



Université Mohamed Khider de  
Biskra Entrez votre faculté  
Entrez votre département

# MÉMOIRE DE MASTER

**Domaine : Sciences et Techniques**

**Filière : Génie Mécanique**

**Spécialité : Construction Mécanique**

Réf. :

---

Présenté et soutenu par :

**ABBOUD Faten**

Le :

## **Etude de la corrosion pour différents métaux ( cuivre + aluminium) en utilisons les inhibiteurs**

---

### **Jury :**

Pr.	Chebbah Mohamed-Said	Pr	Université de Biskra	Président
Dr.	Djoudi Tarek	MCA	Université de Biskra	Examineur
Dr.	Boulgroun Abdel Malek	MCA	Université de Biskra	Rapporteur

Année universitaire : 2020 - 2021

## **Remerciement**

*Je remercie Monsieur A. Boulagroune grâce à ces critiques, conseils et orientations. Je tiens encore à le remercier pour le profit que j'ai pu tirer de sa grande expérience.*

*Je remercie tous les professeurs qui m'ont enseigné au cours de cette année*

*Un grand merci à toute l'équipe de laboratoire métallurgie.*

*Je remercie tous les collègues de classe.*

*Et enfin à ma gentille mère et père qu'ALLAH les protège, je les souhaite une longue vie pleine de bonheur et de santé, à ma cher femme pour son soutien et aide le long de toute ces années jusqu'à cette instant que j'écris ces lignes.*

## Dédicaces

*À mon père*

*À ma mère*

*À mes frères, mon fiancé et mes amis*

## Résumé

Cette étude traite des problèmes de résistance à la corrosion du cuivre et de l'aluminium dans différentes solutions. L'utilisation d'inhibiteur est l'une des méthodes les plus largement utilisées pour protéger les métaux de la corrosion. La plupart des inhibiteurs sont principalement constitués de molécules actives qui agissent par adsorption à la surface du métal et forment une couche protectrice contre la corrosion. La résistance à la corrosion et l'effet de l'ajout d'inhibiteur sur la corrosion de l'aluminium et du cuivre ont été étudiés par la méthode de la masse perdue.

**Mots- clé :** corrosion , cuivre, aluminium ,masse perdue

## المخلص:

تناولنا في هذه الدراسة مشاكل مقاومة التآكل النحاس و المنيوم في مختلف محاليل. يعد استخدام المثبطات احد اكثر الطرق استخدمها لحماية المعادن من التآكل. تتكون معظم مثبطات بشكل اساسي من جزيئات نشطة تعمل عن طريق الامتزاز على سطح المعدن وتشكل طبقة واقية ضد التآكل. تمت دراسة مقاومة التآكل و تأثير اضافة المثبطات على تآكل المنيوم و نحاس بواسطة الكتلة مفقودة.

**الكلمات المفتاحية:** تآكل، نحاس، المنيوم، الكتلة مفقودة

**Liste des tableaux**

Tableau III.1 Changement de masse d'aluminium en fonction du temps plusieurs solutions différentes. .... 27

Tableau III.2 Calcule la masse perdue entre la masse initiale et la masse final  $\Delta m(g)$  ..... 28

Tableau III.3 : Changement de masse de cuivre en fonction Du temps plusieurs solutions différentes. .... 29

Tableau III.4 Calcule la masse perdue entre la masse initiale et la masse final  $\Delta m(g)$ ..... 29

**Liste des figures**

Figure I.1 Exemple caractéristique d'une corrosion d'un alliage d'aluminium par un Couplage galvanique avec un acier inoxydable (une vis) .....	9
Figure I.2 Corrosion sous contrainte [10] (1) Corrosion inter granulaire ; (2) Corrosion transgranulaire .....	10
Fig. 1.3. Piqûration d'une plaque .....	11
Figure 4 : Cellule électrochimique .....	12
Figure II.3: Diagramme d'Evans.....	16
Figure II.1 : Schéma de polisseuse utilisé dans le polissage mécanique .....	21
Figure II.2: Dispositif expérimental de la masse perdue .....	23
Figure II.3: Dispositif expérimental de la masse perdue .....	23
Figure II.4 : Balance électronique de type Sartorius. ....	24
Figure III.1: Changement de masse d'aluminium en fonction du temps plusieurs solutions différentes. ....	28
Figure III.2: Changement de masse de cuivre en fonction Du temps plusieurs solutions différentes. ....	30

**Table des Matières**

Remerciement.....

Dédicaces.....

Résumé .....

Liste des tableaux .....

Liste des figures.....

Table des Matières.....

Introduction générale..... 1

**Chapitre I : Généralité sur la corrosion**

I.1. Introduction ..... 4

    I.1.1. Historique ..... 5

I.2.-Définition de la corrosion..... 6

I.3-Types de corrosion : ..... 7

I.4. ESSAIS DE CORROSION ..... 11

I.5. MOYENS DE PROTECTION ..... 14

I.6. Classification par domaine d'application..... 16

I.7. Moyens de protection contre la corrosion ..... 18

I.8. Conclusion ..... 19

**Chapitre II: Procédure expérimentale**

II.1. Introduction..... 21

II.2. Polissage mécanique ..... 21

II.3. Techniques de caractérisation ..... 22

    II.3.1.Technique de la masse perdue..... 22

II.4. Deuxième technique de la masse perdue ..... 22

    II.4.1. Manipulation de la technique de la masse perdue..... 22

II.5. Conclusion ..... 25

Chapitre III : Résultats et discussion

III.1. Introduction .....	27
III.2. Méthode de la masse perdue.....	27
III.2.1. Milieu (HCL- INHIBITEUR -sel+EAU -H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> -).....	27
III.5. Conclusion.....	31
Conclusion générale .....	33
Bibliographie .....	35

# *Introduction Générale*

## Introduction générale

La plupart des conceptions des systèmes industriels incluent l'effet de la corrosion sur la durée de vie des équipements. La corrosion affecte la plupart des secteurs industriels et ces nuisances sont chiffrées à des milliards de dollars chaque année.

Avec le développement industriel et l'utilisation croissante du cuivre et aluminium, l'oxydation de ces matériaux a nécessité la mise au point de nouveaux alliages toujours plus performants et résistants à la corrosion : cuivre en font parties. Au cours des 40 dernières années, de nombreux scientifiques se sont mobilisés pour étudier, comprendre et limiter ces phénomènes de corrosion, dont les enjeux sont énormes. La corrosion concerne en effet toutes les branches des activités industrielles : les principales qui sont touchées sont l'industrie navale, l'industrie aérospatiale, le secteur nucléaire, le transport, le bâtiment, et l'industrie pétrochimique.

