Tableau 01</b>	<b>L'exportation des productions</b>	<b>9</b>
<b>Tableau 02</b>	<b>Résultats d'analyses de l'eau de chaudière A .</b>	<b>32</b>
<b>Tableau 03</b>	<b>La norme de l'eau de chaudière A</b>	<b>32</b>
<b>Tableau 04</b>	<b>Différentes formes de corrosion</b>	<b>38</b>
<b>Tableau 05</b>	<b>L'influence de la concentration du phosphate trisodique sur les paramètres de la corrosion</b>	<b>56</b>
<b>Tableau 06</b>	<b>L'influence de la concentration du Cétamine® sur les paramètres de la corrosion</b>	<b>59</b>

### **Liste des Abréviations :**

NINA : Central Nitrate et Nitrique

GJ : Ejecteurs

GE : Condenseur

GP : Pompe.

CUII : Centrale utilité II

TA : Titre alcalimétrique

TAC : Titre alcalimétrique complet

TH: Titre hydrotimétrique

TAF : Titre en acide fort

pH : Potentiel hydrogène

°F : Degré français

h : Heure

c° : Degré Celsius

T / j : Tonnes / Jour

Ssp : Simple super phosphaté

Uan : Urée nitrate d'ammonium

NPK: Atelier des engrais

NH<sub>3</sub> : Ammoniaque

Sidem : Société International de dessalement de l'eau de mer

Ppm : Partie par millions

## Résumé :

La corrosion est généralement considérée comme étant le problème le plus sévère dans le monde, pour lequel les chercheurs multiplient leur effort de recherche pour mieux comprendre le mécanisme de la corrosion.

Dans ce travail, en plus d'une étude théorique de la corrosion et ces différents types et mécanismes, nous avons testé l'efficacité de deux inhibiteurs utilisés pour minimiser l'effet destructif de la corrosion au niveau de la chaudière BABCOCK à FERTIAL ANNABA..

## ملخص :

يعتبر التآكل بشكل عام أكثر المشاكل خطورة في العالم ، حيث يقوم الباحثون بزيادة جهودهم البحثية لفهم آلية التآكل بشكل أفضل.

في هذا العمل ، بالإضافة إلى الدراسة النظرية للتآكل وأنواعه وآلياته المختلفة ، قمنا بتجربة مثبتات مستخدمة لتقليل تأثير التآكل في مرجل بخاري بفرتيال عنابة..

# **INTRODUCTION**

## **GENERALE**

## **Introduction Générale :**

La corrosion est une forme complexe de la détérioration des matériaux, elle peut être considérée comme étant une réaction d'oxydoréduction dont laquelle le matériau est oxydé sous l'effet d'un réducteur appelé agent corrosif. Du point de vue économique la corrosion pose un grand problème dans le domaine industriel au niveau mondial. Il est estimé que chaque année entre 10 à 20% de la production mondiale de l'acier, est détruite par corrosion.

Aujourd'hui, la protection contre la corrosion comprend une panoplie de traitements telles que les traitements de surface par des revêtements, l'ajout d'inhibiteurs de corrosion au milieu corrosif ou encore la protection cathodique. Cette dernière constitue un moyen très original pour lutter contre la corrosion en milieu marin ou dans le sol. C'est un domaine de recherche très attractif en raison de la large utilisation de cette méthode dans l'industrie [1].

En général, la corrosion est un problème majeur en raison de son caractère dérobé et insidieux. Dans les pays industrialisés, les coûts de la corrosion représentent trois à quatre pour-cent du produit national brut. Ces chiffres prennent en compte:

- Les pertes directes : Remplacements des matériaux corrodés et des équipements dégradés par la corrosion.
- Les pertes indirectes : Réparations et pertes de production.
- Les mesures de protection : Utilisation de matériaux plus chers résistant à la corrosion, de revêtements et de protection cathodique.
- Les mesures de prévention : Sur dimensionnement des structures porteuses, inspections et entretiens.

La corrosion n'est pas seulement une source de gaspillage de matières premières et d'énergie, elle peut en plus provoquer des accidents graves et, dans certains cas Contribuer à la pollution de l'environnement naturel. On estime que la corrosion détruit un quart de la production annuelle mondiale d'acier, ce qui représente environ

150 Millions de tonnes par an ou encore 5 tonnes par secondes. Or, la corrosion ne se limite pas à l'acier, mais affecte tous les métaux ainsi que les polymères et les céramiques [2].

A cette fin, nous avons été encouragés à étudier l'inhibition de la corrosion au niveau de la chaudière Babcock du complexe Fertial Annaba.

Les idées directrices qui on permit de réaliser la transcription de ce mémoire sont résumées dans deux partie. La première présente une description détaillé du complexe Fertial et spécialement la centrale utilité II.

La deuxième partie est consacrée à l'étude des analyses physico-chimiques de l'eau d'alimentation des chaudières, nous évoquerons aussi une généralité sur la corrosion et une étude expérimentale sur l'optimisation de la concentration des additifs anti corrosion.

Enfin, une conclusion générale permet de relever les points les plus importants.

# **Partie I :**

# **Présentation du Complexe**

## I.1. Introduction :

ANNABA est dotée de l'une des plus importantes entreprises industrielles d'Afrique du Nord C'est le complexe FERTIAL. La réalisation du complexe des engrais phosphatés et azotés de ANNABA entre dans le cadre de la politique du développement de l'industrie chimique et principalement la promotion de l'agriculture algérienne.



**Figure 01: Complexe des engrais phosphatés et azotés: Fertial-Annaba**

## I.2. Historique :

A l'aube de l'indépendance, la situation du secteur de l'industrie des produits chimiques montrait une faiblesse notable dans les capacités de production installés qui se limitait à de petites unités vétustes, utilisant des procédés archaïques c'est pourquoi le complexe «ASMIDAL» a mis en œuvre une stratégie de développement globale connue à sa création, en 1972 sous le nom du complexe phosphaté [3].

Cet ensemble industriel, qui est égal en importance de réalisation majeure du pays, a répondu dans les faits à une stratégie de développement ébauchée préalablement aux décisions, en 1966 portant sur la nationalisation des ressources minières du pays et de

leur valorisation. L'encène l'entreprise en 1977, a vu sa restriction avec le délestage des activités secondaires et recentrage sur son métier de base a savoir la fabrication de l'ammoniac et des engrais.

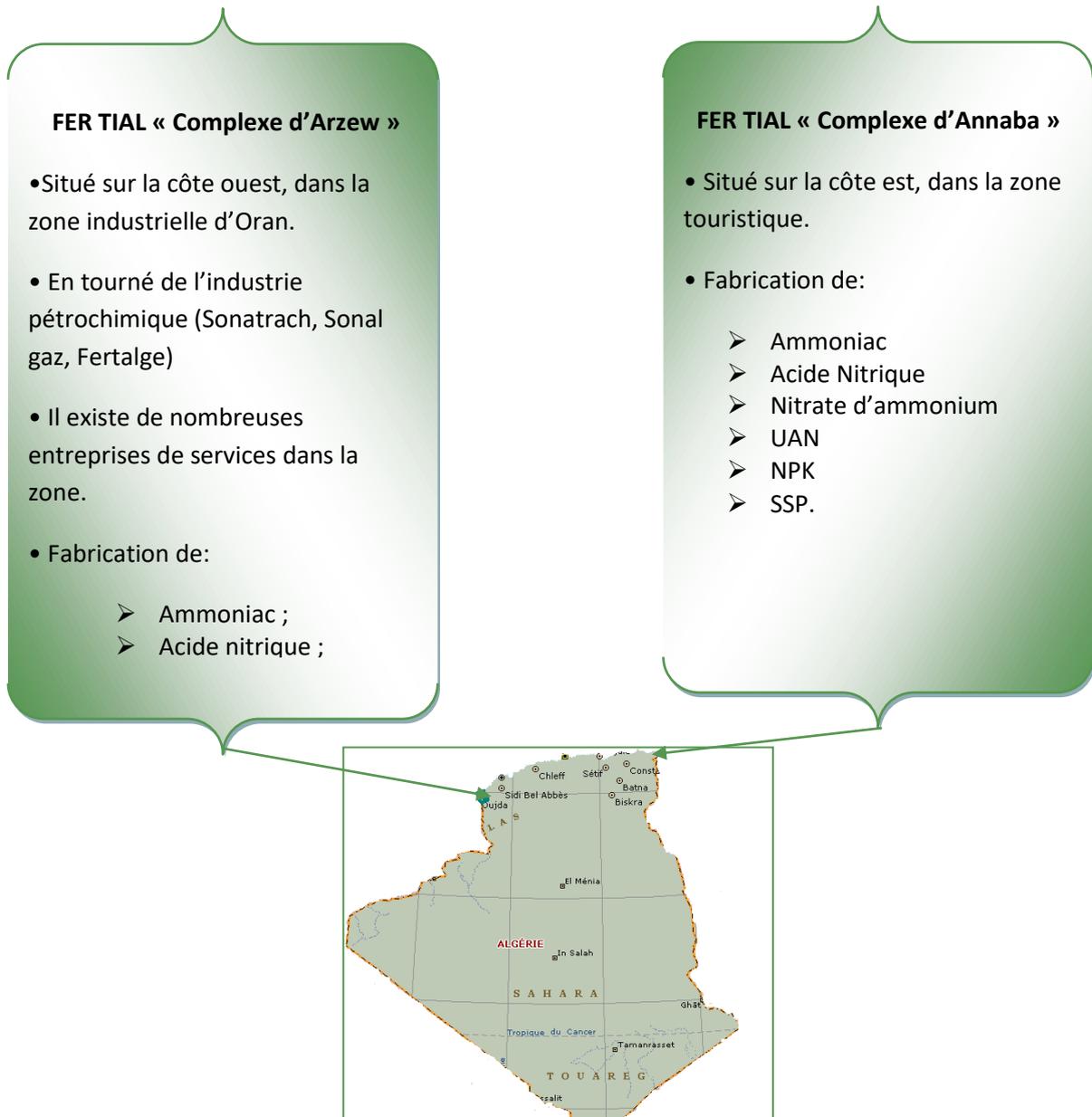
### **I.3. Présentation du FERTIAL :**

FERTIAL est organisé sous la forme d'une société par action (Spa) ,66% groupe espagnol Vilar mir, 34% ASMIDAL Algérie qui représente un capital social de 17.697.000.000.00 DA sa durée de vie et de 99ans.

Elle est inscrite dans le registre de commerce sous le N°036322B01 et son N° d'identification statistique est 0001305053906 dont le siège social et située la plate forme ANNABA route des salines BP 3088.

L'entreprise comporte deux pôles industriels:

- **Plate forme ANNABA** : Complexe de fabriquent des engrais phosphatés, azotés et de l'ammoniac.
- **Plate forme ARZEW**: Complexe de fabriquent des engrais azotés et de l'ammoniac avec des capacités installés sont 2000 T/J d' $\text{NH}_3$ , et 1500T/J de nitrate d'ammonium[4].

**DESCRIPTION SOMMAIRE DE FERTIAL : PRESENTATION DES SOCIETES****Figure 02 : Présentation des sociétés.**

Dans le cadre général du développement économique et social du pays, l'entreprise est chargée de :

- Promouvoir et développer l'industrie des engrais et produit phytosanitaires.
- Exploiter, gérer et rentabiliser les moyens humains, matériels et financiers dont elle dispose en vue de :
  - Satisfaire les besoins du marché national et international.
  - Favoriser l'épanouissement de l'esprit d'imagination et l'initiative et faire appel aux moyens locaux
  - Développer la coopération dans le cadre de politique nationale en la matière.

#### **I.4. Situation géographique :**

L'usine est située à 4 km à l'est de la ville d'Annaba. Elle est limitée par : l'oued Seybouse et la cité Sidi Salem à l'est, la cité Seybouse à l'ouest, la mer méditerranéenne au nord, la route nationale n°44 au sud et elle comporte les filiales suivantes :

##### **I.4.1. FERTIAL :**

Divisé en 02 plates-formes (direction EST –ANNABA et direction OUEST-ARZEW), la plate-forme EST-Annaba produit des engrais phosphatés et azotés. Elle comprend deux zones :

##### **➤ Zone sud (engrais phosphatés)**

Lancé le 03/03/1969 en coopération avec la société française **Krebs**, elle est entrée en production le 15/05/1972

Elle comprend :

- ✓ Atelier simple super phosphaté **SSP**
- ✓ Atelier des engrais **NPK**.

➤ **Zone nord (engrais azotés)**

Créé en 1975 en coopération avec la société **Creusot Loire Kellogg et Krebs**, elle est entrée en production en 1987 (unité acide nitrique et nitrates d'ammonium) pour l'unité d'ammoniac.

Elle comprend :

- ✓ Centrales utilité II : Approvisionnement du complexe en eau, vapeur, et gaz naturel.
- ✓ Unité d'ammoniac  $\text{NH}_3$  : Sa capacité de production est de 1000 tonnes/jours.
- ✓ Unité d'acide nitrique  $\text{HNO}_3$  : Sa capacité de production est de 800 tonnes/jour.
- ✓ Unité de nitrate d'ammonium  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  : Sa capacité de production est de 1000 tonnes/jour.
- ✓ Installation de manutention et de stockage.

#### **I.4.2. KIMIAL(STPP)**

Production de tripoly-phosphate de sodium avec une capacité de 120 tonnes/jour.

#### **I.4.3. SOMIAS**

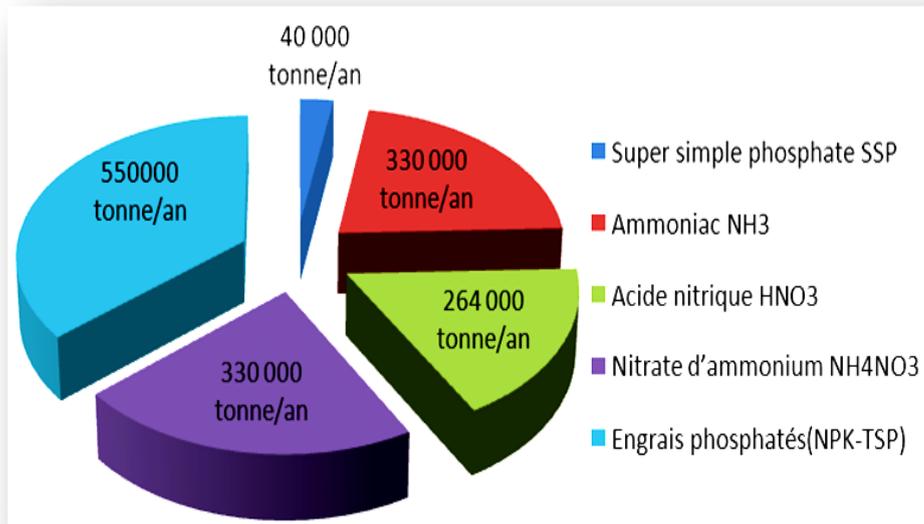
Maintenance industrielle-réparation de tous types d'équipements industriels et prise en charge de tous travaux de maintenance.

#### **I.4.4. ASFERTRADE**

Distribution de tous types d'engrais produits et commercialisés par le groupe ASMIDAL sur le marché national [4].

## I.5. Production de l'entreprise :

Les différents produits fabriqués sont regroupés dans la **Figure 03** :



**Figure 03 : Différents produits fabriqués par l'entreprise.**

Une partie du nitrate et de l'ammoniac, est autoconsommé par FERTIAL, pour la production d'autres produits.

