

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique
Université Mohamed Seddik Ben yahia- Jijel
جامعة محمد الصديق بن يحيى - جيجل

Faculté des sciences exacte et informatique

Département Chimie



كلية العلوم الدقيقة والاعلام الآلي

قسم الكيمياء

Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du Master en chimie

Option: Chimie des matériaux

Réalisé par

Beltas Messaouda & Riane Assia

Thème

**L'INHIBITION DE LA CORROSION DE FER
BLANC PAR L'HUILE D'OLIVE EN MILIEU
ACIDE**

Soutenu le 04 Juillet 2022

DEVANT LE JURY :

Pr . Benamira Messaoud

Dr : Mezhoud Bilel

M^{me}. Boucetta Farida

Pr

M.C.B

M.C.B

Président

Examineur

Encadreur

Année universitaire : 2021/2022

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



Remerciements

Nous remercions tout d'abord Dieu tout puissant de m'avoir donné le courage, la force et la patience d'achever ce modeste travail.

Plus particulièrement, nous remercierons Mme Farida Boucetta pour son encadrement continu, pour les remarques constructives qu'elle nous a fournies ainsi que pour ses précieux conseils durant toute la période de la réalisation de ce mémoire.

Nous tenons à exprimer nos sincères remerciement à tous les professeurs qui nous ont enseigné et qui par leurs compétences nous ont soutenu dans la poursuite de nos études.

Nous remercions très sincèrement les membres de jury Pr Benamira Messaoud et Dr Mezhoud Bilel

En fin nous adressons nos remerciements les plus sincères à tous ceux qui nous ont aidés de loin ou de près pendant toutes les années d'études.

Dédicace

*Je dédie ce modeste travail à celle qui m'a donné
la vie, le symbole de tendresse, qui s'est sacrifiée
pour mon bonheur et ma réussite, à ma mère
« Zahra Menniche »*

*A mon père « Abdlkadere » école de mon
enfance, qui a été mon ombre durant toutes les
années des études, et qui a veillé tout au long de
ma vie à m'encourager, à me donner l'aide et à
me protéger.*

Que dieu les gardes et les protège.

*A mes frères : Nabil, Fares,
A mes sœurs : Madiha, soaàd et à l'âme de ma
sœur Warda que Dieu ait pitié d'elle.*

A mes meilleure amie : Bibiya et Rofia

A mes oncles : Messaoud, Said

*A toute promotion « Master 2 » Chimie des
Matériaux 2022.*

*A tous ceux qui me sont chères. A tous ceux qui
m'aiment.*

A tous ceux que j'aime.

MESSAOUDA

A decorative border in shades of pink surrounds the text. It features a string of small pink beads at the top, a large pink ribbon on the left side, and clusters of white flowers with green leaves and pink ribbons on the right and bottom right.

C'est avec un grand plaisir que je dédie ce modeste travail :

*A celui qui a fait de moi une femme demandeuse
toujours de succès, mon père*

A l'être le plus cher de ma vie, ma mère

A mes chers frère et sœurs

A tous mes amies

*Tous mes enseignants et tous ceux qui ont participé de
près ou de loin afin de réaliser cette recherche
scientifique*

ASSIA



SOMMAIRE

Sommaire

<i>Remerciements</i>	<i>I</i>
<i>Dédicace</i>	<i>II</i>
<i>Sommaire</i>	<i>III</i>
<i>Liste des figures</i>	<i>IV</i>
<i>Liste des tableaux</i>	<i>V</i>
<i>Liste des abréviations</i>	<i>VI</i>
<i>Liste des équations</i>	<i>VII</i>
<i>Introduction Générale</i>	1
Références bibliographiques	3
<i>Chapitre I : Généralité sur la Corrosion</i>	
I.1. Introduction	4
I.2. Définition.....	4
I.3 Les différentes formes de corrosion microstructurale.....	4
I.3.1 Corrosion par piqûres.....	4
I.3.2 Corrosion intergranulaire.....	5
I.3.3 .Corrosion par l'hydrogène.....	6
I.3.4 Corrosion filiforme (FFC)	6
I.3 .5 Corrosion par caverneuse.....	7
I.3.6 Corrosion frottement (tribocorrosion).....	7
I.3.7 La corrosion galvanique :(appelée aussi corrosion bimétallique).....	7
I.4 Différents processus de la corrosion.....	8

Sommaire

I.4.1 Corrosion chimique (sèche).....	8
I.4.2-Corrosion biochimique.....	9
I.4.3-Corrosion avec érosion, avec frottement et par cavitation.....	10
I.4.4-Corrosion électrochimique.....	10
I.5.Aspect électrochimique de la corrosion.....	10
I.6-Les facteurs de la corrosion.....	12
I.7. Paramètres influençant sur la vitesse de corrosion.....	13
I.7.1-Influence de PH.....	13
I.7.2-Effet de la température.....	14
I.7.3-Régime hydrodynamique.....	14
I.7.4-La salinité.....	14
I.8. Protection contre la corrosion.....	14
I.8.1- Mesures préventives.....	15
I.8.1.1- Prévention par un choix judicieux des matériaux.....	15
I.8.1.2-Protection par une forme adaptée des pièces.....	15
a) Corrosion en zone humide.....	15
b) Corrosion galvanique.....	16
c) Corrosion –érosion et corrosion – cavitation.....	16
d) Corrosion sous contrainte.....	16
I.9. Autre Moyens de lutte contre la corrosion.....	16