En termes de protection, Il existe plusieurs méthodes disponibles pour protéger les matériaux (et surtout les métaux) de la corrosion dans les milieux agressifs, comme l'utilisation d'une barrière de protection, la galvanisation, la protection cathodique, l'utilisation des solutions antirouille ou des inhibiteurs de corrosion. L'utilisation des inhibiteurs pour empêcher le processus de dissolution des métaux reste une application inévitable et très répandue, elle constitue un moyen pratique et économique pour lutter contre la corrosion. Inhibiteurs pour empêcher le processus de dissolution des métaux reste une application

Une grande partie des sommes d'argent investies dans la lutte anticorrosion est utilisée Pour le développement de nouveaux alliages plus résistants à la corrosion, plus particulièrement à la piqûration et à la corrosion sous contraintes, ces deux formes de corrosion sont en effet plus dangereuses car sournoises et mal contrôlables. Elles sont surtout comprises, du fait de leur complexité. Beaucoup de choses sont connues, grâce

Aux- techniques de la masse perdue,

Mais il reste que les phénomènes régissant l'initiation de la corrosion localisée seront mal cernés, l'élaboration de nouveaux matériaux résistants à ce type de corrosion sera basée sur une démarche semi-empirique, donc longue et coûteuse.

Le thème de recherche entrepris consiste en une étude comparative de la corrosion de pour deux types de matière cuivre et aluminium. Ce sujet demeure d'actualité tant son importance est grande dans les domaines d'application de ces matière.

Cette étude comprend quatre chapitres : .

- Dans le premier chapitre, nous présentons une étude générale sur la corrosion.
- Dans le deuxième chapitre, il étudie les étapes des travaux pratiques et nous expliquons les techniques expérimentales utilisées : la technique de la masse perdue
- Nous exposerons dans Le troisième chapitre, les différents résultats obtenus et leur interprétation.
- Enfin, le travail réalisé est parachevé par une conclusion générale.

***Chapitre I :***  
***Généralité sur la corrosion***

## I.1. Introduction

La corrosion est le phénomène suivant lequel les métaux ont tendance, sous l'action d'agents atmosphériques ou de réactifs chimiques, à retourner à leur état original d'oxyde, carbonate, plus stable par rapport au milieu considéré, et ainsi à subir une détérioration de leurs propriétés. Le problème de la corrosion a pris de nos jours une importance considérable, étant donnée l'utilisation de plus grande des métaux et alliages dans la vie moderne. L'étude de la corrosion se situe à croisée de divers domaines : Electrochimie, physique du solide, métallurgie, chimie, physique, thermodynamique... outre son intérêt scientifique interdisciplinaire, elle répond à un enjeu industriel important.

## I.1.1. Historique

L'élément a été découvert en 1825. C'est l'élément métallique le plus présent à la surface de la terre. L'aluminium a connu un développement spectaculaire depuis sa naissance en 1954 symbolisé par la présentation à l'académie des sciences, par le chimiste Français Saint Claire Deville, d'un petit lingot réalisé par voie chimique. Mais La véritable début du développement industriel de l'aluminium et ces alliages se produit en 1886 avec l'invention du procédé d'électrolyse de l'aluminium par Paul Héroult en France et Charles

Martin Hall aux Etats-Unis .L'aluminium est maintenant il représente le premier métal non ferreux. [1]

Le cuivre est un élément chimique de symbole Cu et de numéro atomique 29. Il est naturellement présent dans la croûte terrestre, en quantités variables sous forme de traces mélangées à d'autres minerais en majeure partie sous forme de pyrite de cuivre ou chalcopryrite ( $S_2FeCu$ ), de cuprite ( $Cu_2O$ ), et de malachite ( $Cu_2(OH)_2CO_3$ ). Il constitue environ  $7 \times 10^{-3}$  % de la lithosphère, dont le plus abondant est la pyrite cuivreuse ( $S_2FeCu$ ).

Il est le deuxième en importance parmi les métaux non ferreux à être consommé. C'est un métal rouge orange, brillant, noble, peu oxydable et susceptible d'un très beau poli. Le cuivre est un élément métallique de symbole Cu ; il appartient au groupe (IB) de la classification périodique des éléments.

Il cristallise dans un système cubique à faces centrées et fait partie des éléments du bloc "d" appelés couramment les éléments de transition. C'est, après l'argent, le meilleur conducteur de la chaleur et d'électricité car sa résistivité électrique est très faible.

Il possède 34 isotopes et est constitué de 2 isotopes stables :  $^{63}Cu$  (69,17%),  $^{65}Cu$  (30,83%). Il peut donner les ions colorés paramagnétiques tels les complexes cuivriques (hydrates, amines), lorsque ces derniers ont un électron célibataire et ont une structure  $dsp^2$ . L'ion  $Cu^+$  est incolore et diamagnétique, il ne donne pas d'hydrates et ses complexes sont peu stables ( $CuCl$ ). Tandis que l'ion  $Cu^{+2}$  en solution aqueuse a une couleur bleue à bleu-vert, il peut

exister sous forme de cations hexagonaux ( $[Cu(H_2O)_6]^{+2}$ ) [2].

**I.2.-Définition de la corrosion**

1- On peut dire qu'il n'existe pas une définition précise de la corrosion étant donnée la Diversité des environnements rencontrés (aqueux, biologique, avec ou sans contrainte mécanique, etc.).

En général, la corrosion d'un métal est l'interaction entre ce métal et son environnement. Cette interaction conduit à une modification mesurable du matériau et de ses propriétés, et à Une dégradation d'une propriété fonctionnelle du métal (propriété mécanique, esthétique, Électrique, etc.).

Un système élémentaire de corrosion est constitué du couple matériau-environnement en Contact duquel il évolue, et ce dans des conditions physico-chimiques et mécaniques bien Déterminées.

2- Ce phénomène, par lequel les métaux et alliages subissent de leur environnement

une attaque (qui le fait retourner à l'état d'ion métallique, puis d'oxyde, de sulfure, de carbonate, etc., est l'état qu'ils avaient sous leur forme originelle dans les minerais), se traduit par des réactions d'oxydoréduction :



Où  $O_x$  et  $R_{ed}$  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 présence et qu'il exist 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.

### **I.3-Types de corrosion :**

Selon la nature de l'environnement et le comportement du métal, on peut définir le type de corrosion. En général, on peut résumer les différents processus de la corrosion comme suit :

#### **I.3.1. Corrosion chimique (sèche)**

La corrosion chimique est l'attaque directe du métal par son environnement. Ce type de corrosion se développe dans une solution non électrolyte ou sur action de gaz ( $O_2$ ,  $H_2S$  et  $CO_2$ ). Lorsque le réactif est gazeux ou que cette corrosion se produit à haute température, elle est alors appelée : corrosion sèche ou corrosion à haute température [3,5].

L'attaque d'un métal par un autre métal liquide (Hg), par un sel fondu ou par une solution non aqueuse (Al dans  $CCl_4$ ) peut être considérée comme une corrosion chimique.

Elle est généralement rencontrée dans les industries produisant ou utilisant les acides [4].

#### **I.3.2. Corrosion électrochimique (humide)**

Si le réactif est liquide, il est en général accompagné d'une corrosion électrochimique qui est produite essentiellement par l'oxydation d'un métal sous forme d'ions ou d'oxydes et la réduction des agents corrosifs existants dans la solution électrolyte. Par ailleurs, elle se produit par des transferts électroniques entre un métal et une solution électrolytique à son contact (circulation d'un courant électrique). L'existence de ces hétérogénéités, soit dans le métal ou dans le réactif, détermine la formation d'une pile et de ce fait, un courant électrique circule entre anodes et cathodes dans le réactif et les zones qui constituent les anodes sont attaquées (corrodées). Elle nécessite la présence d'un réducteur ;  $H_2O$ ,  $H_2$  .... Sans celui-ci, la corrosion du métal (réaction anodique) ne peut se produire [3,7].