**Tableau 01 : l'exportation des productions : [4]**

<i>Production</i>	<i>Pays</i>
<i>NH<sub>3</sub></i>	-Espagne, France, Italie, Grèce, Belgique, Cuba et Grande Bretagne.
<i>Nitrate</i>	-Tunisie, Maroc.
<i>UAN</i>	-France, Espagne, USA.
<i>SSP</i>	-Maroc, Grèce, France, Italie et Brésil.

## I.6. L'unité centrale utilité II :

L'usine Fertial de Annaba présente un besoin en eau pour le bon fonctionnement de ses unités de production, elle se situe à quelques mètres de la mer méditerranéenne, cette proximité inépuisable d'eau permet de répondre suffisamment à tous les besoins de l'unité de production par le dessalement de l'eau de mer.

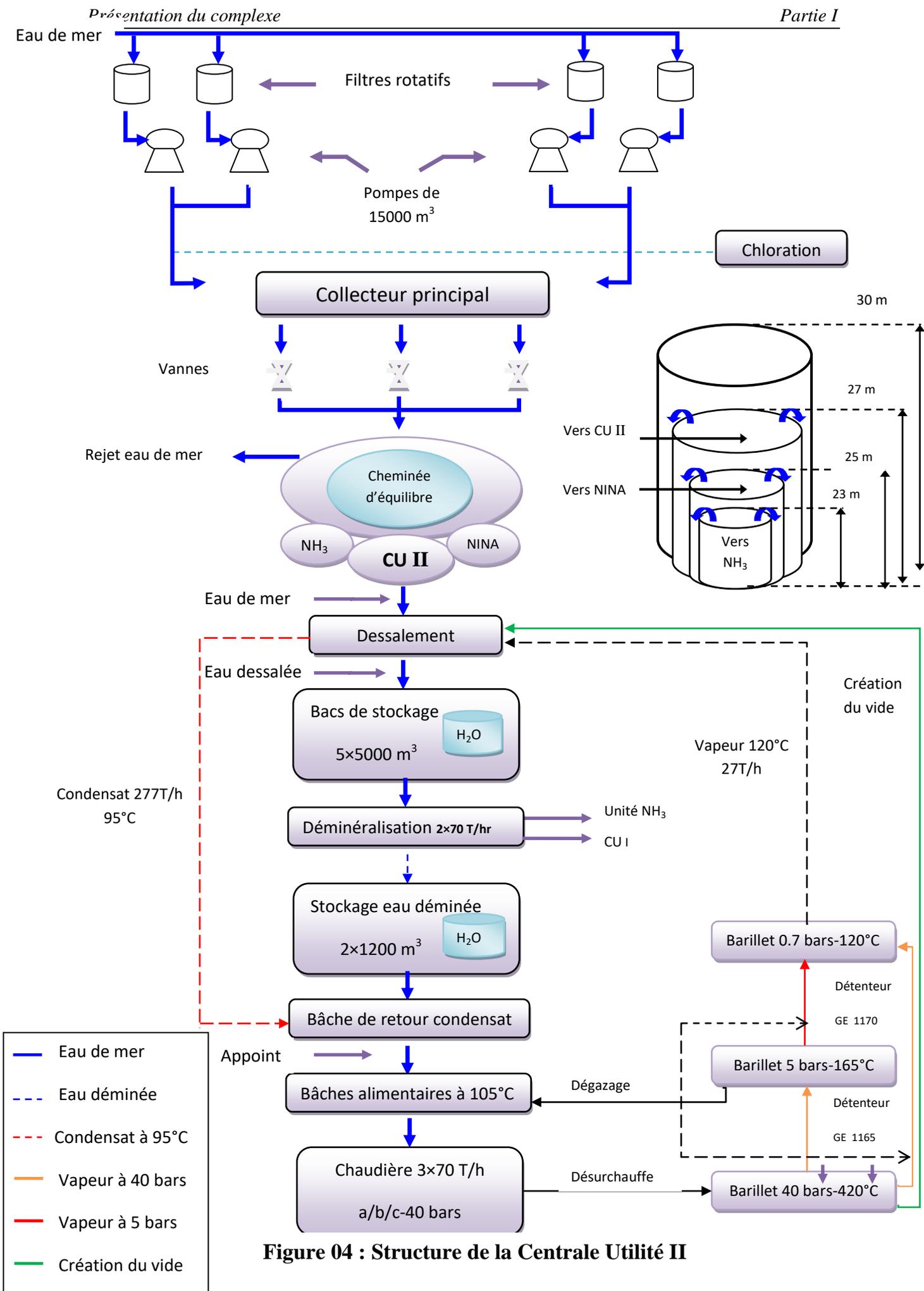
En effet l'eau de mer contient une salinité très élevée qui rend quasiment impossible son utilisation directe. Pour qu'elle devienne exploitable, cette eau subit plusieurs opérations qui permettent de réduire sa salinité à des taux plus bas. C'est ce qu'on appelle communément le processus du dessalement d'eau de mer [5].

## I.7. Présentation de la centrale utilité :

La centrale utilité est une unité motrice et primordiale pour toutes les unités du complexe. Elle a pour but de satisfaire les besoins du complexe en matières d'utilités, telles que :

-  Eau de mer
-  Eau dessalée
-  Eau déminéralisée
-  Vapeur (haute, moyenne et basse pression)
-  Energie électrique
-  Air (instruments et services).

Toutes ces utilités forment les sections de la centrale dont la structuration est illustrée sur la **Figure 04**.



**Figure 04 : Structure de la Centrale Utilité II**

### **I.7.1. Section de pompage de l'eau de mer:**

Cette section a pour but de fournir au complexe une eau de mer prétraitée et conditionnée pour des utilités spécifiques. Son emplacement est isolé et éloigné du port pour éviter l'entraînement des impuretés, telles que les coquillages, algues,...etc.

L'eau de mer passe par une série de traitements préalables, qui sont :

#### **➤ Le Dégrillage**

Le dégrillage est un premier poste de traitement, l'opération est nécessaire pour :

- 1- Protéger la centrale contre l'arrivée intempestive de gros objet susceptible de provoquer des bouchages dans les unités de l'installation.
- 2- Séparer et évacuer facilement les matières volumineuses transportées par l'eau de mer brute.

#### **➤ Le Dessablage**

L'opération de dessablage consiste en l'élimination des gravies, des sables et des particules minérales, de façon à éviter les dépôts dans les canaux et les conduites et de protéger les pompes et tout autres appareils contre l'abrasion.

#### **➤ La Filtration**

La filtration est un procédé physique qui permet de séparer les particules organiques ou minérales par l'utilisation des filtres rotatifs, ces filtres dépendent du type et de la taille des particules.

#### **➤ La chloration**

C'est une méthode de traitement chimique, elle consiste à éliminer certains contaminants tels que les micro-organismes vivants présents dans l'eau de mer par injection continue et injection choc.

### ➤ La stabilisation

L'eau de mer est ainsi expédiée à la centrale par quatre pompes centrifuges de débit unitaire de 15000 m<sup>3</sup>/h, vers une cheminée d'équilibre munie de trois compartiments qui alimentent les unités consommatrices selon leur demande (pression, débit).

La température de l'eau de mer est de 24 °C à 27 °C. En moyenne sa concentration en sel est de 35 g/L et la pression est de 2,7 bars [4].

### I.7.2. Section de dessalement de l'eau de mer (SIDEM) :

Cette section a pour but de réduire la conductivité de l'eau de mer à une valeur inférieure à 8 µS/cm. L'eau de mer fournie par la cheminée d'équilibre va alimenter les quatre dessaleurs de cette section. Trois dessaleurs identiques de type multi flash (distillation sous vide) avec recirculation de saumure, ayant une capacité de 196 m<sup>3</sup>/h d'eau dessalée, avec une teneur en extrait sec inférieure ou égale à 3 ppm ; et l'autre de type thermo compression (distillation à compression de vapeur) dont sa capacité de production est de 210 m<sup>3</sup>/h d'eau dessalée [6].

L'unité de dessalement multi flash comprend deux filtres, 20 cellules qui assurent la distillation, trois pompes de circulation d'eau et de saumure, un réchauffeur, deux éjecteurs pour maintenir le vide. Pour le stockage, la station de dessalement est équipée de cinq bacs d'une capacité unitaire de 5000 m<sup>3</sup>.

On a trois étapes de démarrage :

1. La mise en circulation froide
2. La mise sous vide
3. le préchauffage.

L'eau de mer arrive par la cheminée d'équilibre, et par gravité elle passe par un filtre choisi et entre dans la 20<sup>ème</sup> la 19<sup>ème</sup> et la 18<sup>ème</sup> cellule côté tube, à la sortie du condenseur de la 18<sup>ème</sup> cellule une fraction, du débit d'eau de mer est rejetée vers égout et l'autre traverse les condenseurs d'éjecteurs (amont et aval), avant d'être introduite par la vanne d'appoint ( une partie d'eau d'appoint et l'autre eau de barrage ) dans la 20<sup>ème</sup> cellule côté cuve, On laisse le niveau d'eau de mer dans la 20<sup>ème</sup> cellule monter jusqu'à la moitié de l'hublot, ce niveau on démarre la pompe de recyclage, pour être refoulé vers la 18<sup>ème</sup> cellule, l'eau de mer rempli successivement les condenseurs de cellules la 17<sup>ème</sup> jusqu'à la 1<sup>ère</sup> cellule puis passe par le réchauffeur côté tube, L'eau de mer rentre alors dans l'évaporateur côté cuve de la 1<sup>ère</sup> cellule. Elle s'écoule de cellule en cellule et revient à la 20<sup>ème</sup> cellule, la boucle de recyclage est terminée, le niveau dans la 20<sup>ème</sup> cellule baisse, remonte par la vanne d'appoint jusqu'à 400 m<sup>3</sup>, à ce moment démarre la pompe de saumure pour maintenir le niveau. Puis on met l'évaporateur et le réchauffeur sous vide à l'aide de l'éjecteur de démarrage ( par la vapeur HP 40 bars), et à la fin l'eau de mer est chauffée à 88°C dans le réchauffeur. Elle est ensuite envoyée vers la 1<sup>ère</sup> cellule côté cuve à faible pression. L'eau est alors immédiatement transformée en vapeur par détente, ce procédé est appelé « Flash ». La vapeur résultante va entrer au contact du premier condenseur dans lesquels passe l'eau de mer. Ces condenseurs, froids vont alors provoquer la condensation de cette vapeur qui est alors récupérée à l'état d'eau distillée. L'eau qui ne se sera pas évaporée est la 1<sup>ère</sup> cellule, sera récupérée puis transférée dans une 2<sup>ème</sup> cellule du même type ayant une pression moindre par rapport au premier. L'opération est alors répétée plusieurs fois jusqu'à la 20<sup>ème</sup> cellule à la suite, d'où le nom de multi-flash.

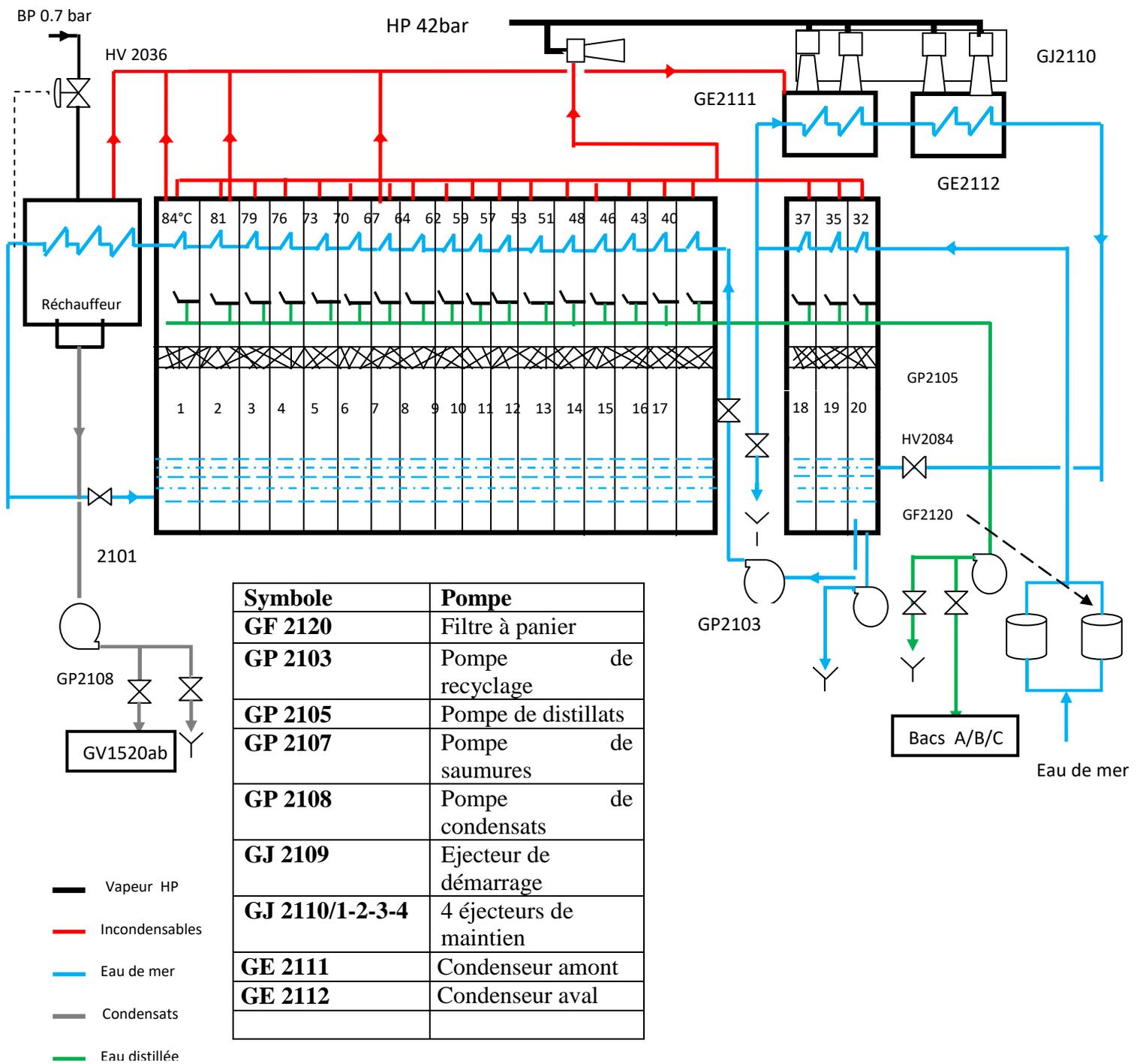


Figure 05 : Procédés de dessalement de l'eau de mer

### **I.7.3. Section de déminéralisation ;**

L'eau dessalée est stockée dans trois bacs de capacité 5000 m<sup>3</sup>, contenant encore des sels. Elle est ensuite envoyée vers l'installation de déminéralisation composée essentiellement de deux chaînes de traitement d'eau; chacune est constituée d'un filtre à charbon actif et d'un échangeur d'ions à lit mixte (cation et anion). La chaîne traite un débit de 70 m<sup>3</sup>/h.

La déminéralisation permet d'obtenir une eau à grande pureté qui est stockée dans des bacs de volume 1200 m<sup>3</sup>, pour être utilisée dans les différentes unités du complexe et assurer l'alimentation des chaudières contrôlée par une conductivité inférieure ou égale à 1 µS/cm.