### **I.3.3. Corrosion biochimique (bactérienne)**

La corrosion bactérienne est due à la présence de colonies importantes de bactéries, dites anaérobiques, qui se développent dans les eaux contenant des sulfates. La lutte contre cette forme de corrosion est à l'heure actuelle essentiellement d'ordre biologique et est réalisée par injection de produits bactéricides dans les milieux corrosifs [7].

### **I.3.4. Corrosion inter granulaire**

C'est une attaque sélective aux joints de grains, par suite d'hétérogénéités locales :

Appauvrissement de l'un des constituants ou au contraire, enrichissement par suite de précipitation lors d'un traitement thermique par exemple. Il a alors création de piles locales avec dissolution des zones anodiques.

### **I.3.5. Corrosion par crevasse**

Appelée aussi corrosion caverneuse, elle est due à une différence d'accessibilité de l'oxygène entre deux zones d'une structure métallique. Il y a alors une attaque des parties métalliques les moins accessibles à l'oxygène.

### **I.3.6 Corrosion et dissolution sélective**

C'est l'oxydation d'un composant de l'alliage, conduisant à la formation d'une structure Métallique poreuse.

### **I.3.7. Corrosion par frottement**

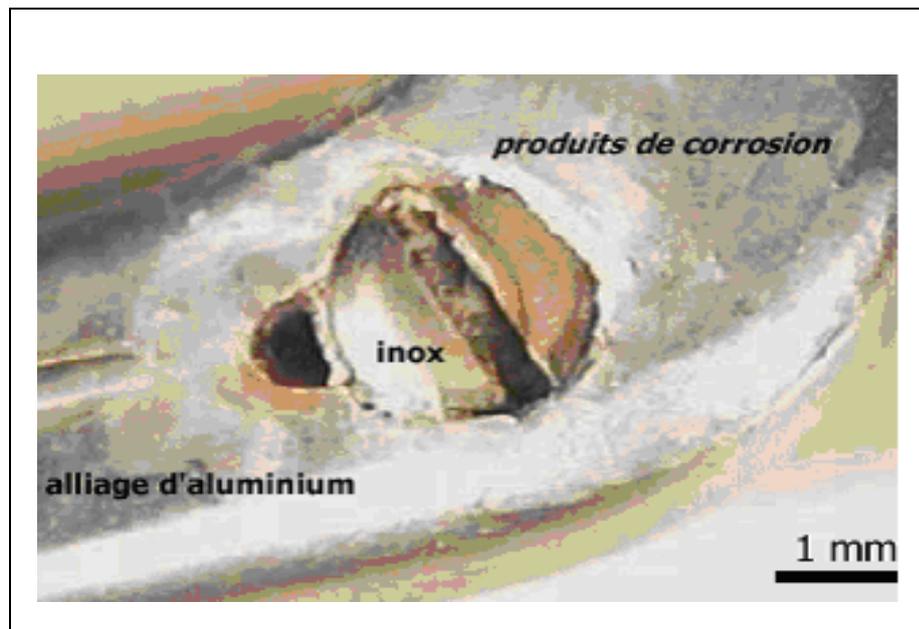
C'est la détérioration qui se produit à l'interface entre des surfaces en contact, suite à la conjugaison de la corrosion et d'un faible glissement réciproque des deux surfaces.

### **I.3.8. Corrosion galvanique**

L'aluminium étant anodique par rapport à la plupart des métaux usuels, il est habituellement la victime dans des assemblages mixtes. L'aspect de la corrosion galvanique de l'aluminium est très caractéristique. Elle n'est pas dispersée comme la corrosion par piqûres mais, au contraire, très localisée dans la zone de contact avec l'autre métal. L'attaque de l'aluminium est régulière, et progresse en profondeur sous forme de cavernes plus ou moins arrondie. La zone affectée par la corrosion galvanique est souvent plus brillante que le reste de la surface [8, 9].

L'intensité de la corrosion galvanique de l'aluminium est d'autant plus forte que la conductivité de l'eau (ou sa salinité) est plus élevée. En d'autres termes, la corrosion galvanique est plus importante dans l'eau de mer que dans l'eau distillée.

Tous les alliages d'aluminium peuvent subir de la même manière une corrosion galvanique.



**Figure I.1 Exemple caractéristique d'une corrosion d'un alliage d'aluminium par un Couplage galvanique avec un acier inoxydable (une vis)**

### I.3.9. Corrosion sous contrainte et fatigue-corrosion

La corrosion sous contrainte est le résultat de l'action simultanée d'un milieu corrosif et d'une contrainte mécanique [10]. Ce type de corrosion se définit comme un processus de Développement de fissures, pouvant aller jusqu'à la rupture complète de la pièce sous l'action.

Combinée d'une tension mécanique et d'un milieu corrosif. Ce sont les contraintes de tension qui sont dangereuses ; les contraintes de compression exerçant au contraire une action protectrice. Les pertes en poids sont généralement très faibles et sans commune mesure avec l'ampleur des dégâts.



(1)



(2)

**Figure I.2 Corrosion sous contrainte [10] (1) Corrosion inter granulaire ; (2) Corrosion transgranulaire**

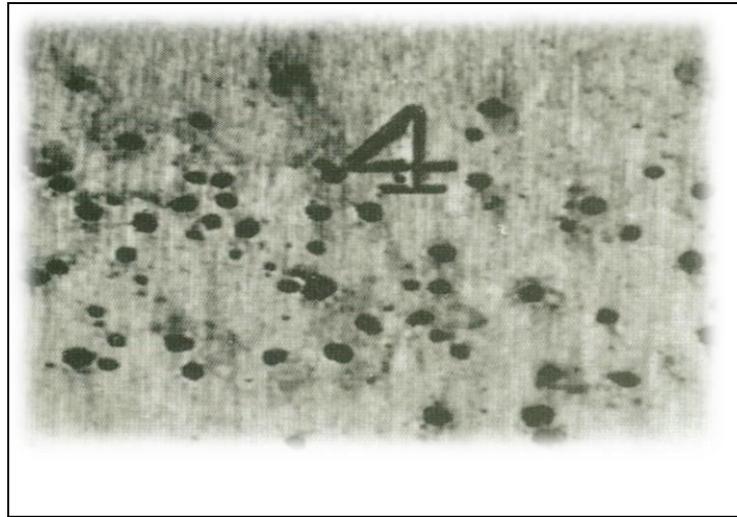
### **I.3.10. La corrosion par piqûre**

La piqûration est une autre forme de corrosion très localisée, qui se manifeste par de petites piqûres ou de petites cavités sur le métal. Elle s'amorce habituellement sur la partie supérieure d'une surface horizontale et se propage presque verticalement vers le bas. Cette forme de corrosion est extrêmement insidieuse puis qu'elle peut passer inaperçue et ne causer

qu'une très faible perte de matériaux avant que ne survienne la défaillance. La **figure (I. 3)**

Donne un exemple de piqûration. Le mécanisme de la piqûration est probablement le même que celui de la corrosion caverneuse, car l'oxydation se produit dans la cavité elle-même et est assortie d'une réduction complémentaire à la surface. On suppose que la gravité favorise la croissance de piqûre devient de plus en plus concentrée et dense à mesure que la piqûre s'étend. Celle-ci s'amorce souvent sur un défaut de surface localisé tel qu'une rayure ou une légère variation de composition. De fait, on a constaté que les échantillons à surface polie résistaient mieux à la piqûration. Les aciers inoxydables sont

quelque peu sujets à cette forme de corrosion, mais l'ajout d'environ 2% de molybdène en accroît beaucoup la résistance [11].