Dans le cas où la qualité de l'eau dépasse cette valeur la chaîne est épuisée; elle subit une régénération par injection de la soude caustique (NaOH), puis une injection à l'acide sulfurique (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) [7].

### **I.7.4. Section turboalternateurs :**

Une partie de la vapeur surchauffée produite passe par une turbine qui fait tourner un alternateur produisant de l'électricité. Il existe deux groupes :

- Un turboalternateur 10 MVA
- Un turboalternateur 18 MVA.

### **I.7.5. Section d'air comprimé (compresseur) :**

Cette section est composée de trois compresseurs à deux étages et double effet, dont le rôle est de comprimer l'air atmosphérique de 1 à 8 bars. Une partie est utilisée comme air de service dans les différentes unités avec un débit de 1070 Nm<sup>3</sup>/h par unité. Une partie de cet air passe par un sécheur d'air contenant des billes d'alumine Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> pour l'adsorption des gouttelettes d'eau contenues dans l'air sec ; elle est stockée dans un ballon pour être utilisée dans les différentes unités du complexe en alimentant ainsi les instruments de régulation des différents paramètres [8].

### I.7.6. Section de la production de la vapeur (chaudière) :

Cette section est composée de trois chaudières : deux de type BABCOCK- uranson et la troisième de type standard Kecal. L'eau alimentant la chaudière est aspirée à partir de la bêche alimentaire à une température de 80°C puis transférée par des pompes multicellulaires de pression 60 bars vers le ballon supérieur de la chaudière en passant par un économiseur sortie fumée pour économiser l'énergie avant évacuation des fumées à travers la cheminée. L'eau alimentaire passe par gravité dans les colonnes d'alimentation pour remplir le ballon inférieur puis par les tubes vaporisateurs (tubes écrans).

La chaudière est remplie jusqu'à un niveau qui sera maintenu automatiquement à 50% dans le ballon supérieur. Puis le brûleur est allumé au bas de la chaudière en faisant brûler le gaz en présence d'air de combustion.

Cette énergie est transférée vers l'eau par rayonnement à 80%; ainsi l'eau passe de l'état liquide à l'état de vapeur saturée et sera accumulée dans le ballon supérieur jusqu'à une pression de 40 bars et une température de 250 °C. Cette vapeur passe par un surchauffeur pour être surchauffée à 420°C (par convection), puis passe dans les barillets pour sa consommation dans les différentes unités [7].

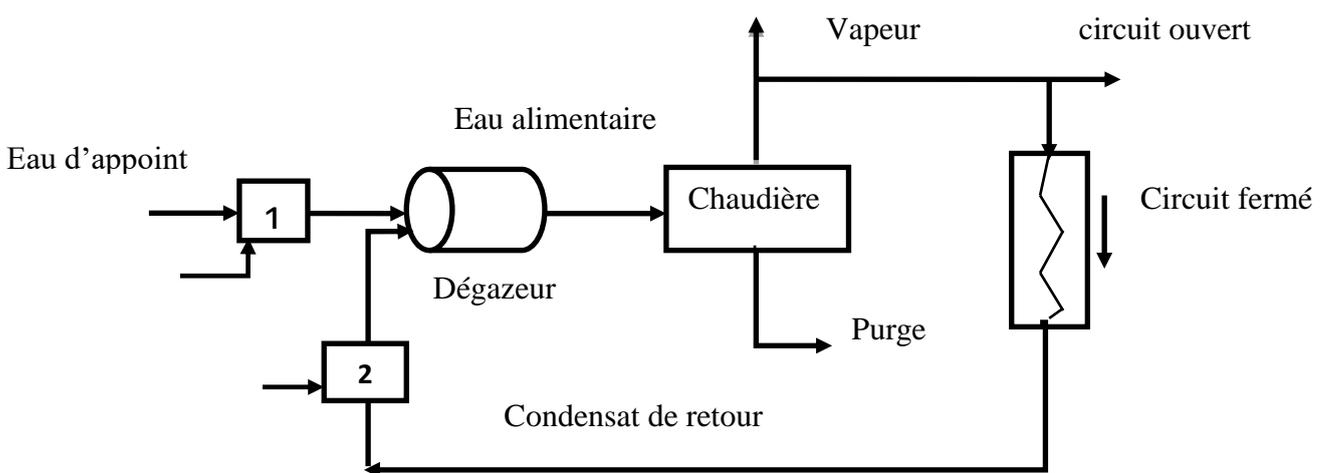


Figure 06 : Cycle de l'eau dans la chaudière

### **I.7.6.1. Élément de construction d'une chaudière :**

#### **➤ Ballon supérieur :**

C'est un ballon cylindrique horizontal ou l'on maintient un niveau constant pour ne pas rompre la circulation naturelle, il est équipé de :

- Séparateur vapeur –eau (dynamique et statique) pour éviter les entrainements.
- D'une arrivée d'eau d'alimentation distribuée par des gicleurs le long du tube d'entrée (ce qui permet de répartir le débit le long du ballon) pour éviter des turbulences et calmer le niveau.
- Une prise de purge qui est utilisée en purge continue de déconcentration.
- Deux soupapes de sécurité et vidange.

#### **➤ Foyer ou chambre de combustion :**

Quand les brûleurs sont situés verticalement, ils passent en général au travers d'une nappe de tubes vaporisateurs qui est modifiée à cet endroit pour permettre le passage des brûleurs puis ils sont entourés à ce niveau d'un écran de briques réfractaires dont la forme permet le maintien de la flamme.

#### **➤ Ballon inférieur :**

C'est un cylindre horizontal situé à la partie la plus basse qui permet d'abord de distribuer l'eau et accessoirement de décanter les parties solides (sels et impuretés) en suspension de dépôts dans les tubes.

#### **➤ Tubes d'alimentations :**

Se sont les tubes qui alimentent le ballon inférieur avec l'eau de chaudière par gravité de ballon supérieur.

➤ **Tube écrans :**

Se sont les tubes entre le ballon inférieur et le ballon supérieur qui sont en contact avec la flamme.

➤ **Bruleurs à gaz :**

Ils sont constitués :

- D'un ventilateur d'air de combustion
- Des organes d'allumage (électrodes)
- Des organes de sécurité (pressostat d'air, de gaz, sonde d'ionisation ou cellule coffret de sécurité)
- Des organes de régulation.

➤ **Economiseur :**

L'économiseur est un faisceau tubulaire placé dans l'échappement des fumées qui permet de récupérer des calories disponibles dans les fumées en réchauffant l'eau d'alimentation du ballon de la chaudière.

➤ **Surchauffeurs et désurchauffeurs :**

a) **Les surchauffeurs :**

Permettent de transformer la vapeur saturée en vapeur sèche, donc de limiter le risque de gouttelettes d'eau sur les ailettes de turbines.

Ils sont positionnés dans la partie la plus chaude du circuit des fumées ils sont constitués d'acier chrome –molybdène.

b) **Les désurchauffeurs :**

Permis d'ajuster la température fin de sortie de vapeur surchauffée avec une injection d'eau entre les deux surchauffeurs, ou au lieu d'une injection d'eau, le réglage de température de surchauffe peut se faire par un serpentin situé entre les deux surchauffeurs et placé dans le ballon inférieur.



**Figure 07 : Chaudière de type BABCOCK.**

#### **I.7.6.2. Fonctionnement d'une chaudière :**

La circulation d'eau dans la chaudière est très importante pour éviter la formation des zones sèches où le métal est susceptible de fondre, se déformer ou s'oxyder prématurément.

Donc, L'eau de chaudière provient de la station de traitement, de la bache de récupération du condensat (GV1520 A et B) et ensuite du dégazeur bache alimentaire.

L'appoint en eau dans la chaudière est réalisé grâce à une pompe alimentaire (GP1160, GZ1161) fonctionnant à une pression légèrement supérieure à la pression interne du ballon.

L'eau alimentaire traverse l'économiseur pour être préchauffée avant d'entrer au ballon supérieur, le ballon rempli, l'eau s'écoule par gravité au ballon inférieur par l'intermédiaire du tube d'alimentation ensuite passe vers les tubes à écran où se fait l'ébullition.

La vapeur saturée collectée traverse le 1<sup>er</sup> séparateur dynamique (siclons) pour éliminer 1<sup>er</sup> gouttelettes d'eau le ballon supérieur et avance vers le 2<sup>ème</sup> séparateur statique (les chicanes), puis, la vapeur encore saturée entre dans les surchauffeurs primaire et secondaire et quand il ya une augmentation de température de vapeur elle passe par un désurchauffe se forme d'un serpent in plonger dans le ballon inferieur pour la chaudière A et B mais pour la chaudière C la désurchauffe se fait par injection direct d'eau alimentaire [9].

## **I.8. Problèmes rencontrés dans les équipements :**

Au niveau de la chaudière de production de vapeur selon la qualité de l'eau utilisée, plusieurs phénomènes peuvent se manifester au cours du temps et peuvent provoquer soit, la dégradation de la qualité de vapeur produite, ou des arrêts éventuels de la production[5].

### **I.8.1. Moussage et primage :**

**Moussage :** Ce sont les bulles ou la mousse qui est créé à la surface de l'eau des chaudières et sortent avec la vapeur, la mousse est causée par de forte concentration en solides dans l'eau des chaudières. Cependant, on ne croit généralement que les substances spécifiques telles que les semences alcalines, les huiles, les corps gras, les graisses, certains types de matière organique et les solides suspendus sont particulièrement favorables à la formation de moussage.

**Primage :** Le primage est le transfert de grandes quantités en gouttelettes d'eau dans la vapeur, qui baisse le rendement énergétique de la vapeur et entraîne des dépôts des cristaux de sels sur les surchauffeurs et dans les turbines. Le primage peut être causé par une mauvaise construction de la chaudière, des régimes excessifs, ou des fluctuations soudaines en demande de vapeur. Le primage est parfois aggravé par les impuretés dans l'eau des chaudières.

### ❖ Protection contre le moussage et le primage :

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

Très souvent, les condensats contaminés retournent dans les systèmes de chaudières entraînant des problèmes de transfert. Dans ce cas, le condensat devrait être temporairement rejeté jusqu'à que la source de contamination soit trouvée et éliminée. L'utilisation d'agents chimiques **anti-moussage** et **anti-primage**, mélanges d'agents tensio-actifs, élimine la mousse, empêche le transfert de fines particules dans la vapeur, et peut être très efficace en empêchant le primage dû aux hautes concentrations d'impuretés dans l'eau de chaudière [10].

### I.8.2. Entartrage:

L'entartrage est un problème majeur dans l'industrie, le tartre est un isolant et mais il participe à l'initiation de la corrosion. Les problèmes apparaissent lorsque l'eau est chauffée, plus la température est importante et plus une eau tend à être entartrant.

Les sels produisant du tartre que l'on trouve le plus souvent dans les eaux de refroidissement sont la silice, le sulfate de calcium, le phosphate de calcium et le carbonate de calcium.

### ❖ Protection contre l'entartrage :

Les solutions les plus couramment appliqués sont :

- Décarbonations à la chaux ;
- Décarbonations sur les résines carboxylique ;
- Injection des acides (lessivage) ;

- Séquestration par poly phosphaté ;
- Adoucissement sur résines échangeuses d'ions.

### I.8.3. La Corrosion:

La corrosion peut produire une attaque générale sur une large surface ou peut résulter en une attaque très localisée. La corrosion est un problème pertinent causée par l'eau dans les chaudières, elle peut avoir énormément d'origine et de nature différentes, la corrosion est dû généralement à l'action de l'oxygène dissous [11].

Un certain nombre de produits chimiques ont été testés pour permettre à l'acier de former un film isolant. Ce sont les inhibiteurs de corrosion ; les uns sont employés pour isoler les régions cathodiques, les autres pour recouvrir les régions anodique.

Pour limiter la corrosion et la formation des incrustations adhérentes sur les surfaces des circuits eau/vapeur, les eaux d'alimentation de chaudière sont conditionnée en trois postes identiques:

➤ **Le sulfite de soude**, de nom commercial Solerpon RVH, liquide incolore, de densité à 20 égale à 0.99 et miscible dans l'eau. Il est consommé à 788g de sulfite de sodium anhydre ( $16g Na_2SO_3, 7H_2O$ ) par gramme d'oxygène (application industrielle). Ses avantages sont :

1. La réduction chimique de l'oxygène dissous.
2. La formation d'un film protecteur de magnétite sur les surfaces métalliques.
3. Il est recommandé à être employé dans les eaux alimentaires déminéralisées.
4. Il est reconnu comme étant non dangereux suivant la législation Européenne relative aux préparations.

Leur dosage est compris entre 0.5 et 3  $cm^3/m^3$  d'eau alimentaire dégazée, selon la fiche signalétique de fournisseur du produit.

- **Le phosphate trisodique** est utilisé pour éviter l'entartrage : Le conditionnement au phosphate doit être nuancé selon la pression de fonctionnement des chaudières, car aux pressions et vaporisations élevées, le phosphate tend à se cristalliser localement.

L'injection, à l'unité, de phosphate est de 5 Kg par jour dans un bac de 250 litres d'eau déminéralisée.

- **La morpholine** a pour but de remonter le pH à 8-9. Il est un liquide incolore à jaunâtre ayant une odeur aminée. La quantité utilisée de ce produit est de 4 à 5 litres par jour, déversée dans le bac de capacité de 250 litres [5].

**Partie II :**

**Etude Expérimentale**

## II.1. Introduction:

Pendant la période de stage au niveau de la centrale utilité II, nous avons effectué des analyses physico-chimiques de l'eau des différents circuits, afin d'éviter la corrosion des parties en aciers.

Les analyses sont programmées à 09h:00 (heure sélectionnée par l'opérateur de l'unité). On prélève les échantillons à partir des vannes, on les mis dans des bouteilles en plastique bien bouchonnée selon les directives. Les analyses sont réalisées au niveau du laboratoire de contrôle qualité du complexe FERTIAL

## II.2. Paramètres des analyses des eaux :

Les paramètres suivis spécifiques à l'eau industrielle à exploiter dans les équipements sont : pH, TH, TA, TAC, la conductivité, les chlorures, les phosphates, la soude et la silice.

### II.2.1. Le titre hydrotimétrique (TH) :

Le TH ou la dureté représente la concentration en ions alcalino-terreux présents dans l'eau ; on distingue :

TH : teneur en  $\text{Ca}^{+2}$  et  $\text{Mg}^{+2}$  ;

THca : teneur en  $\text{Ca}^{+2}$  ;

#### ➤ Détermination du TH :

La détermination de la dureté de l'eau est basée sur la formation de complexes entre les alcalino-terreux et le sel di sodique de l'acide éthylène-diamine tétracétique (EDTA) en présence du noir ériochrome T en milieu tamponné. La dureté est mesurée par complexométrie selon la méthode **NF T90-003**.

➤ **Réactifs**

- Sel disodique de l'acide éthylène diamine tétracétique : solution à 0.0205N.
- Solution indicatrice (noir ériochrome T à 0.25g alcool pour 100 ml de solution).
- Solution tampon (pH 10).



**Figure 08 : Matériels et réactifs utilisés pour le dosage.**

➤ **Mode opératoire:**

- On prélève 100 ml d'eau à analyser et on ajoute 8 ml de la solution tampon et 5 gouttes de l'indicateur NET.
- Dans le cas où la couleur est bleue, le TH est nul.  
  