**Fig. 1.3. Piqûration d'une plaque**

#### **I.4. ESSAIS DE CORROSION**

Comme tout autre essai, les essais de corrosion sont d'une importance vitale aux yeux des

Spécialistes dans le domaine. D'une façon générale, Ils permettent d'évaluer différents métaux et alliages vis à vis de la corrosion pour différents milieux considérés. Il existe plusieurs types d'essais de corrosion allant d'une observation visuelle simple à l'utilisation de la microscopie électronique, mais une chose importante à retenir c'est qu'il n'existe pas un essai unique pour évaluer un alliage ou un milieu donné. Le plus souvent, on doit recourir au moins à deux essais différents.

Dans ce présent travail, deux techniques ont été utilisées à savoir la méthode électrochimique et la méthode dite « de masse perdue ».

## I.4.1.méthodes électrochimiques

Les principales sont les méthodes électrochimiques, elles sont souvent associées à des analyses de surface et à des mesures du relargage ionique dans les milieux qui ne seront pas présentées dans ce chapitre.

## I.4.1.1. MATERIEL ELECTROCHIMIQUE

Les essais se font dans un milieu artificiel dont la composition peut être variable. Le plus souvent il s'agit d'une salive artificielle dont le seul élément organique est l'urée.

La cellule électrochimique à double paroi est maintenue, par l'intermédiaire d'un bain thermostat, à une température constante et définie (37°C) (**figure 4**).

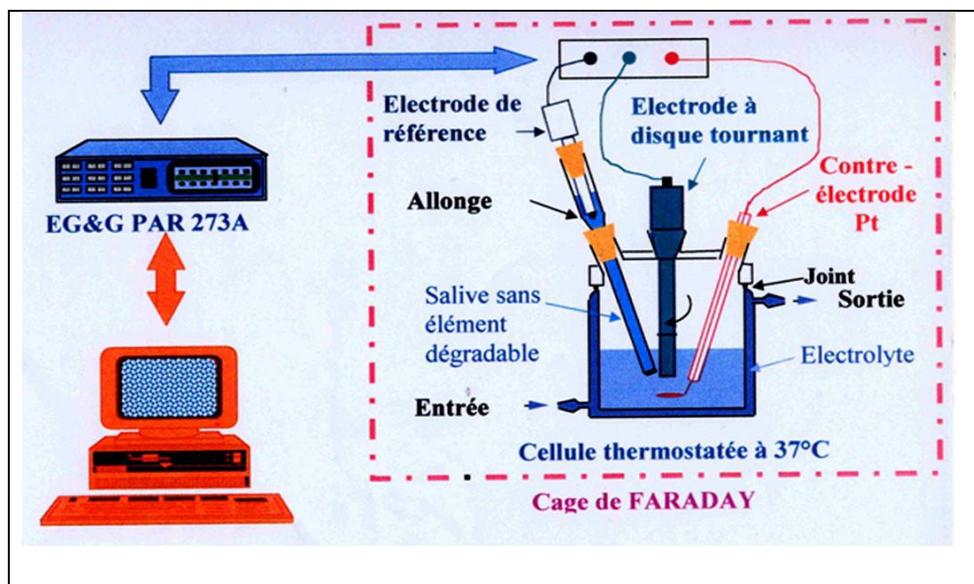


Figure 4 : Cellule électrochimique

- ❖ **l'électrode de travail** : il s'agit de l'échantillon à étudier, entouré d'un cylindre en polytétrafluoroéthylène. L'ensemble échantillon-cylindre constitue l'embout de l'électrode à disque tournant afin de travailler sous un régime d'agitation dynamique reproductible assurant l'homogénéisation de la solution.
- ❖ **l'électrode de référence** : les tensions sont mesurées par rapport à une électrode de référence. Celle la plus souvent utilisée en laboratoire est saturée en chlorure de potassium (ECS). Elle est immergée dans une allonge qui communique avec l'électrolyte de la cellule par l'intermédiaire d'une fritte.
- ❖ **l'électrode auxiliaire** : un fil de platine est utilisé comme contre-électrode dans les études où des perturbations en tension ou en courant sont imposées au système.

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

#### **I.4.2. Méthode de la masse perdue**

La pesée avant et après immersion prolongée dans un milieu corrosif devait donner une indication sur le degré de corrosion. A priori, c'est une méthode simple, elle donne des informations très rapides à des prix relativement bas et sans perturbation des systèmes ;

Cependant elle est limitée, car :

- le processus est très lent et difficilement perceptible,
- Les cations métalliques libérés lors de l'oxydation réagissent avec les anions provenant

De l'électrolyte et forment des composés insolubles qui peuvent adhérer à la surface du matériau.

Le milieu d'immersion doit être en permanence renouvelé de façon à garder une vitesse de réaction constante [12].

##### **I.4.2.1. Théorie de la masse perdue**

La formule suivante exprime le taux de corrosion :

$$\mathbf{Taux} = \frac{\Delta m}{S.t} . 365 \quad (1)$$

Le taux de corrosion est exprimé en g/cm<sup>2</sup> .an

$$\mathbf{\Delta m} = \mathbf{m1} - \mathbf{m2} \quad (2)$$

m1: masse de l'échantillon avant le test en (g)

m2 : masse de l'échantillon après le test en (g)

S : surface de l'échantillon en (cm<sup>2</sup>)

t: temps de l'exposition en (jours)

La corrosion [6] du métal est la détérioration du matériel et sa dispersion dans la solution ; les mesures fondamentales qui doivent être réalisées sont celles des masses perdues. Ces mesures sont converties en termes électrochimiques par la loi de Faraday.

$$i_{corr} = nF \cdot \frac{\Delta m}{M \cdot t} \quad (3)$$

Où

$I_{corr}$  : Densité de courant de corrosion ; A / cm<sup>2</sup>

n: nombre d'électrons transférés pendant la réaction

F : le nombre de Faraday ; 96500 C / mol

$\Delta m$ : différence de masse en (g)

M : masse moléculaire en (g / mol)

t: temps en secondes.

## **I.5. MOYENS DE PROTECTION**

Etant donné que la corrosion résulte de l'action de deux partenaires, le métal ou l'alliage d'une part, le milieu agressif d'autre part, il sera possible de lutter contre ces effets en agissant sur l'un ou l'autre des deux partenaires.

### **I.5.1 Modification du milieu**

En ce qui concerne l'environnement, la plupart du temps il est impossible de modifier sa nature, seule l'addition de faibles quantités d'un corps appelé inhibiteur de corrosion, peut être faite [13].

#### **I.5.1.1. Inhibiteurs de corrosion**

Substances chimiques qui, introduites en très petite quantité dans l'électrolyte, diminuent

Considérablement la vitesse de la réaction de corrosion [14]. Ils sont dits :

- Anodiques quand ils forment sur les anodes des composés insolubles protecteurs.
- Cathodiques quand ils forment sur les cathodes des hydroxydes insolubles.

- Ils peuvent être de caractère mixte.

### I.5.1.2. Inhibiteurs anodiques

Ils ne modifient pas l'apparence du métal, mais un film mince s'y installe. Ils comportent des agents oxydants tels que les chromates et les nitrites, ou d'autres sels comme : les hydroxydes, les silicates, les borates, les phosphates, les carbonates et les benzonates. Ces types d'inhibiteurs nécessitent de l'oxygène. Lorsque leur teneur en oxygène est insuffisante, les inhibiteurs anodiques peuvent augmenter la corrosion [15].

### I.5.1.3. Inhibiteurs cathodiques

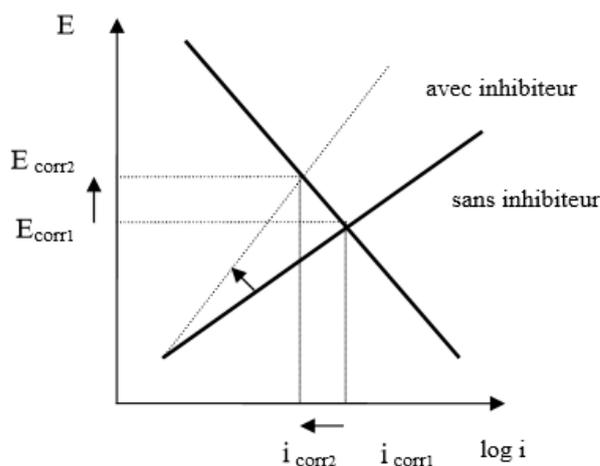
Ils réduisent la réaction cathodique en empêchant l'oxygène d'atteindre la surface à protéger. Les sels de magnésium, de manganèse, de zinc et de nickel font partie de ces inhibiteurs. Ces sels diminuent les taux de corrosion de l'acier et de fer.

Les inhibiteurs cathodiques forment un film visible sur le métal mais n'arrêtent pas complètement l'attaque. Ils sont donc moins efficaces que les inhibiteurs anodiques [16].

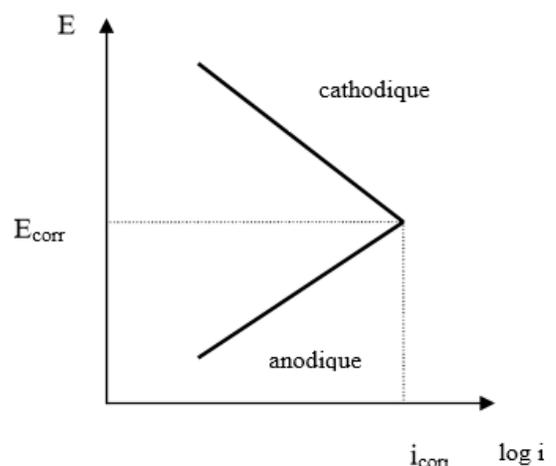
### I.5.1.4. Inhibiteurs mixtes

Les inhibiteurs mixtes agissent en même temps sur les surfaces anodiques et cathodiques, ils diminuent la vitesse des deux réactions partielles, mais modifient peu le potentiel de corrosion

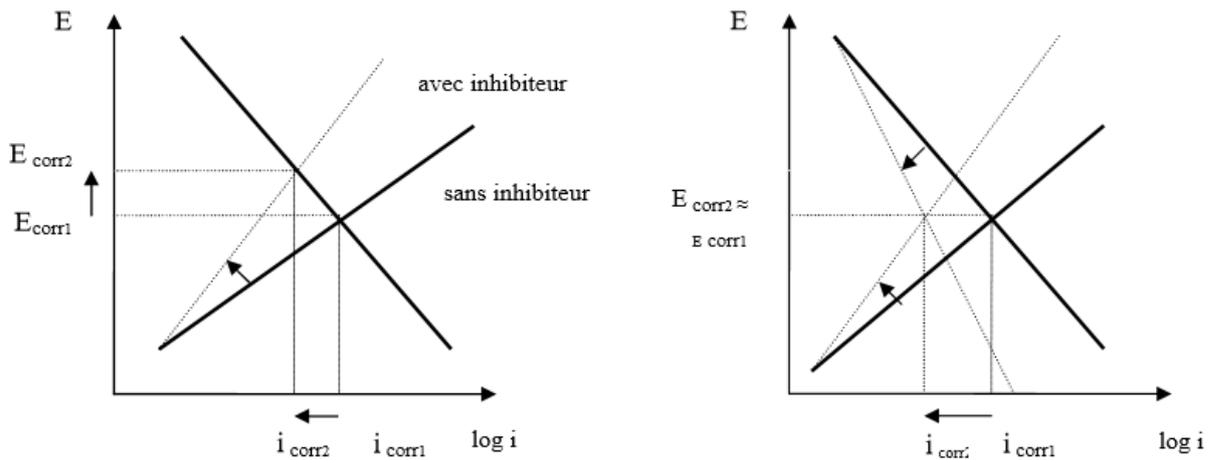
[17].



a. Processus simple de corrosion



b. présence d'inhibiteur anodique



c. présence d'inhibiteur cathodique

d. présence d'inhibiteur mixte

Figure II.3: Diagramme d'Evans

## I.6. Classification par domaine d'application

### I.6.1. Inhibition en milieu acide

Les inhibiteurs en milieux acides sont employés pour éviter l'attaque de l'acier lors du décapage acide. Dans l'industrie pétrolière, on les ajoute aux fluides de forage. Les inhibiteurs les plus fréquemment utilisés sont des molécules de type organique. Ces molécules s'adsorbent à la surface du métal et ralentissent ainsi la corrosion.

Elles 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  $-NH_2$  (amine),  $-SH$  (mercapto),  $-OH$  (hydroxyle),  $-COOH$  (carboxyle),  $-PO_3$  (phosphate), et leurs dérivés. La molécule se lie (par adsorption) à la surface du métal avec son groupe fonctionnel, alors que sa partie non polaire bloque partiellement la surface active [18].

D'autres inhibiteurs forment des complexes peu solubles avec les ions métalliques provenant de la dissolution. Ces complexes précipitent à la surface et forment des couches superficielles ralentissant ainsi la dissolution du métal.

### I.6.2. Inhibition en milieu neutre

La corrosion en milieu neutre est normalement due à l'oxygène dissous. Les risques d'une attaque diminuent si l'on empêche l'oxygène d'accéder à la surface (inhibition cathodique). Alternativement, on peut diminuer la vitesse de la réaction partielle anodique en rendant le métal passif (inhibition anodique). On peut encore inhiber la corrosion par des substances, telles que les benzoates, les tartrates ou les salicylates etc. qui s'adsorbent à la surface et bloquent les sites de réaction.