Si la couleur est violette, il faut titrer avec l'EDTA jusqu'à l'obtention d'une coloration bleue.
- On lit le volume de l'EDTA dépensé, noté par V.

### II.2.2. Le titre alcalimétrique et le titre alcalimétrique complet (TA et TAC) :

Les valeurs de TA et TAC représentent les teneurs en hydroxydes, carbonates et hydrogénocarbonates alcalins et alcalino-terreux contenues dans l'eau.

Le TA permet de déterminer la teneur en hydroxydes et seulement la moitié de celle des carbonates :

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

Le TAC indique la somme des teneurs en hydrogénéo-carbonates, carbonates et hydroxydes :

$$\text{TAC} = [\text{HCO}_3^-] + [\text{CO}_3^{2-}] + [\text{OH}^-] \dots \dots \dots (2)$$

#### ➤ Détermination de l'alcalinité (TA et TAC) :

L'analyse est basée sur la neutralisation d'un certains volumes d'eau par un acide minéral dilué, en présence d'un indicateur coloré, l'analyse est réalisé par une méthode volumétrique selon la norme NF T90-036.

#### ➤ Réactifs :

- Acide nitrique : solution titrée à N/50.
- Phénophtaléine.
- Méthylorange.

**Mode opératoire :****+ Détermination de TA**

1. On prélève 100 ml d'eau à analyser dans un erlenmeyer ;
2. On ajoute trois (03) gouttes de Phénolphtaléine ;
3. Une coloration rose doit alors se développer ; dans le cas contraire le TA est nul ;
4. On verse ensuite lentement l'acide nitrique dans l'erlenmeyer à l'aide d'une burette graduée, en agitant constamment jusqu'à décoloration complète de la solution. Le pH est alors de l'ordre de 8,3 ;
5. On lit directement sur la burette le TA exprimé en °f.

**+ Détermination de TAC**

1. On utilise l'échantillon traité précédemment, ou la prise d'essai primitif s'il n'y a pas eu de coloration.
2. On ajoute deux (02) à trois (03) gouttes de solution de méthylorange, on verse ou on continue à verser à l'aide de la burette le même acide, en agitant constamment, jusqu'au virage du jaune au jaune orangé. Le pH est alors de l'ordre de 4,3.
3. On note le volume lu à la burette au moment du nouveau virage.

**II.2.3. Le pH:**

La mesure du pH (potentiel hydrogène) traduit l'acidité ou l'alcalinité de l'eau ; la neutralité étant à pH 7.

**II.2.4. La conductivité:**

La conductivité de l'eau à analyser est déterminée à l'aide d'un conductimètre muni d'une électrode spécifique étalonnée.

Cet appareil de mesure est constitué d'une électrode que l'on plonge dans la solution

dont on veut connaître la salinité totale; le résultat s'affiche sur l'écran du conductimètre.

L'électrode doit être bien rincée à l'eau distillée avant chaque mesure.

Les résultats sont exprimés en  $\mu\text{s}/\text{cm}$ .



**Figure 09 : Conductimètre de type CRISON GLP 31.**

### **II.2.5. Les chlorures :**

Les chlorures sont dosés en milieu acide, à pH convenable, par du nitrate mercurique en présence de diphénylcarbazonne, comme indicateur, selon la méthode titrimétrique.

#### **➤ Réactifs:**

- Acide nitrique : solution titrée à 0,04N.
- Indicateur diphénylcarbazonne.
- Nitrate mercurique.

**➤ Mode opératoire :**

- Dans un erlenmeyer de 250 ml , on met 100 ml d'échantillon d'eau à analyser, on verse 5 gouttes de diphénylcarbazone amenées au jaune verdâtre par addition d'acide nitrique.
- On verse, gouttes à gouttes, le nitrate mercurique en agitant énergiquement jusqu'à ce que la solution vire du jaune au violet.
- On lit le volume à la burette, noté par V.

**➤ Expression des résultats:**

$$\text{Cl}^- \text{ mg/l} = V \times N \times \text{Eg Cl}^- \times 10^6 / 1000 \times \text{pe} \dots \dots \dots (3)$$

**N: Normalité Hg(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>**

**Eg : Equivalent gramme (Cl<sup>-</sup>)**

**Pe : Prise d'échantillon**

**V : Volume de Hg (NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>**

### II.3. Les résultats d'analyses:

Les résultats des analyses effectués au niveau du laboratoire durant la période du stage sont regroupés dans le tableau suivant:

**Tableau 02 : Résultats d'analyses de l'eau de chaudière A .**

Date	pH	TH °f	TA °f	TAC °f	CL mg/l	SiO <sub>2</sub> mg/l	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> mg/l	NaOH mg/l
05/04/2021	9,6	00	0,5	1,5	5,77	2,01	10,84	1,60
07/04/2021	9,6	00	0,4	1,3	4,41	1,62	12,09	1,60
08/04/2021	10,2	00	2,5	2,2	9,00	1,88	19,81	3,20
12/04/2021	10,00	00	1,00	3,00	13,5	1,97	15,01	1,60
21/04/2021	10,5	00	4,5	6,00	9,00	0,39	3,33	1,60
22/04/2021	9,00	00	0,3	1,1	2,25	1,33	4,58	1,60
25/04/2021	10,20	00	1,40	3,00	3,18	3,48	21,69	1,60
28/04/2021	10,00	00	1,20	3,00	4,55	2,87	13,55	1,60
02/05/2021	9,40	00	0,50	1,60	2,66	2,86	16,06	1,60
03/05/2021	9,60	00	0,50	1,60	2,66	2,44	13,72	1,60

**Tableau 03 : La norme de l'eau de chaudière A :**

Paramètre	Unité	Normes
TA	°F	< 1
TAC	°F	1-3
TH	°F	00
Chlorure	mg/l	< 5
pH	/	9-10,5

**II.4. Discussion :**

D'après les résultats obtenus dans le tableau 02, on observe que :

- Les valeurs des TA et TAC sont dans les normes, ce qui signifie que les alcalins libres et les carbonates existents dans l'eau sont en quantité négligeables.
- La dureté mesurée durant cette période est nul.
- Les teneurs en ion chlore de l'eau de chaudière sont très variables et varient entre 2,25 à 13,5 mg/l. ces valeurs ne sont pas acceptables car elles ne répondent pas aux normes et sont dues aux excès enregistrés dans les prétraitements.
- Les valeurs de pH respectent les normes.

**II.5. Conclusion :**

Au terme de ce travail expérimental, nous pouvons tirer les conclusions suivantes :

La qualité de l'eau préparée pour les chaudières est mauvaise car elle n'est pas conforme aux normes de référence, ce qui affecte négativement le circuit et provoque des dépôts de tartre, de la corrosion des tuyaux et des bactéries.

Par conséquent, ils ont ajouté des inhibiteurs pour réduire ces problèmes.

## II.6. Généralités sur la corrosion :

La corrosion, du latin "corrodere", signifie ronger, attaquer. C'est une destruction non voulue des métaux sous l'action de milieux corrosifs (agents atmosphériques ou réactifs chimiques). Après attaque, les métaux ont tendance à retourner à leur état primitif d'oxyde, sulfure, carbonate etc., plus stable par rapport au milieu considéré et ainsi à subir une détérioration de leurs propriétés [12].

En service les matériaux métalliques sont souvent en contact avec un milieu agressif liquide ou gazeux, donc le phénomène de corrosion est un problème de surface ou plus précisément d'interface entre un métal et un milieu agressif liquide ou gazeux.

Les processus de corrosion dans ces milieux dépendent d'un grand nombre de facteurs (La nature et la composition du matériau, l'environnement et ses caractéristiques chimiques, sa température, etc ) qui interviennent non pas individuellement, mais en relation plus ou moins complexe les uns avec les autres. De ce fait, la corrosion a donné et donne toujours lieu à de nombreuses études car les phénomènes de corrosion rencontrés quotidiennement sont complexes et souvent spécifiques.

C'est un phénomène naturel qui tend à faire retourner les métaux et alliages vers leur état originel d'oxyde, de sulfure, de carbonate ou de tout autre sel plus stables dans le milieu ambiant [13].

Du point de vue économique, la corrosion est d'une importance primordiale. On estime par exemple que chaque année le quart de la production d'acier est détruit par la corrosion, ce qui correspond environ à 150 millions de tonnes/an ou encore 5 tonnes/seconde. Ces pertes pouvaient être supérieures s'il n'y avait pas la protection contre la corrosion.

Le remplacement des équipements et matériel corrodés constitue pour l'industrie une charge financière très élevée à laquelle il faut ajouter le manque à gagner correspondant à l'arrêt des installations nécessaires pour effectuer les réparations.

Les coûts annuels imputables à la corrosion et à ses conséquences s'élèvent à plusieurs milliards de dollars par an dans la plupart des pays industrialisés. Aux Etats-Unis, les

pertes occasionnées par la corrosion sont évaluées à plus de 7 milliards de dollars.

La corrosion ne se limite pas à l'acier, mais affecte tous les métaux ainsi que les polymères et céramiques et elle touche tous les domaines de l'économie du circuit intégré au pont en béton armé.

L'évaluation des pertes dues à la corrosion doit prendre en considération :

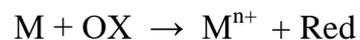
- Les pertes directes : Remplacement des matériaux et équipements corrodés.
- Les pertes indirectes : Réparation, pertes de production.
- Les mesures de protection : Utilisation de matériaux plus résistants à la corrosion et plus chers, de revêtement et de protection cathodique
- Les mesures de préventions, surdimensionnement des structures porteuses l'inspection, et entretien [14].
- En matière de protection contre la corrosion, il est possible d'agir sur le matériau lui-même (choix judicieux, formes adaptées, contraintes en fonction des applications ), sur la surface du matériau (revêtement, peinture, tout type de traitement de surface ) ou sur l'environnement avec lequel le matériau est en contact (inhibiteurs de corrosion).
- La diminution de l'agressivité du milieu, par ajout d'inhibiteurs, connaît, une large application industrielle, spécialement dans l'industrie du décapage et du détartrage, les puits de pétrole et les circuits fermés. C'est un procédé facile à réaliser et souvent acceptable sur le plan du prix de revient.

Les inhibiteurs de corrosion constituent un moyen de lutte original contre la corrosion des métaux. L'originalité vient du fait que le traitement anticorrosion ne se fait pas sur le métal lui-même mais par l'intermédiaire du milieu corrosif [15].

## II.7. Définition :

La corrosion est le résultat d'interactions physico-chimiques entre le métal et l'environnement provoquant des modifications de ses propriétés accompagnées d'une dégradation du métal [16].

En général, l'origine de la corrosion est la formation d'une pile électrochimique, qui se forme lorsqu'il y a une différence de potentiel entre deux parties à la surface du métal. Ce phénomène, par lequel les métaux et les alliages subissent de leur environnement une attaque, se traduit par des réactions d'oxydoréduction :



Où Ox et Red sont respectivement l'oxydant et le réducteur.

Les phénomènes de corrosion sont importants lorsque le métal est placé au contact d'une solution aqueuse. Cette corrosion humide est dans la plupart des cas de nature électrochimique. Elle se manifeste lorsque le métal et l'électrolyte sont en contact et qu'il existe une hétérogénéité soit dans le métal, soit dans la solution.

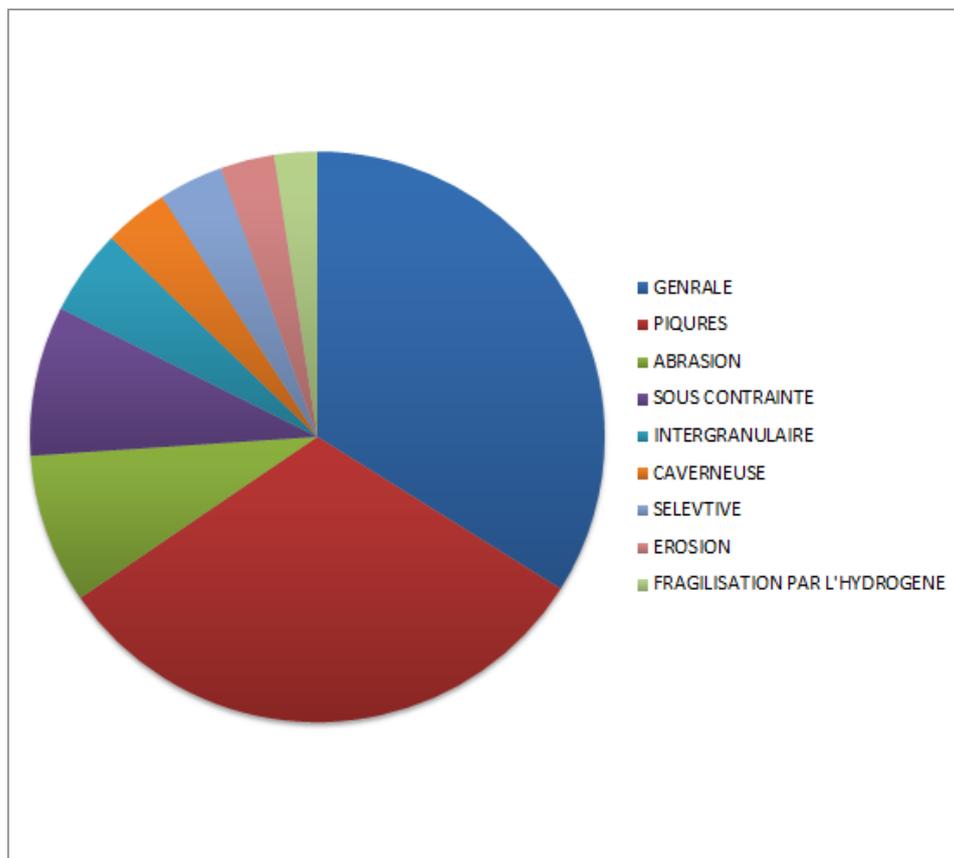
Elle résulte de l'établissement de courants locaux dus à l'existence de piles locales; la réduction cathodique et l'oxydation anodique étant localisées en deux zones distinctes :



Il s'agit d'un phénomène très général, qui affecte de nombreux domaines d'activité. Donc, on peut dire que les phénomènes de corrosion dépendent du matériau et du milieu environnant (aqueux, biologique, avec ou sans contrainte mécanique, etc) [17].

## II.8. Formes de corrosion :

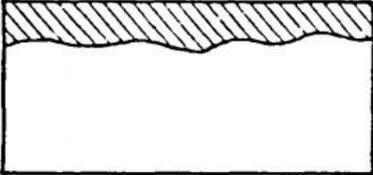
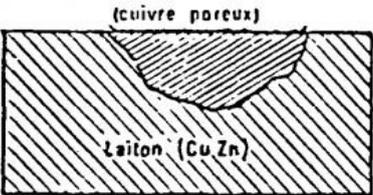
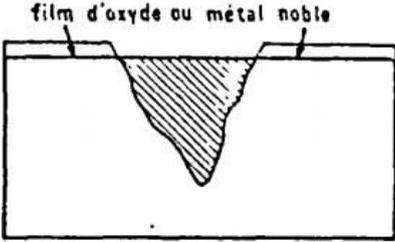
Il existe différentes formes de corrosion ; la figure 10 illustre la répartition des formes de corrosion relevées dans un grand Groupe Chimique Européen dans les années 1990 (sur une durée de quatre ans)



**Figure 10 : Répartition des formes de corrosion relevées dans un grand Groupe Chimique Européen [18].**

Le tableau ci-dessous définit les formes de corrosion les plus courantes :

**Tableau 04 : Différentes formes de corrosion :**

Forme	Definitions
<p><b>1. La corrosion uniforme</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La corrosion uniforme est une perte de matière plus ou moins régulière sur toute la surface. Cette attaque est observée sur les métaux exposés aux milieux acides.</li> <li>• Exemple : Oxydation; dissolution active dans l'acide, polissage chimique et électrochimique; corrosion atmosphérique</li> </ul>
<p><b>2. La corrosion localisée</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 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.</li> <li>• Exemple : Corrosion par crevasse; corrosion Bimétallique; corrosion inter granulaire.</li> </ul>
<p><b>3. La corrosion sélective</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Un composant d'un alliage (habituellement les plus actifs) est sélectivement enlevé d'un alliage</li> <li>• Exemple: Dézincification des laitons (CuZn).</li> </ul>
<p><b>4. La corrosion par piqure</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La corrosion par piqures est produite par certains anions, notamment les halogénures, et plus particulièrement les chlorures, sur les Métaux protégés par un film d'oxyde mince. Elle induit typiquement des cavités de quelques dizaines de micromètres de diamètre.</li> <li>• Exemple : Corrosion par piqûres des métaux Passifs, tels que les aciers inoxydables...</li> </ul>

## II.9. Types de corrosion :

La corrosion d'un métal ou d'un alliage peut se développer suivant différents modes qui caractérisent chacun des types de corrosion. On distingue la corrosion chimique, la corrosion électrochimique et la corrosion biochimique des métaux.

- **La 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 [19].



**Figure 11 : Corrosion chimique.**

- **La corrosion électrochimique** : C'est un phénomène d'oxydo-réduction qui se produit lorsque le métal est en contact avec l'électrolyte qui représente généralement le milieu agressif. A l'anode, il y a oxydation des atomes métalliques avec formation des cations (dissolution du métal), à la cathode, il y'a 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 en général pas 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 [20].



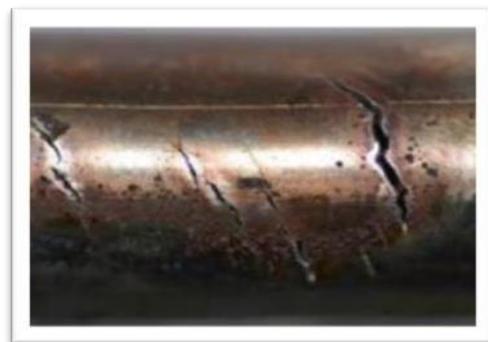
**Figure 12 : Un exemple de corrosion électrochimique sur batterie de voiture**

- **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 [20].



**Figure 13 : Effet des bactéries sur la corrosion d'un acier**

- **Corrosion avec érosion, avec frottement et par cavitation** : dans ce cas, les produits de corrosion forment un dépôt adhérent et continu à la surface de métal. Ils ralentissent, en général, la vitesse de la corrosion. Cette couche peut être éliminée en certains points par abrasion du métal due au mouvement du liquide lui-même ou bien à celui des particules solides qu'il contient ; il y a accélération de la corrosion. Il en est de même lorsque deux pièces se déplacent l'une par rapport à l'autre (frottement). La corrosion par cavitation est due à la présence de bulles de vapeurs qui se forment dans une canalisation, ou au voisinage d'une pièce tournante lorsque, par suite de l'augmentation locale de la vitesse du liquide où la pression statique devient inférieure à la tension de vapeur du liquide, il en résulte un violent martèlement de la surface métallique et une destruction locale du film de corrosion protecteur [21].



**Figure 14 : Corrosion par érosion**

## **II.10. Influence de la corrosion sur le choix d'un matériau :**

Le choix des matériaux pour les équipements industriels est le résultat d'un compromis entre plusieurs facteurs on cite :

- Un compromis entre la résistance à la corrosion et d'autres propriétés, telles que la résistance mécanique, la facilité de mise en œuvre, le soudage, le délai de livraison.
- Un compromis entre la durée de vie de l'équipement et la durée de vie estimée du matériau.

## **II.11. Moyens de prévention :**

### **II.11.1. Conception des équipements :**

D'une manière générale, pour une meilleure prévention il faut assurer une bonne conception et éviter toutes sortes d'hétérogénéités.

Une bonne conception permet de faciliter le nettoyage et le remplacement des pièces les plus vulnérables. Elle est assurée en évitant d'appliquer des pressions excessives sur les sujets et en évitant le contact électrique avec des métaux différents.

En pratique la flexion ou la contraction soudaine des tubes et de tout équipement métallique sont deux facteurs nuisibles pour cet équipement, éviter les points chauds et froids permettra de remédier à ce problème.

### **II.11.2. Les revêtements :**

Ils constituent une barrière physique entre le milieu agressif et le métal à protéger. Leur efficacité dépend de leurs comportements dans des environnements agressifs et de l'intégrité du revêtement. On distingue :

- Les revêtements métalliques obtenus soit par immersion (Zn, Al, ...), par diffusion (chromisation, shérardisation "Zn"), par projection (Zn, Al, ), par placage (tôles plaquées colaminées)
- Les revêtements non métalliques (peintures, vernis, émaux, verres, matières plastiques, caoutchouc, phosphatation et oxydation anodique) [23].

### **II.11.3. Les inhibiteurs de corrosion :**

#### **II.11.3.1. Définition et propriétés :**

La définition d'un inhibiteur de corrosion n'est pas unique, néanmoins celle retenue par la *Nationale Association of Corrosion Engineers* (NACE) est la suivante : un inhibiteur est « une substance chimique qui, ajouté à faible concentration au milieu corrosif, ralentit ou stoppe le processus de corrosion d'un métal placé au contact de ce milieu» [24].

Un inhibiteur de corrosion doit abaisser la vitesse de corrosion du métal tout en conservant les caractéristiques physico-chimiques de ce dernier. Il doit être non seulement stable en présence des autres constituants du milieu, mais également ne pas influencer sur la stabilité des espèces contenues dans ce milieu.

Un inhibiteur est définitivement reconnu comme tel s'il est stable à la température d'utilisation et efficace à faible concentration. Il peut être utilisé en vue d'une protection permanente (surveillance primordiale du dispositif) ou plus couramment en vue d'une protection temporaire : durant une période où la pièce est particulièrement sensible à la corrosion (stockage, décapage, nettoyage ) ou encore lorsque la pièce est soumise à des usinages très sévères comme le perçage, taraudage, forage, filetage.

#### **II.11.3.2. Les classes d'inhibiteurs :**

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

- Leur nature chimique : Minérale, organique ou mixte ;
- Leur action sur les réactions de corrosion dans les zones anodiques, cathodiques ou les deux et les inhibiteurs sont alors nommés respectivement anodiques, cathodiques ou mixte. Les inhibiteurs anodiques sont plus efficaces que les inhibiteurs cathodiques mais plus risqué à utiliser. En effet, outre le fait que de nombreux inhibiteurs anodiques sont toxiques pour l'environnement, une faible concentration peut se révéler plus néfaste qu'efficace en favorisant la corrosion ou

en conduisant à une localisation de cette dernière avec formation de piqûres ;

- Leur mode d'action à l'interface du métal: ils peuvent s'adsorber chimiquement ou électrostatiquement ou bien former une couche protectrice à la surface du métal. Le mode d'action d'un inhibiteur dépend de sa structure et de la concentration employée, de la nature, de l'état de surface du métal, du milieu corrosif et de la température ;
- Le milieu environnant : Neutre, acide ou basique [25].

### II.11.3.3. Nature des molécules de l'inhibiteur :

#### ❖ Les inhibiteurs minéraux :

Les inhibiteurs minéraux (inorganiques) peuvent agir :

- En passivant le métal, c'est-à-dire en formant ou en stabilisant la couche d'oxyde à la surface du métal,
- En formant des films protecteurs insolubles,
- En alcalinisant le milieu.

Ils sont utilisés le plus souvent en milieu proche de la neutralité, voire en milieu alcalin, et plus rarement en milieu acide. Les principaux anions inhibiteurs sont les oxo-anions de type  $\text{MeO}_4^{n-}$  tels les chromates, molybdates, phosphates, silicates [26]. Les cations sont essentiellement  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Zn}^{2+}$  et ceux qui forment des sels insolubles avec certains anions tels que l'hydroxyle  $\text{OH}^-$ .

L'inconvénient majeur des inhibiteurs inorganiques réside dans leur toxicité (présence de chromates, nitrites, phosphates) et ils sont souvent écartés en faveur d'inhibiteurs organiques.

#### ❖ Les inhibiteurs organiques :

Les inhibiteurs organiques sont souvent issus de produits dérivés de l'industrie pétrolière.

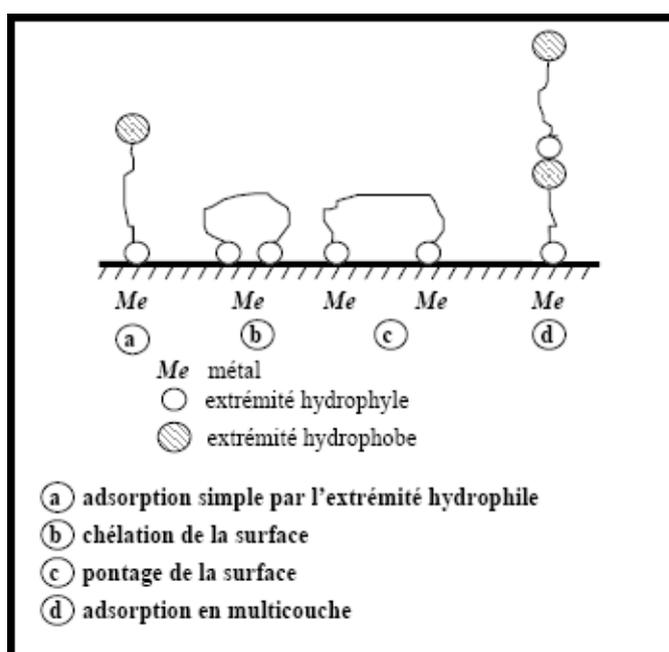
Ils comportent tous au moins un hétéroatome qui, possédant une forte densité électronique, est le centre actif de la molécule.

Les inhibiteurs organiques agissent par :

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

La fonction chimique dérivée de ces atomes représente la partie polaire donc hydrophile de l'inhibiteur :

Les molécules organiques contiennent une partie non polaire, hydrophobe et relativement volumineuse, constituée principalement d'atomes de carbone et d'hydrogène, et une partie polaire, hydrophile, constituée d'un ou plusieurs groupes fonctionnels, tels que  $-NH_2$  (amine),  $-SH$  (mercaptan),  $-OH$  (hydroxyle),  $-PO_4^{2-}$  (phosphate). La molécule se lie à la surface par son groupe fonctionnel, alors que sa partie non polaire, plus volumineuse, bloque partiellement la surface active (**Figure 15**)



**Figure 15 : Représentation schématique des modes d'adsorption de molécules organiques inhibitrices sur une surface métallique**

Ces inhibiteurs présentent le risque de favoriser la piqûration s'ils sont utilisés en quantité insuffisante.

## II.12. Mécanismes d'action électrochimique :

Il n'existe pas de mode d'action unique des inhibiteurs de corrosion. Un même composé aura d'ailleurs souvent un mécanisme d'action qui sera fonction du système de corrosion (métal + solution) en présence duquel il se trouvera. Dans la classification relative au mécanisme d'action électrochimique, on peut distinguer les inhibiteurs anodiques, cathodiques ou mixtes.

L'inhibiteur de corrosion forme une couche barrière sur la surface métallique, qui modifie les réactions électrochimiques en bloquant soit les sites anodiques (siège de l'oxydation du métal) soit les sites cathodiques (siège de la réduction de l'oxygène en milieu neutre aéré ou siège de la réduction du proton  $H^+$  en milieu acide), voire les deux.

Quand la corrosion est sous contrôle cathodique (la polarisation des cathodes est plus importante que celle des anodes) et quand l'inhibiteur est cathodique, la surface des cathodes diminue quand la concentration en inhibiteur augmente tandis que celle des anodes reste inchangée. Même si la quantité d'inhibiteur ajoutée est insuffisante pour recouvrir toutes les cathodes, l'intensité du courant de corrosion diminue (**Figure 16.a**). Si l'inhibiteur est anodique (**Figure 16.b**), la surface des anodes diminue quand la concentration en inhibiteur augmente. Si la concentration en inhibiteur est insuffisante, c'est-à-dire si une partie des anodes reste nue, la densité de courant sera très élevée sur ces anodes et engendrera une corrosion par piqûres. Un inhibiteur mixte diminue la vitesse des deux réactions partielles, anodique et cathodique, mais il modifie peu le potentiel de corrosion.

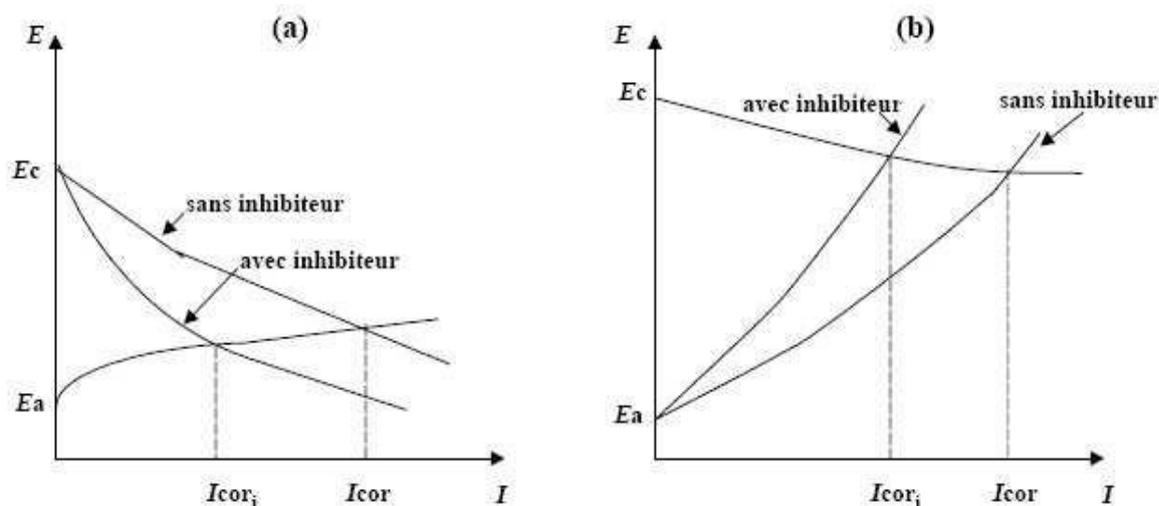


Figure 16 : Contrôle de la corrosion

a) Action d'un inhibiteur cathodique, b) Action d'un inhibiteur anodique

### II.13. Mécanismes d'action interfaciale :

C'est le troisième mode de classement des inhibiteurs, qui différencie ceux-ci à partir de leur mode de fixation sur la surface métallique. Les inhibiteurs d'adsorption, c'est-à-dire ceux qui agissent en formant des films de molécules adsorbées à la surface du métal, sont plutôt utilisés en milieu acide, alors que les inhibiteurs formant des films tridimensionnels de produits de réaction sont spécifiques des milieux neutres ou alcalins.