#### I.6.2.1. Inhibition par passivation

Elle sert notamment à protéger l'acier dans les circuits d'eau de refroidissement.

Ce type d'inhibition peut être obtenu par les inhibiteurs oxydants et les agents tampons qui maintiennent le pH élevé au voisinage de la surface du métal.

#### I.6.2.2. Inhibition par précipitation

En milieux neutres, de nombreux inhibiteurs forment des couches superficielles par précipitation, tels les polyphosphates ( $\text{NaPO}_3$ )<sub>n</sub> et les organo-phosphates. Agissant principalement sur la réaction cathodique (barrière de diffusion), ils réduisent la vitesse de corrosion en présence d'oxygène.

### I.6.3. Domaine d'application

Souvent, on classe les inhibiteurs selon leur domaine d'application. En milieux aqueux,

Les inhibiteurs en milieu acide sont employés, entre autres, pour éviter une attaque chimique

De l'acier lors du décapage. Dans l'industrie pétrolière on les ajoute aux fluides de forage.

Les inhibiteurs pour milieu neutre servent surtout à protéger des circuits d'eau de refroidissement. Les inhibiteurs pour une phase gazeuse sont généralement employés pour une protection temporaire de différents objets emballés pendant le transport et le stockage, (instruments de précision, composants électroniques, machines,...) [19].

### I.7. Moyens de protection contre la corrosion

La prévention de la corrosion doit commencer déjà dans la phase de planification. En d'autres mots, on doit prendre en considération la corrosion depuis le début d'un projet et jusqu'à sa réalisation. Il s'agit de garantir une certaine durée de vie à un objet. En plus, la solution adoptée doit être compatible avec les prescriptions concernant la protection de l'environnement naturel et doit permettre le recyclage ou l'élimination des différents composants à la fin de leur utilisation.

La lutte contre la corrosion englobe les méthodes suivantes :

- Prévention par une forme adaptée des pièces,
- Prévention par un choix judicieux des matériaux,
- Protection par revêtements,
- Protection par inhibiteurs,
- Protection électrochimique [20].

### I.8. Conclusion

La corrosion peut être considérée comme un phénomène suivant lequel un matériau à tendance sous l'action d'un milieu agressif, à retourner à son état original d'oxyde de sulfure, de carbonate etc. Elle représente avec la dégradation des matériaux un problème économique très important dont les dégâts occasionnent des pertes financières considérables et sont parfois à l'origine d'accidents corporelles.

Nous avons présenté dans ce chapitre les principales méthodes de protection contre la corrosion ainsi que les facteurs influant sur la corrosion des métaux.

Cette étude permet de choisir la méthode de protection la plus adéquate pour chaque installation.

*Chapitre II*  
*Procédure expérimentale*

**II.1. Introduction**

La complexité des phénomènes de corrosion nécessite l'utilisation d'un très grand nombre de méthodes expérimentales pour estimer le taux de corrosion et la nature des mécanismes qui interviennent au cours de la destruction d'un métal. Pour cette raison, on utilise différentes méthodes telles que les méthodes gravimétriques qui reposent sur la détermination de la perte de masse au cours du temps, et qui reflètent mieux le phénomène de corrosion tel qu'il est l'état réel. Les résultats obtenus sont présentés sous forme de tableaux et de graphes.

**II.2. Polissage mécanique**

Le polissage mécanique des échantillons est réalisé par un papier abrasif (grains de carbure de silicium SiC). Une polisseuse rotative, munie d'un disque abrasif de différentes granulométries 180, 320, 800, 1000, et 1200, rincés à l'eau distillée à chaque changement de papier, afin d'enlever les rayures et défauts dus à l'usinage des pièces. Les échantillons sont ensuite rincés à l'eau distillée puis séchés et ensuite stockés dans un dessiccateur. a été utilisée (Figure : II.1)



**Figure II.1 : Schéma de polisseuse utilisé dans le polissage mécanique**

**II.3. Techniques de caractérisation****II.3.1. Technique de la masse perdue**

Les études de corrosion ont pour but, de façon générale, de déterminer quantitativement la dégradation d'un matériau au cours du temps. La méthode la plus simple, et la moins coûteuse est celle de la perte de masse, figure II.1.

Le principe de cette technique est l'immersion de l'échantillon à étudier, après sa pesée, pendant une durée bien définie dans le milieu corrosif considéré, figure II.2. Ensuite, l'échantillon est retiré de la solution de test et un examen visuel de sa surface a été effectué. Les produits de corrosion ont été enlevés à l'aide en utilisant du papier absorbant, puis l'échantillon a été rincé à l'eau distillée, séché à l'aide d'un séchoir électrique et ensuite repesé.

L'utilité de mesurer la masse perdue consiste en l'évaluation du taux de corrosion qui se définit comme une perte de poids par unité de surface et de temps et est exprimé en (g/cm<sup>2</sup>.an). Le taux de corrosion est calculé à partir de la formule suivante:

$$\tau = 365 \frac{\Delta m}{st} \text{ avec } \Delta m = m_i - m_f \quad (1)$$

Où

$m_i$  : Masse de l'échantillon avant l'essai en (g).

$m_f$  : Masse de l'échantillon après l'essai en (g).

S : surface de l'échantillon en (cm<sup>2</sup>).

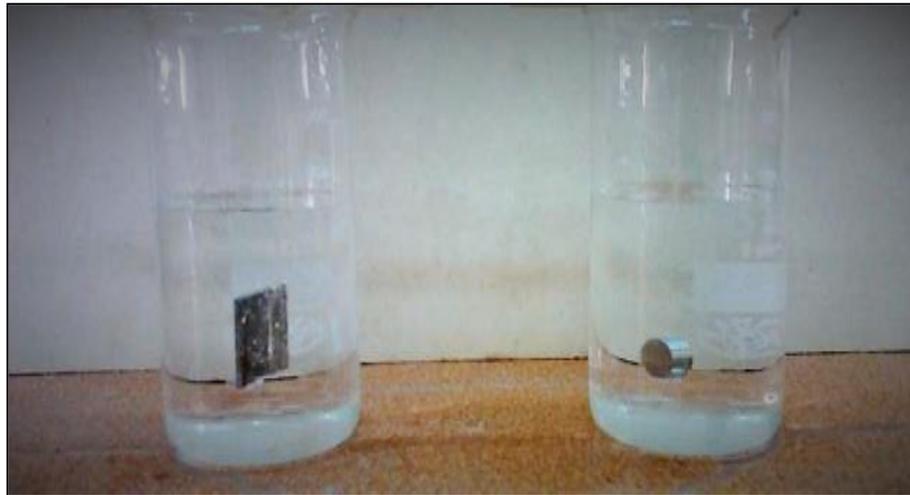
t : temps d'immersion en (jour).