#### II.13.1. Adsorption des molécules inhibitrices à la surface métallique :

L'adsorption est un phénomène de surface universel car toute surface est constituée d'atomes n'ayant pas toutes leurs liaisons chimiques satisfaites. Cette surface a donc tendance à combler ce manque en captant atomes et molécules se trouvant à proximité.

Deux types d'adsorption peuvent être distingués : la physisorption (formation de liaisons faibles) et la chimisorption.

La première, encore appelée adsorption physique conserve l'identité aux molécules adsorbées trois types de forces sont à distinguer :

- Les forces de dispersion (Van der Waals, London) toujours présentes,
- Les forces polaires, résultant de la présence de champ électrique,
- Les liaisons hydrogène dues aux groupements hydroxyle ou amine.

La chimisorption, au contraire, consiste en la mise en commun d'électrons entre la partie polaire de la molécule et la surface métallique, ce qui engendre la formation de liaisons chimiques bien plus stables car basées sur des énergies de liaison plus importantes.

Les électrons proviennent en grande majorité des doublés non appariés des molécules inhibitrices tels que O, N, S, P (Tous ces atomes se distinguant des autres de par leur grande électronégativité). L'adsorption chimique s'accompagne d'une profonde modification de la répartition des charges électroniques des molécules adsorbées.

La chimisorption est souvent un mécanisme irréversible.

### **II.13.2. Formation d'un film intégrant les produits de dissolution du substrat :**

Cette forme d'inhibition, appelée également inhibition «d'interphase » traduit la formation d'un film tridimensionnel entre le substrat corrodé et les molécules d'inhibiteur. Les inhibiteurs d'interphase ne se contentent ainsi pas d'être adsorbés aux interfaces métal/oxyde et oxyde/électrolyte, mais sont également incorporés dans les couches barrières (en formant des complexes par exemple) ; ainsi ces molécules inhibitrices d'interphase conduisent à des réseaux homogènes et denses présentant de fait une faible porosité et une bonne stabilité [25].

## **II.14. Les essais de corrosion :**

Cette partie décrit les différents montages et les procédures expérimentales utilisés dans les essais de corrosion accélérés réalisés au laboratoire.

Une description des matériaux, de l'électrolyte, et des montages effectués permet, dans un premier temps, de fixer une démarche expérimentale et même d'assurer une reproductibilité des résultats. Les techniques électrochimiques sont à leur tour présentées, de manière à souligner leur intérêt et leur pertinence dans l'étude des inhibiteurs. Les méthodes d'analyse chimique utilisées permettent d'apporter des informations souvent complémentaires aux résultats issus des techniques électrochimiques.

## **II.15. Montage potentiocinétique :**

Le montage potentiocinétique utilisé pour tracer les courbes de polarisation comprend principalement une cellule de corrosion, un potentiostat et un système informatique permettant de faire l'acquisition et le traitement des données.

### **II.15.1. Cellule électrochimique :**

Les mesures électrochimiques sont effectuées dans une cellule en verre contenant l'électrolyte et les trois électrodes : L'électrode de travail, une contre électrode et l'électrode de référence.

L'étude électrochimique est réalisée à la température ambiante et dans un milieu aéré.

Nous avons utilisé un système électrochimique à trois électrodes, dont les caractéristiques sont les suivantes :

#### **Electrode de travail (ET) :**

Elle est constituée d'une plaque en acier d'une surface égal à  $1\text{cm}^2$ . Cet acier est enrobé dans une résine époxy, qui permet de délimiter une section plane (surface étudiée) et qui évite toute infiltration d'électrolyte.

La préparation de la surface consiste à un cycle de polissage réalisé sur une polisseuse de type *Mecapol P 320* avec des papiers abrasifs avec une granulométrie: 180, 400, 600, 800, 1000, 1200, 2000 et 4000 suivi d'un polissage; Jusqu'à l'obtention d'un aspect miroir.

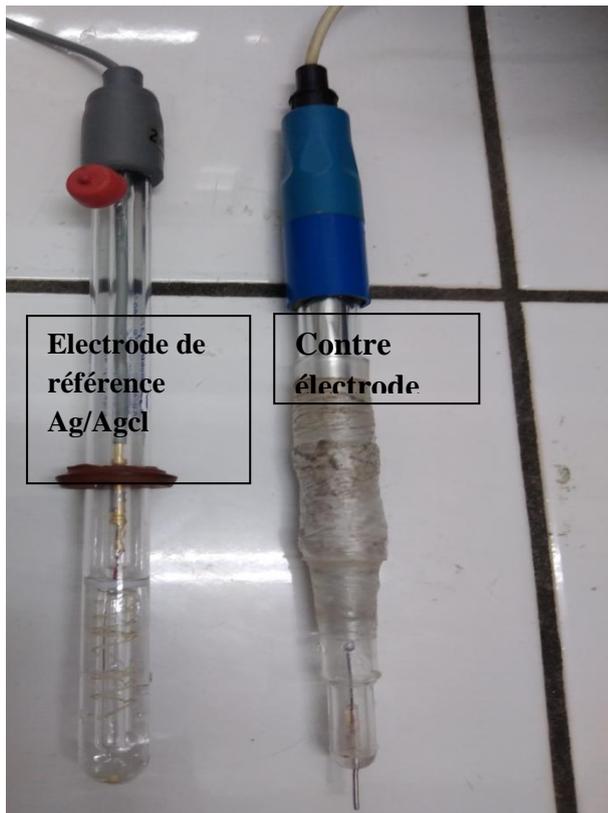
#### **Electrode auxiliaire (Contre électrode CE) :**

La contre électrode est constituée d'une grille de platine de grande surface. Sa position dans la cellule doit tenir compte des lignes du champ électrique, qui sont dans notre cas assez concentrés au voisinage de l'électrode de travail compte tenu des rapports de surface ET / CE.

Ceci minimise la chute ohmique lors des mesures de potentiel entre l'électrode de travail et l'électrode de référence. L'emploi d'une grande surface offre aussi l'avantage de travailler dans les conditions d'une faible polarisation de la contre électrode, ce qui nous permet d'effectuer les mesures électrochimiques sans être gêné par les réactions électrochimiques se déroulant à l'interface de cette électrode.

#### **Electrode de référence (ER) :**

L'électrode de référence possède un potentiel spécifique et constant, ce qui permet d'imposer un potentiel précisément défini à l'électrode de travail. Ceci est important, étant donné que le potentiostat ne permet de contrôler que la différence de potentiel imposé entre deux électrodes. Notons également que de ce fait il est indispensable de mentionner la nature de l'électrode de référence utilisée pour toutes mesures voltamétriques. On utilise l'électrode au chlorure d'argent saturée : Ag/AgCl/KCl<sub>sat</sub>.



**Figure 17 : Les électrodes utilisés dans les essais de la corrosion .**

### II.15.2. Potentiostat :

Les mesures électrochimiques nécessaires pour tracer les courbes de polarisation sont obtenues avec un potentiostat Galvanostat BIOLOGIC SP-300. Cet appareil est un amplificateur régulateur de courant continu. Il permet de régulariser le niveau de tension à une valeur prédéterminée en ajustant la valeur du courant.



**Figure 18 : Potentiostat Galvanostat Biologic SP-300.**

### II.15.3. Système d'acquisition et traitement des données :

Un logiciel EC-Lab a été élaboré afin de contrôler le balayage de potentiel et de lire les valeurs de potentiel sur le circuit électronique. Les données sont par la suite transférées dans un fichier.

### II.16. Préparation des échantillons :

Dans un premier temps, les échantillons métalliques sont taillés de façon à présenter précisément  $1\text{cm}^2$  de surface. Par la suite, ils sont enrobés dans une résine.

Certaines étapes sont impératives avant de procéder à l'enrobage. Celles-ci sont essentielles pour l'obtention d'un bon enrobage :

- L'échantillon doit être nettoyé avant d'être enrobé afin d'améliorer l'adhérence entre la résine d'enrobage et l'échantillon.
- Utiliser de l'acétone ou au moins de l'alcool.
- Ne pas oublier de sécher l'échantillon.
- Le nettoyage des échantillons doit se faire en portant des gants ou à l'aide d'une pince



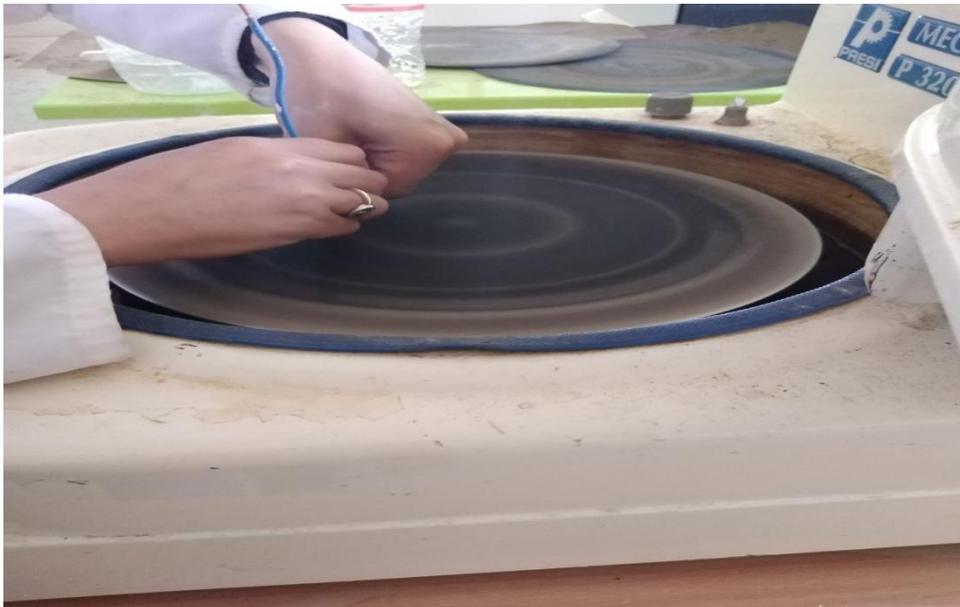
**Figure 19 : Echantillon utilisés dans les essais de corrosion.**

### Polissage des échantillons :

**Le polissage** : La préparation mécanique est la méthode de préparation la plus courante des échantillons.

Au-delà des exigences de la préparation, les objectifs principaux sont énumérés ci-dessous.

- Tous les éléments structurels doivent être conservés.
- La surface doit être exempte de rayures et de déformations.
- Aucun matériau étranger ne doit contaminer la surface de l'échantillon.
- L'échantillon doit être plan et poli miroir si possible.



**Figure 20 : Echantillon pendant le polissage.**

Le processus mécanique de base de préparation de l'échantillon est un enlèvement de matière au moyen de particules abrasives de plus en plus fines au niveau de la surface de l'échantillon jusqu'à obtention du résultat recherché.

Ce montage permet un polissage performant et rapide sur une polisseuse automatique.

Le polissage assure la planéité de l'échantillon et la régularité de l'état de surface. Les disques de polissages utilisés sont à base de carbure de silicium, la lubrification est assurée par un jet d'eau.

## II.17. Préparation de la solution :

Les solutions utilisées pour nos essais électrochimiques sont :

- Cetamine® G810 (Pour N = 10, le dosage est de l'ordre de 80 g/m<sup>3</sup>).
- Le phosphate trisodique (Le dosage est de l'ordre de 5kg/250L)

Tous les essais ont été réalisés à température ambiante (22 C°) avec une vitesse de balayage fixée à 5 mV/s.

## II.18. Les essais électrochimiques :

### • Courbes de polarisation :

Pour déterminer une courbe de polarisation potentiostatique, on applique, à l'aide d'un potentiostat, différents potentiels entre l'électrode de travail et l'électrode de référence. On mesure le courant stationnaire qui s'établit après un certain temps dans le circuit électrique entre cette électrode de travail et une contre-électrode. On trace alors la variation du courant I en fonction du potentiel appliqué E. La courbe ainsi obtenue s'appelle courbe de polarisation stationnaire (I – E), qui peut être aussi tracée de manière automatique en mode Potentiodynamique en choisissant une vitesse de balayage en tension appropriée.

Les courbes (I – E) vont permettre l'estimation de la vitesse de corrosion et d'appréhender la formation du film inhibiteur. En effet, la présence du film formé peut être identifiée à travers la forme de ces courbes et l'intensité des courants enregistrés.

Cette méthode permet aussi de déterminer les paramètres électrochimiques d'un métal au contact d'un électrolyte, notamment la vitesse instantanée de corrosion ( $V_{\text{corr}}$ ), le potentiel de corrosion ( $E_{\text{corr}}$ ), les pentes de Tafel, la résistance de polarisation ( $R_p$ ), les courants limites de diffusion, etc...

Pour déterminer expérimentalement les paramètres électrochimiques, une présentation logarithmique de la densité de courant est mieux adaptée, car elle met en évidence la relation linéaire entre le logarithme de la densité de courant et le potentiel.

## II.19. L'installation de l'essai:

Après avoir connecté les 3 électrodes : Electrode de référence (fil blanc), échantillon de travail (fil rouge) et la contre électrode (fil bleu) (figure 21), l'opération commence par la détermination de la valeur  $E_{OCP}$  (Open Circuit Potentiel), ensuite, on introduit les valeurs de la surface, la densité et la Masse molaire de l'électrode de travail.



**Figure 21 : Montage des Essais de Corrosion Accélérée**

Le but de cet essai est d'avoir une idée sur le comportement du métal dans la solution et de déterminer la valeur du potentielle d'équilibre du matériau étudié.

Après avoir défini la valeur de  $E_{OCP}$ , nous passons à l'essai de Tafel ; l'intervalle de l'essai est à  $E_{OCP}$ :  $\pm 250$  mV. Pour le tracé des courbes  $i = f(E)$ , on fait varier régulièrement le potentiel de l'électrode et on mesure l'intensité  $I$ .

## II.20. Résultats :

Cette section présente les résultats obtenus à partir des essais de corrosion effectués au laboratoire de Génie de l'environnement de l'Université Badji Mokhtar Annaba.

### II.20.1. l'influence du phosphate trisodique :

Les résultats des essais de corrosion accélérée sont regroupés dans le tableau 04 :

**Tableau 05 : L'influence de la concentration du phosphate trisodique sur les paramètres de la corrosion :**

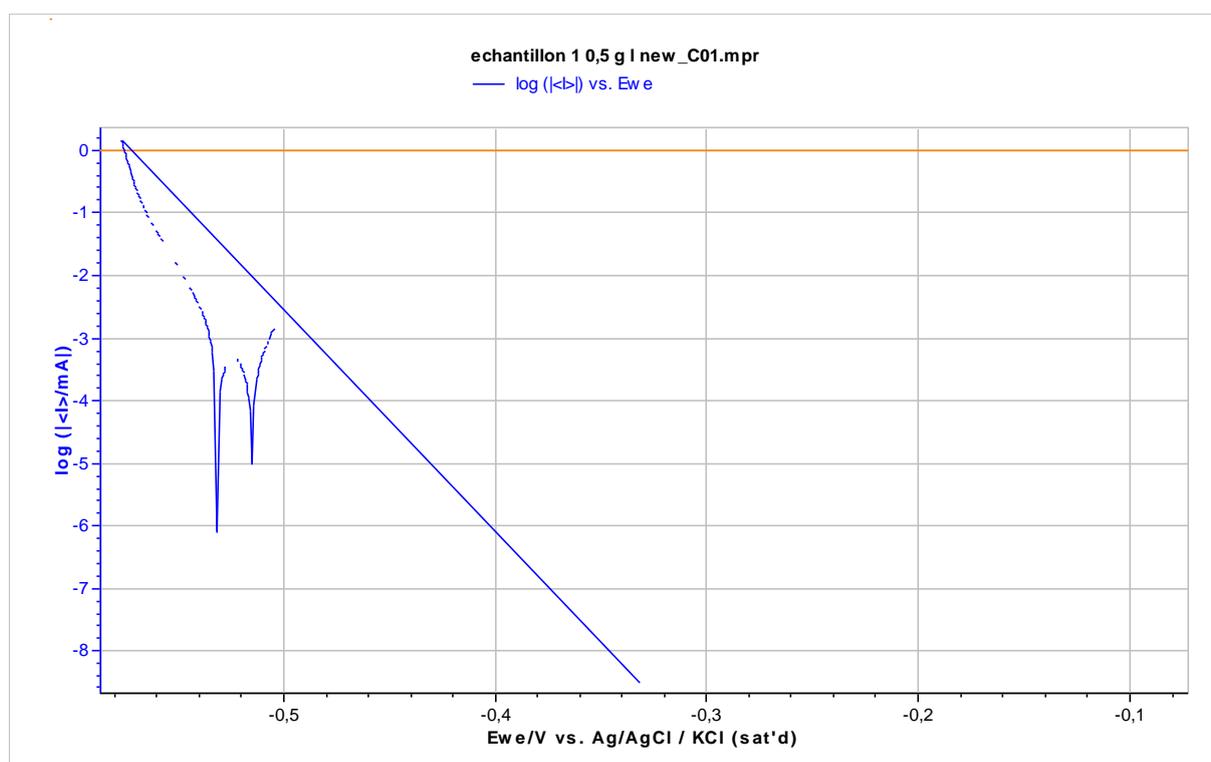
Concentration (g/l)	Vitesse de la corrosion (mm/an)	Intensité ( $\mu\text{A}$ )	Potentiel (mV)
0,5	0,708577	41,147	-687,039
01	0,718824	41,742	-599,206
02	0,426934	24,792	-672,209
03	0,357	20,76	-648,466
<b>05</b>	<b>0,053229</b>	<b>3,091</b>	<b>-728,587</b>

Le tableau 05 présente la variation du courant et de la vitesse de la corrosion en fonction de la concentration du phosphate trisodique.

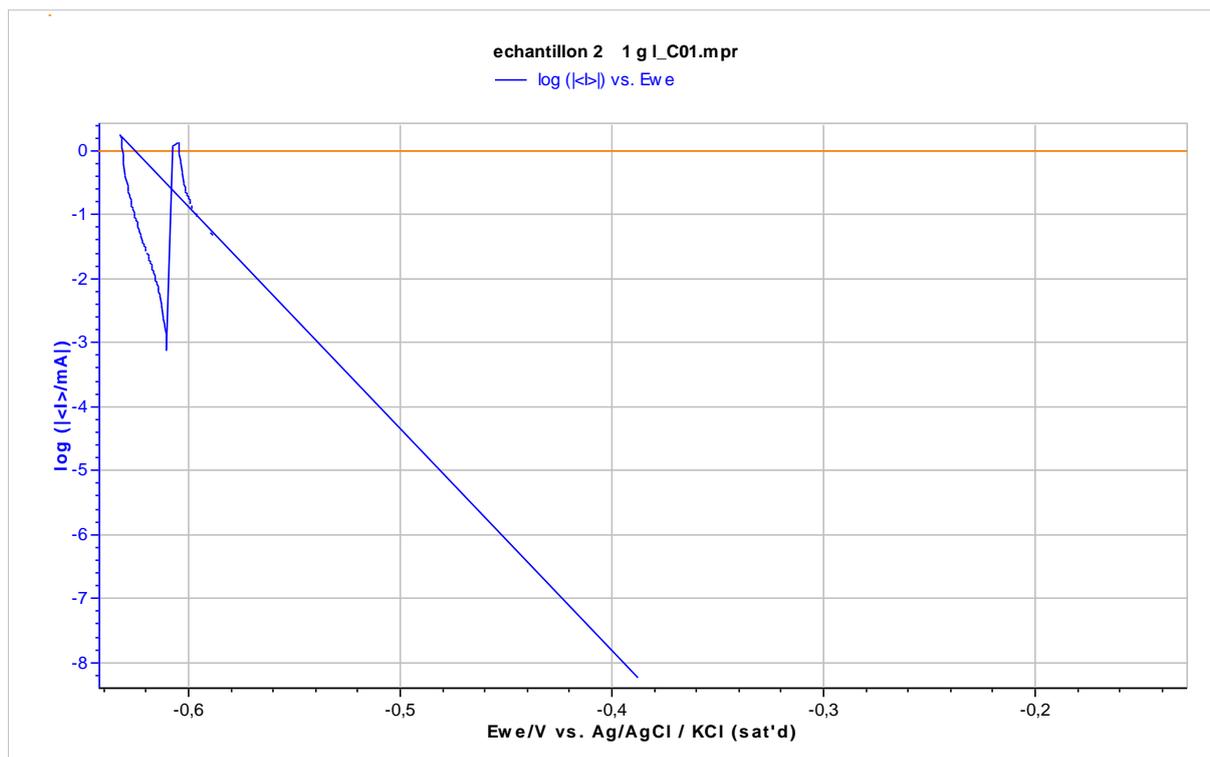
Nous constatons que les intensités du courant de corrosion diminue en présence de l'inhibiteur jusqu'à une concentration égale à 05 g/l ou on note une valeur minimale égale à 3,091  $\mu\text{A}$ .

D'après le tableau 04, on remarque que après l'addition de l'inhibiteur, on constate que la vitesse de corrosion ( $V_{\text{corr}}$ ) diminue, la densité de courant pour une concentration de 05g/l de « Phosphate trisodique » atteint (3,091  $\mu\text{A}$ ) qui représente la

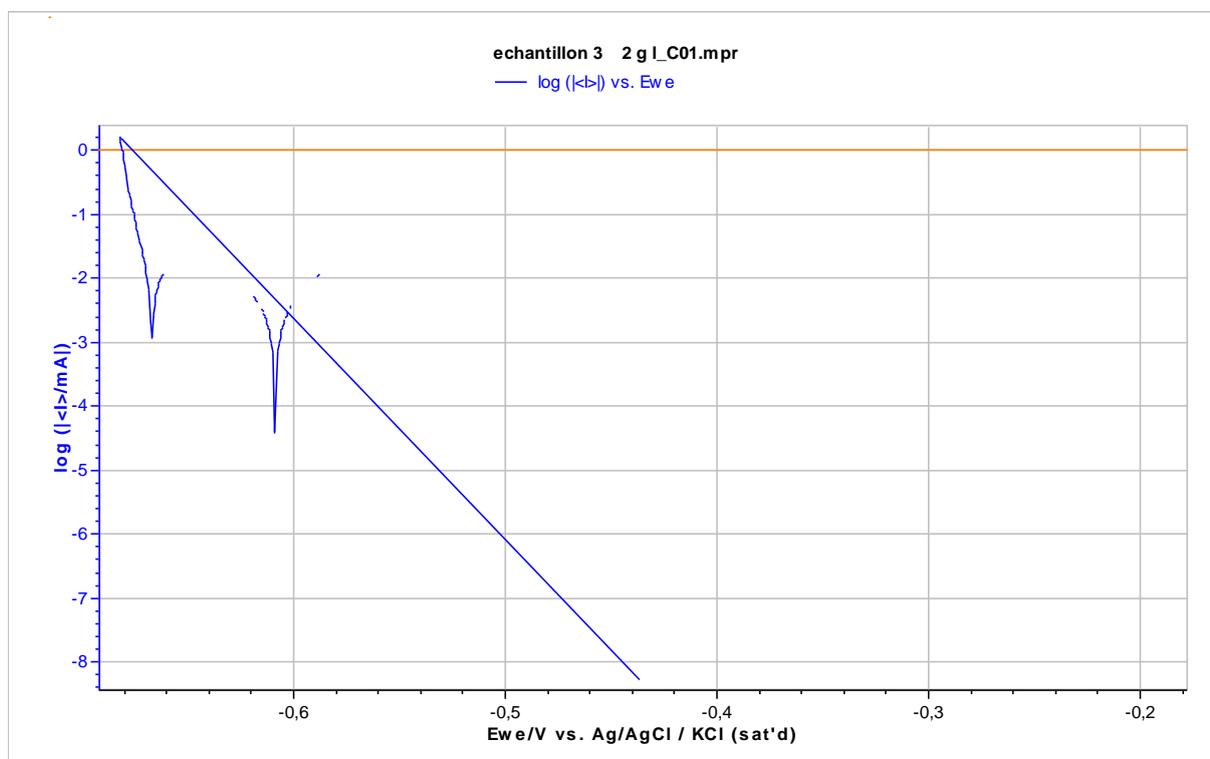
densité la plus faible ce qui exprime le pouvoir protecteur de « Phosphate trisodique » à empêcher le phénomène de la corrosion dans l'eau d'alimentation de chaudière.



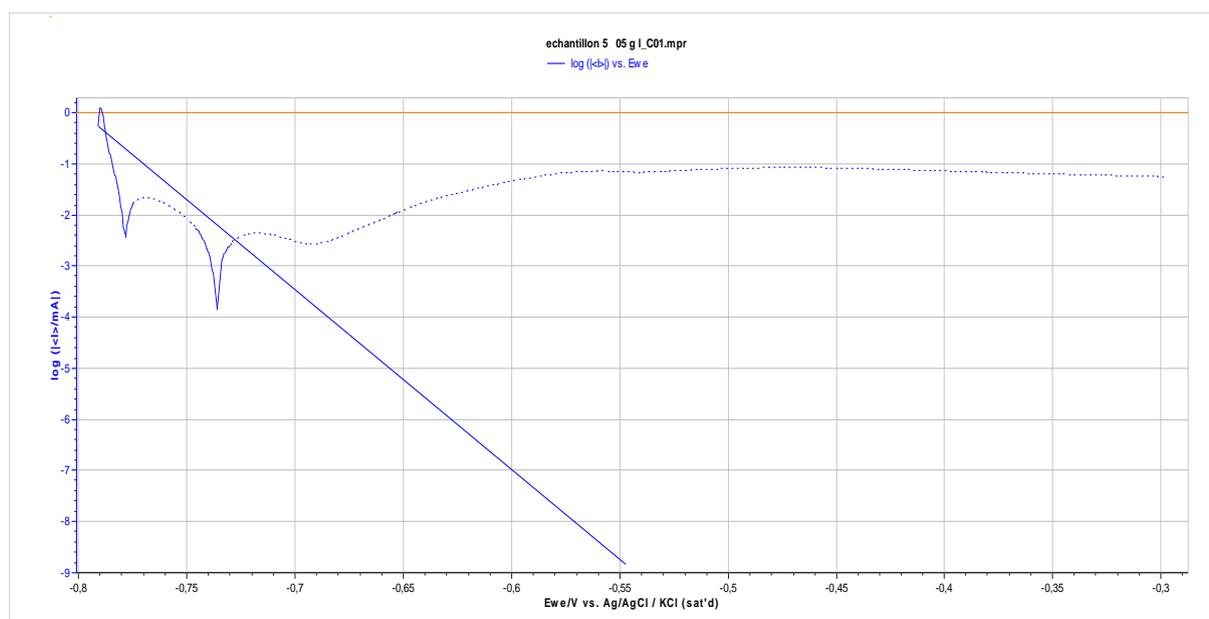
**Figure 22 : Courbe de tafel (0,5 g/l phosphate trisodique).**



**Figure 23 : Courbe de tafel (01 g/l phosphate trisodique).**



**Figure 24 : Courbe de tafel (02 g/l phosphate trisodique).**



**Figure 25 : Courbe de tafel (05 g/l phosphate trisodique).**

### II.20.2. L'influence de la Cétamine® :

Les résultats des essais de corrosion sont regroupés dans le tableau 05 :

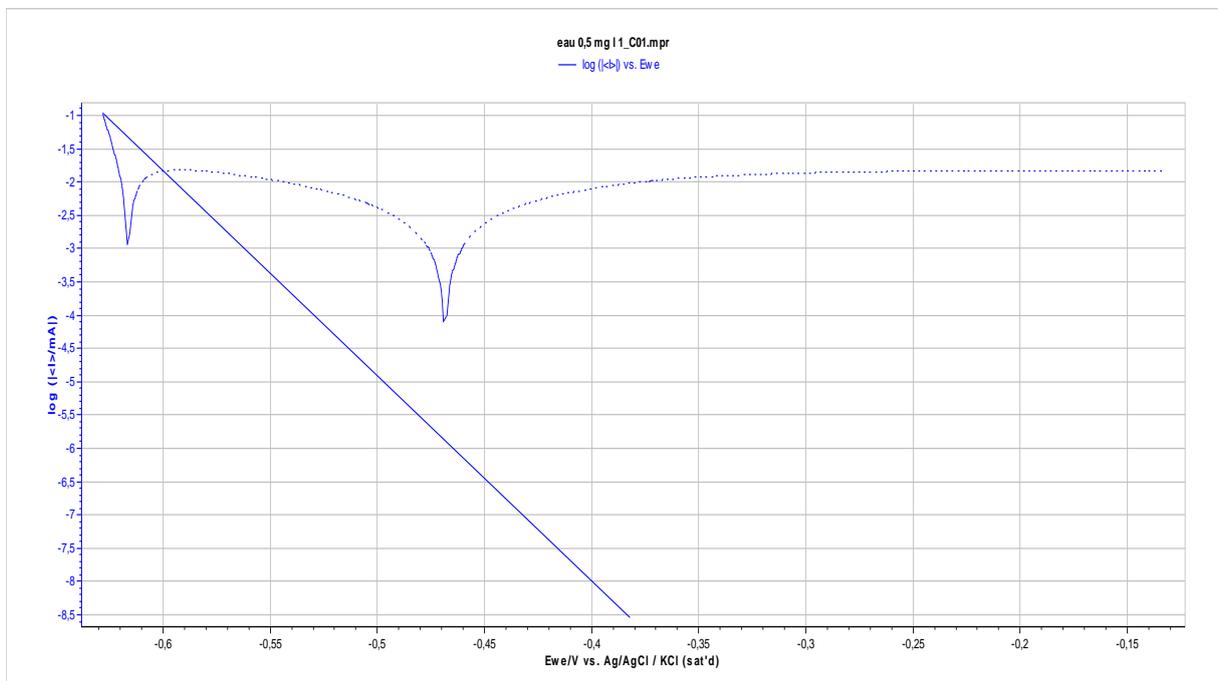
**Tableau 06 : L'influence de la concentration du Cétamine® sur les paramètres de la corrosion :**

Concentration (mg/l)	Vitesse de la corrosion (mm/an)	Intensité ( $\mu\text{A}$ )	Potentiel (mV)
Eau pur	1,06768	0,062	-272,119
0,5	0,087446	5,078	-408,567
01	0,0829173	4,815	-432,581
<b>1,5</b>	<b>0,013259</b>	<b>0,77</b>	<b>-497,376</b>

Le tableau 06 présente la variation du courant et de la vitesse de la corrosion en fonction de la concentration de la Cétamine®.