**II.4. Deuxième technique de la masse perdue****II.4.1. Manipulation de la technique de la masse perdue**

Le dispositif expérimental est représenté par la figure (II.6) qui nécessite le matériel de laboratoire suivant :

- échantillons en cuivre et aluminium

- balance de précision de sensibilité (0.0001g).
- solution.
- bécieras.



**Figure II.2: Dispositif expérimental de la masse perdue**



**Figure II.3: Dispositif expérimental de la masse perdue**

Dans cette étude, nous avons étudié le développement de différents échantillons de matière cuivre et aluminium dans cinq solutions différentes d'une capacité de 100 ml : eau distillée, HCl, eau + sel, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> et inhibiteur liquide de refroidissement d'usage général du radiateur. Chaque échantillon fini, a été pesé. Sa masse, sa surface totale ainsi que les paramètres de la solution et la durée de test ont été mentionnées dans des tableaux. L'échantillon a été placé dans un bêcher contenant 100 ml de solution. La durée pour tous les tests. A la fin pour chaque expérience, l'échantillon a été retiré, puis nettoyé à l'eau. Les produits de corrosion ont été éliminés de la surface du métal à l'aide d'une papier absorbant. Ensuite, après rinçage à l'eau distillée et séchage et mesurés, l'échantillon a été repesé, sa nouvelle masse a été également reportée dans les mêmes tableaux.



**Figure II.4 : Balance électronique de type Sartorius.**

**II.5. Conclusion**

Cette méthode (méthode du poids), largement utilisée pour déterminer les taux de corrosion, permet de mesurer le taux de corrosion en plusieurs étapes:

- Préparer des modèles avec des formes géométriques spécifiques.
- Peser les modèles avec un équilibre sensible.
- Nous avons saisi l'ensemble de l'échantillon.
- Les prototypes sont en solution pour une durée déterminée.
- Augmenter les formes de solution.
- Les modèles sont à nouveau pesés et le montant du changement est calculé.

*Chapitre III*  
*Résultats et discussion*

### III.1. Introduction

La détection de la corrosion par piqûre du cuivre et aluminium, immergés dans différentes concentrations de **Hcl**, **sel+EAU**, **INHIBITEUR**, **Eau Distillée** et de **H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>**, est déterminée par les deux techniques illustrées dans le chapitre précédent qui sont la technique de la masse perdue, l'analyse de surface. Les résultats obtenus sont présentés sous forme de tableaux et de graphes.

### III.2. Méthode de la masse perdue

#### III.2.1. Milieu (HCL- INHIBITEUR -sel+EAU -H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> -)

**Tableau III.1 Changement de masse d'aluminium en fonction du temps plusieurs solutions différentes.**

Masse (g) \ jours	4	8	22
<b>Hcl</b>	2.8920	1.8462	0.0773
<b>H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></b>	7.9668	7.7403	7.1690
<b>INHIBITEUR</b>	8.8223	8.2271	8.8251
<b>sel+EAU</b>	8.6373	8.6403	8.6451
<b>Eau Distillée</b>	8.8223	8.8251	8.8236

Tableau III.2 Calcule la masse perdue entre la masse initiale et la masse final  $\Delta m(g)$

Echantillon /solution	Masse Initiale (g)	Masse Final (g)	$\Delta m(g)$
<b>Hcl</b>	2.8920	1.8462	1.0458
<b>H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></b>	7.9668	7.7403	0.2265
<b>INHIBITEUR</b>	8.8223	8.2271	0.5952
<b>sel+EAU</b>	8.6373	8.6403	-0.003
<b>Eau Distillée</b>	8.8223	8.8251	-0.0028