Nous constatons que les intensités du courant de corrosion diminue en présence de l'inhibiteur jusqu'à une concentration égale à 1,5 mg/l ou on note une valeur minimale égale à 0,77  $\mu\text{A}$ .

D'après le tableau 04, on remarque que après l'addition de l'inhibiteur, on constate que la vitesse de corrosion ( $V_{\text{corr}}$ ) diminue, la densité de courant pour une concentration de 1,5g/l de «Cétamine®» atteint (0,77  $\mu\text{A}$ ) qui représente la densité la plus faible ce qui exprime le pouvoir protecteur de « Cétamine® » à empêcher le phénomène de la corrosion dans l'eau d'alimentation de chaudière.



**Figure 26 : Courbe de tafel (0,5mg/l Cétamine)**

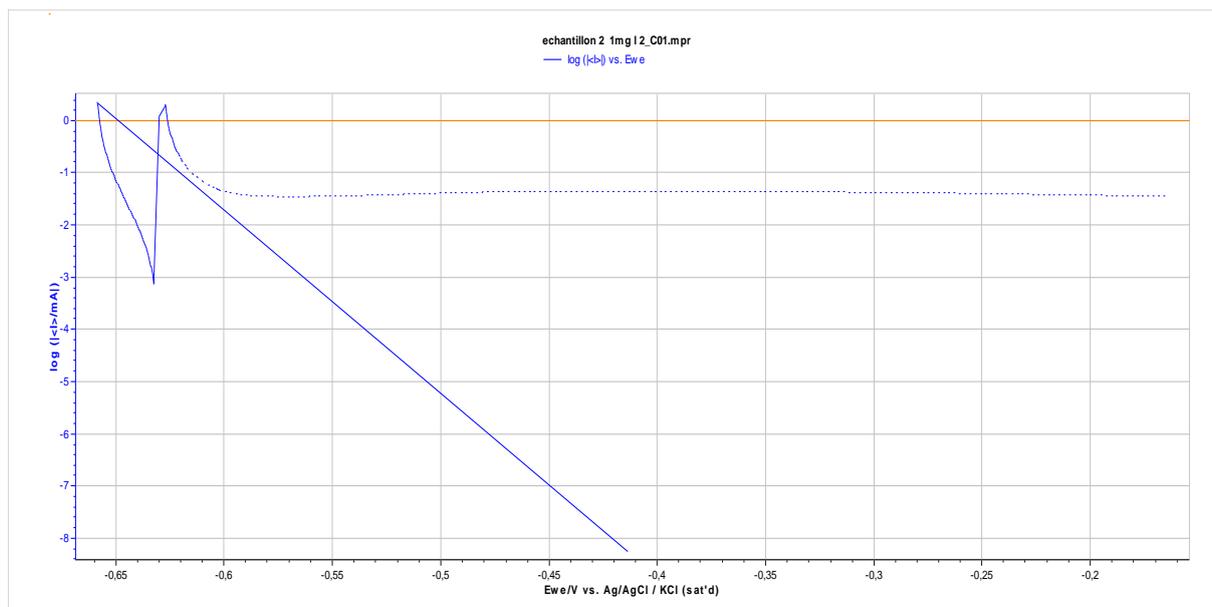


Figure 27 : Courbe de tafel (01 mg/l Cétamine)

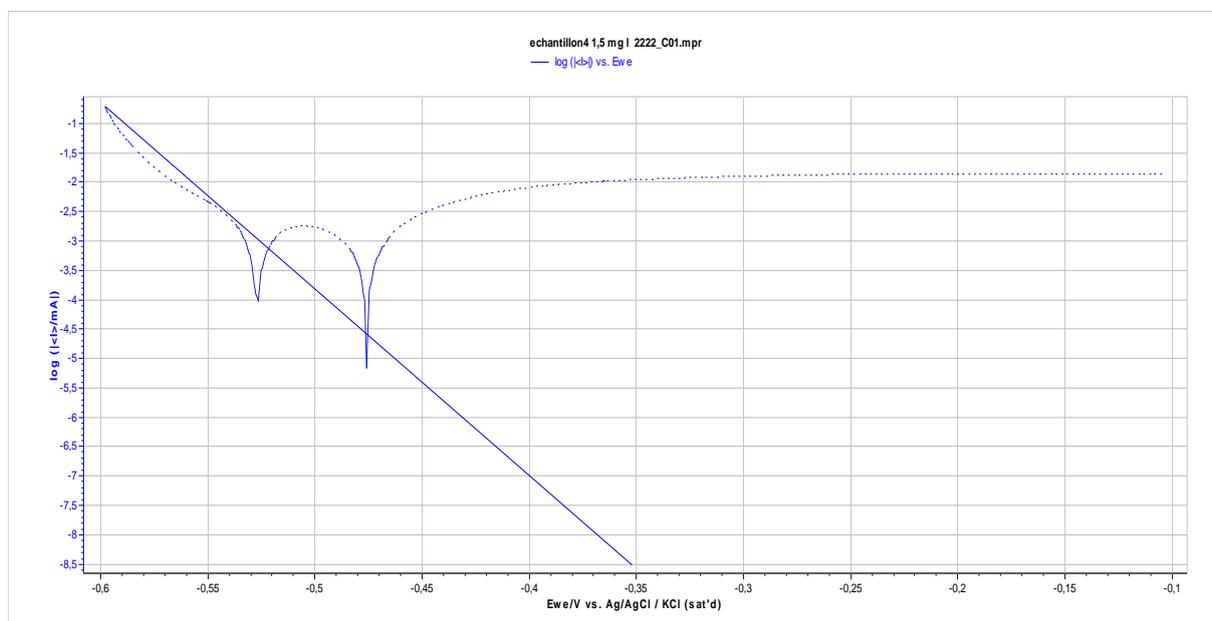


Figure 28 : Courbe de tafel (1,5 mg/l Cétamine)

**II.21. Conclusion :**

Cette étude est consacré à l'étude de l'effet des inhibiteurs de « Cetamine » et de « Phosphate trisodique» sur la corrosion de l'acier dans l'eau de chaudière.

Une étude de l'influence de la combinaison des deux produits sur la vitesse de corrosion semble prometteuse, en effet nous avons effectués un teste qui n'a pas abouti par ce que la préparation des échantillons demande plus du temps et une programmation au laboratoire très chargé.

## Conclusion Générale :

Durant notre stage nous avons été encouragés à étudier l'inhibition de la corrosion au niveau de la chaudière Babcock du complexe Fertial Annaba.

L'étude expérimentale effectuée est basée sur l'analyse des échantillons prélevés à l'entrée et à la sortie de la centrale II , c'est à dire le cheminement de l'eau de mer vers la centrale, où elle subit différents traitement, jusqu'à la sortie pour alimenter les unités de production d'ammoniac, de nitrate et de nitrite et l'unité de production d'engrais à base d'urée et à base d'ammoniac.

Les résultats d'analyse obtenus des eaux d'alimentation de la chaudière et des tours de refroidissement démontrent que la plupart des paramètres qu'on a suivi tels que : TH, pH...etc, sont approximativement dans les limites des normes, cela montre que le traitement de l'eau de mer est significatif et permet des une exploitation meilleure de la chaudière BABCOCK , néanmoins des problèmes de bouchage et d'éclatement de tubes de chaudière.

En générale, l'utilisation des inhibiteurs de corrosion et d'entartrage sont un moyen efficace pour une minimisation des dépôts de tartres et de corrosion dans les installations de production de vapeurs, c'est la clé d'une exploitation meilleure et efficace. Un bon traitement des eaux industrielles destinés pour l'alimentation des chaudières protège celles-ci contre l'attaque agressive de l'eau.

Nous constatons que les doses suggérés aux industrielles sont respectés mais pas convenablement, en effet l'ajout de l'inhibiteur ce fait par ajout de la quantité nécessaire une seul fois par jour, nous avons suggérés l'installation d'une pompe doseuse qui permettra le travail avec la même concentration en inhibiteur.

### Références bibliographie :

[1] R.MOUSSAOUI, «PROTECTION CATHODIQUE DE L'ACIER AU CARBONE PAR UN COURANT IMPOSE ET ANODE SACRIFICIELLE (Al-5%Zn-0.4%Sn) DANS NaCl 3%» Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme Master, Département de Chimie, Université MOULOUD MAMMARI DE TIZI-OUZOU FACULTE DES SCIENCES 2013.

[2] R.HADRI, « Etude du mécanisme de corrosion atmosphérique à long terme des aciers: nouvelles stratégies de protection des aciers du patrimoine culturel» Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de doctorat, Département Chimie et Physique des Solides et des Surfaces Ecole doctorale : SESAMES 2012.

[3] : H.ZEGHAYOUD, «Modélisation et simulation du réacteur de synthèse d'ammoniac Ferial -Annaba» Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme Master, Département Génie des procédés, Université badji Mokhtar-Annaba 2010.

[4] : M.BEZZAH, «Calcul de rendement de chaudière BAB COCK centrale II Ferial Annaba» Mémoire fin d'étude pour l'obtention du diplôme Master, Département génie des procédés Université badji Mokhtar-Annaba, 2014.

[5] : M.GUEBLA & Z.LATRECHE, «Etude qualitative de l'eau d'alimentation des équipement du complexe FERTIAL -ANNABA», Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme Master, Département Génie des procédés, Université badji Mokhtar-Annaba, 2018.

[6] : Dégréeront .centrale utilité II-Manuel d'entreprise et de conduit 1984.

[7] : K.YAGHLA, «Etude qualitatif des eaux de la section déminéralisation de l'unité centrale utilité II Ferial - Annaba», Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme Master, Département Génie des procédés, Université badji Mokhtar-Annaba, 2014.

[8] : R.BOUREGHIDA & W.SALIANO, «analyse simulation du réchauffeur de saumure de l'unité centrale utilité II FERTIAL, ANNABA», Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme Master, Département Génie des procédés, Université badji Mokhtar-Annaba, 2014.

- [9] : T.SIAGHI, «Dégazage les eaux d'alimentation des chaudière BAB-COCK FERTIAL», Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme Master, Département Génie des procédés, Université badji Mokhtar-Annaba, 2014.
- [10] : Fertial. Annaba. Cite Official. produit SSP. Disponible sur <https://www.fertial-dz.com/fiches/Fiche%20SSP.pdf> (10/06/2019)
- [11] : DIETER LANDOLT. Traité des matériaux, corrosion et chimie de surface des métaux. Processus Polytechniques et Universitaires Romandes, 1997.
- [12] : F. Draghi, (2005), «L'ortie dioïque (Urtica dioica L.) ; Etude bibliographique», France, Thèse de doctorat, Université de Nancy I.
- [13] : M. Garcia, F. Ruben, K.S. Brown, (1976), *Phytochemistry*, 15, 1093.
- [14] : F.Abdelali. (2007), thèse de doctorat, université mentouri Constantine.
- [15] : Mohamed Chaouki NEBBAR (2010), mémoire Magistère, Etude de la tenue à la Corrosion de l'acier N80 et évaluation de l'efficacité d'un inhibiteur de corrosion Université Mohamed Khidder.
- [16] : Al HAJJAR, H. (2008, 23 juin). Applicabilité et efficacité d'une protection galvanique aux aciers de précontrainte : Génie civil. Toulouse, France : Université Paul Sabatier
- [17] : ALIOUALI, A. (2006). Etude de comportement à la corrosion de l'aluminium dans différents milieux : Génie mécanique (science des matériaux). Université de Batna2.
- [18] : BERANGER.G, MAZILLE.H. (2002, juin). Corrosion de métaux et alliages Mécanique et ingénierie des matériaux. France. N° 54576 .p 20.
- [19] : PINEAU, S. DUPONT,I.(2002). *Matériaux et technique*. N°9.10.
- [20] : Benali, O.(2007). 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.
- [21] : BANSAAADA, S. (2016).Corrosion : Ingénierie civile et hydraulique. Biskra Algérie : Université de Biskra.
- [22] : R.BEN MOHAMED, «Corrosion des acier inoxydables 316L», Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme Master, Département Métallurgie et génie de matériaux, Université badji Mokhtar-Annaba, 2019.

[23] : M. BOUDJELAL, «Contribution à l'étude de l'effet de la corrosion sur les échangeurs», Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme Master, Département Métallurgie et génie de matériaux, Université badji Mokhtar-Annaba, 2019.

[24] : NACE Glossary of Corrosion Terms. *Matériels Protection*, 1 (4) (1965) 79

[25] : N. BRINIS, «Application des polymères conducteurs à l'inhibition de la corrosion de l'acier : Synthèse d'inhibiteurs solubles et élaboration de revêtement auto-cicatrisants», Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme Master, Département Génie des procédés, Université badji Mokhtar-Annaba, 2009.

[26] : G.H. Nancollas ; « Phosphate Precipitation in Corrosion Protection Reaction Mechanisms»; *Corros.*, 39 (3) (1983) 77.

# **ANNEXE**

INFORMATION PRODUIT – CETAMINE® G 810



## Cetamine® G 810

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

#### Applications principales

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

Cetamine® G 810 est efficace contre :

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

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

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

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

#### Description générale

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

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

Cetamine® G 810 NE CONTIENT PAS DE CYCLOHEXYLAMINE.

#### Aspect

Liquide opalescent blanchâtre à légèrement jaunâtre

#### Paramètres physico-chimiques

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

#### Impact sur l'environnement

Produit non volatil, non inflammable.

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

Pour des informations détaillées, consulter la fiche de sécurité.

#### Mode d'action

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

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

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

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

Cetamine® G 810 améliore les échanges thermiques

Cetamine® G 810 limite le primage.


**INFORMATION PRODUIT – CETAMINE® G 810**
**Dosage**

Le dosage est proportionnel aux appoints. Il dépend également du taux de concentration de l'eau au sein du générateur de vapeur.

Ce taux de concentration "N" est normalement défini par le rapport du TAC admissible en chaudière sur celui de l'eau d'appoint.

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

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

**Mode d'emploi**

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

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

**Mode de suivi**

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

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

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

La méthode de dosage peut être fournie par nos soins.

La teneur à maintenir sera déterminée par notre technicien.

**Précautions particulières**

Le produit pur est basique.

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

Lire les étiquettes et informations liées au produit avant utilisation.

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

**Stockage et conditionnement**

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

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

Pour les conditionnements disponibles, merci de nous consulter.

La manipulation des produits, leur teneur en sels et leur application, sont conformes à leur destination, aux conseils et précautions d'emploi, ne sauront engager la responsabilité de votre Société. Les particularités et conseils d'utilisation ci-dessus sont communiqués à titre indicatif et ne constituent pas des règles strictes. Nos Services Techniques sont à votre disposition pour vous conseiller sur la teneur en sels de nos produits, adaptés à vos applications spécifiques. Les informations figurant dans ce document ne peuvent être copiées, réimprimées ou utilisées sans la permission écrite de Kurita.

Headquarters:  
Kurita Europe APW GmbH  
Gustav-Klimmer-Str.  
D - 67226 Ludwigshafen  
Tel. +49-621-5708-0100  
Fax. +49-621-5708-5430

Kurita France SAS  
53 rue de l'Estang  
9381 A  
93780 L'Estanoy  
Tel. +33 (0)4 78 43 42 87  
Fax. +33 (0)4 78 83 24 70  
E-mail: contact@kurita.eu

Revision Date: 2015-02-07

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