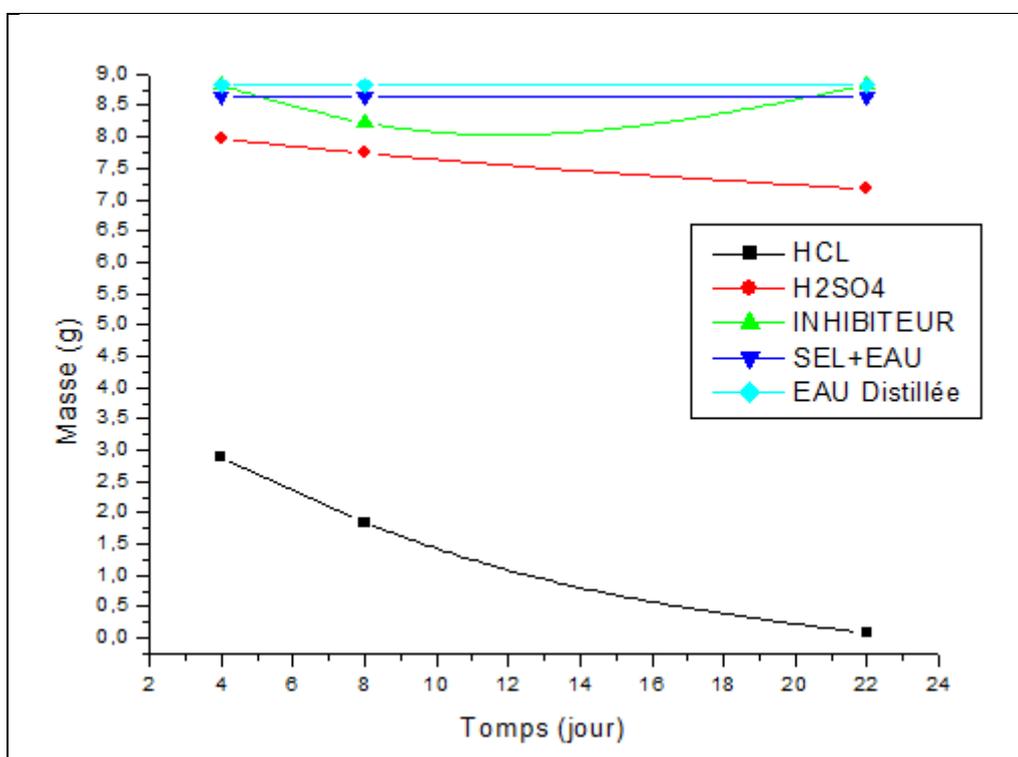


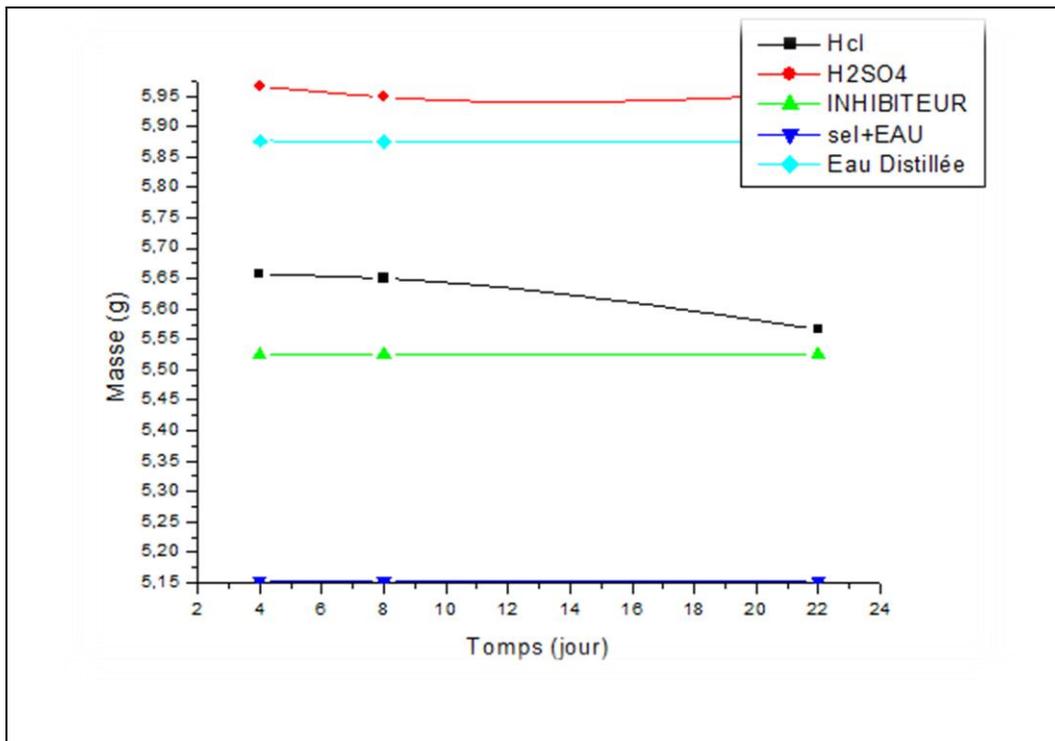
Figure III.1: Changement de masse d'aluminium en fonction du temps plusieurs solutions différentes.

Tableau III.3 : Changement de masse de cuivre en fonction Du temps plusieurs solutions différentes.

	4	8	22
<b>Hcl</b>	5.6568	5.6500	5.599
<b>H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></b>	5.9665	5.9483	5.9534
<b>INHIBITEUR</b>	5.5263	5.5261	5.5260
<b>sel+EAU</b>	5.1519	5.1520	5.1541
<b>Eau Distillée</b>	5.8764	5.8755	5.8748

Tableau III.4 Calcule la masse perdue entre la masse initiale et la masse final  $\Delta m(g)$

Echantillon /solution	Masse Initiale (g)	Masse Final (g)	$\Delta m(g)$
<b>Hcl</b>	5.6568	5.599	0.0578
<b>H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></b>	5.9665	5.9534	0.0131
<b>INHIBITEUR</b>	5.5263	5.5260	-0.0003
<b>sel+EAU</b>	5.1519	5.1541	-0.0022
<b>Eau Distillée</b>	5.8764	5.8748	0.0016



**Figure III.2: Changement de masse de cuivre en fonction Du temps plusieurs solutions différentes.**

On remarque que le changement de la masse de l'acide chlorhydrique est plus grand pour Les autres milieux parce que une grand attaque, alors que dans d'autres solutions eau distillée, Et inhibiteur observe une petite variation de masse.

**III.5. Conclusion**

Dans cette étude, nous avons utilisé deux techniques d'échantillonnage (technique de Masse perdue), où nous avons conclu plusieurs résultats.

## *Conclusion Générale*

# Conclusion Générale

---

## Conclusion générale

L'étude menée dans le cadre de ce travail de recherche, nous a permis d'aboutir aux Conclusions suivantes :

Un utilisant deux métaux le cuivre et le aluminium dans différente solutions la corrosion

Les deux métaux sont trempés dans les différentes solutions (eau distillée, inhibiteur, puis dans Hcl, et H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) on constate les étapes comme la indique les figures III.1. Et III.2.comme suit :

- Pour les 2métaux immergés dans l'eau distillée une très faible variation de corrosion
- Pour contre pour l'immersion des deux métaux au début c'est -à- due de 4 à 8 jours par ce que constat et cela due à la protection de un film protecteur et ou delà de4 jours une diminution observable car Hcl et H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> commencent à attaquées les deux métaux.
- Enfin en utilisant une substance qui se comme inhibiteur et agouti en petit corrosion et de après les essais cela prouve que il se produit un ralentissement de la corrosion qui se traduit par un frein des réactions électrochimiques.

## *Bibliographie*

## Bibliographie

---

### Bibliographie

- [1] : M. Colombie et .Coll. Matériaux Industrie, Matériaux métalliques, édition, 2000.
- [2] Belbachir. K mémoire Magister : Aperçu générale sur les métaux .Tlemcen2011.
- [3] Landolt, D., Corrosion et Chimie de Surfaces des métaux, Traité des Matériaux 12, Edition Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, 2003.
- [4] TOUMELIN-CHEMLA F. : Propriétés électrochimiques des alliages utilisés en Odontologie. Encyclopédie Médico-chirurgicale 23-0636-10 (Odontologie): 7p, 1998.
- [5] D. Nadir, R. Rabah ; « Introduction à la corrosion et aux inhibiteurs de corrosion » ;Livre Edition: 1.03.4278 (2004) Pages (6-7).
- [6] A. Habchi. Master académique ; « Etude de l'effet de la température sur la corrosion de L'acier xc52 en présence du sulfarlem et leur sel correspondent dans un milieu H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 20% » Université Kasdi Merbah Ouargla (2013).
- [7] S. Bensaada. Cours de corrosion ; Livre en ligne
- [8] Wood J., Harris D.A., Revue de l'Aluminium, les Alliages de Fonderie Inoxydables. p. 882-893, 1968.
- [9] Develay, R., Importance de l'Addition de Manganèse dans l'Aluminium et les Alliages de l'Aluminium, Revue de l'Aluminium. p.345-368, 1978.
- [10] R. Mehibil. Mémoire de Magister ; « Etude de l'efficacité inhibitrice de quelques Nouveaux inhibiteurs, dits non polluants, sur la corrosion de deux types d'alliages D'aluminium », Université de Skikda (2008).
- [14] Commission exploitation, Corrosion et inhibition des puits et collectes, chambre syndicale de la recherche et de la production du pétrole et du gaz naturel, Edition technip, Paris, 1981.
- [15] Faiza K., Etude de l'efficacité de deux inhibiteurs de corrosion dans les milieux Multiphasiques (eau, huile et gaz), Mémoire de Magister, Université de Boumerdès (Algérie), 2008.

## Bibliographie

---

- [16] S. TURGOOSE, Chemical inhibitors for corrosion control, Organizers: The royal society of chemistry- industrial division and UMIST, p. 107. 1988.
- [17] C.FIAUD ET MAURIN, Atmospheric corrosion and its inhibitors, 5eme Symposium europeen sur les inhibiteurs de corrosion, p. 1223m Ferrare, 1980.
- [18] G. TRABANELLI, Corrosion mechanism, F, Mansfield Editor, Marcel Dekker, N. Y, p 119, 1987.
- [19] Chambre syndicale de la recherche et de la production du pétrole et du gaz naturel. Commission Exploitation, La Protection cathodique. Guide pratique, Editions Technique, Paris, 1986.
- [20] Scwenk, W., « Fundamentals and concepts of corrosion and Electrochemical Protection», Cp Right by Elsevier, USA, (1997).