Sommaire

Références Bibliographiques.....	18
 <i>Chapitre II : Les Inhibiteurs de corrosion</i>	
II.1.Introduction.....	19
II.2. Définition	19
II.3. Les propriétés des inhibiteurs.....	20
II.4. Classement des inhibiteurs.....	20
II.4.1 Classement selon la nature des molécules de l'inhibiteur.....	21
II.4.1.1 Les inhibiteurs organiques.....	21
II.4.1.2 Les inhibiteurs inorganiques.....	22
II.4.2 Par domaine d'application.....	22
II.4.3. Par réaction partielle (Mécanisme d'action électrochimique).....	23
II.4.3.1 Les inhibiteurs anodiques.....	23
II.4.3.2 Les inhibiteurs cathodiques.....	24
II.4.3.3 Inhibiteurs mixtes.....	24
II.4.4. Par mécanisme réactionnel.....	24
II.4.4.1. Les inhibiteurs agissant par adsorption.....	24
II.4.4.2. par passivation.....	25
II.4.4.3.par précipitation.....	25
II.4.4.4. par élimination de l'agent corrosif.....	25
II.5. Domaine d'application.....	25

Sommaire

II.6. Bio-inhibiteurs (inhibiteurs vert).....	25
II.7. Isotherme d'adsorption.....	26
II.7.1. Isotherme de Langmuir.....	27
II.7.2. Isotherme de Temkin.....	28
II.7.3. Isotherme de Frumkin.....	28
II.8. Conclusion.....	29
Références Bibliographiques.....	30

Chapitre III : Méthodes et conditions expérimentale

III.1- Introduction	33
III.2- Conditions expérimentales.....	33
III.2.1- Matériau utilisé.....	33
III.2.1.1- Définition de Fer-blanc.....	33
III.2.1.2- Les caractéristique de fer blanc.....	34
III.2.1.3- Analyses chimiques.....	34
III.2.2- Préparation des échantillons.....	35
III.2.3- Milieu d'étude.....	35
III.2.4- Inhibiteur	36
III.3- Méthode caractérisation	37
III.3.1- Méthode gravimétrique	37
III.3.1.1- Protocole expérimental.....	37

Sommaire

III-3-1-2. Influence de la température.....	38
III.3.2- Méthodes électrochimiques	39
III.3.2.1- Courbes de polarisation intensité- potentiel.....	39
a- Droites de Tafel	40
b- Résistance de polarisation	41
III.3.2.2- Protocole expérimentale	42
III.4- Conclusion	43
Références Bibliographiques	44
 <i>Chapitre IV : Résultats et discussions</i>	
IV.1- Introduction.....	45
IV.2- Effet de la concentration sur l'efficacité inhibitrice.....	45
IV.2.1- Étude gravimétrique.....	45
IV.2.2- Etude électrochimique (Courbes de polarisation)	47
IV.3- Effet de Temps d'immersion sur l'efficacité inhibitrice.....	50
IV.3.1- Étude gravimétrique.....	50
IV.4. Effet de la Température sur l'efficacité inhibitrice	52
IV.4.1. Étude gravimétrique.....	53
IV.4.2- Etude électrochimique (Courbes de polarisation).....	55
IV.5- Isothermes et paramètres thermodynamiques d'adsorption.....	57
Références Bibliographiques	60
<i>Conclusion Générale</i>	61

Sommaire

<i>Perspectives</i>	62
---------------------------	----

Liste des figures

Liste des figures

Chapitre I : Généralité sur la Corrosion

Figure I ,1 : Propagation de la piqûre dans l'aluminium	5
Figure I ,2 : Corrosion inter granulaire.....	6
Figure I ,3 : La fragilisation par hydrogène d'une pièce métallique.....	6
Figure I, 4 : Corrosion par caverneuse.....	7
Figure I ,5 : corrosion galvanique de cuivre par couplage avec l'acier.....	8
Figure I.6 : Exemple de bactéries responsable de la corrosion bactérienne et corrosion dentaire.....	9
Figure I .7 : corrosion de fer en milieu aqueuse.....	11

Chapitre II : Les Inhibiteurs de corrosion

Figure II.1 : Métal au contact d'un milieu agressif.....	19
Figure II.2 : Classement des inhibiteurs de corrosion.....	21
Figure II.3: Formation des couches barrières a) cathodiques et b) anodiques interférant avec les réactions électrochimiques, dans le cas d'une étude en milieu acide.....	23
Figure II.4 : Différents classes des inhibiteurs verts de corrosion.....	26

Chapitre III : Méthodes et conditions expérimentale

Figure (III-1) : Coupe transversale d'un fer-blanc (taux d'étamage de 2,8 g/m ²).....	33
Figure (III-2) : pied de coulisse	35
Figure (III-3) : Balance analytique.....	35
Figure (III-4) : huile d'olive.....	36
Figure (III-5) : les Echantillons de Fer-blanc dans des solutions corrosives avec inhibiteur.....	38
Figure (III-6) : Protocole du l'effet de température.....	38
Figure (III-7) : Courbe intensité –potentielle : $I = f(E)$	39
Figure (III-8) : Densités de courants anodique et cathodique (en valeur absolue) d'une réaction d'électrode (échelle logarithmique).....	41
Figure (III.9) : Détermination graphique de la résistance de polarisation.....	42

Liste des figures

Figure (III-10) : Dispositif expérimental des mesures électrochimiques.....	42
Figure (III-11) : L'électrode de travail.....	43

Chapitre IV : Résultats et discussions

Figure IV. 1 : Evolution de la vitesse de corrosion en fonction de concentration d'inhibiteur à température ambiante.....	46
Figure IV. 2 : Evolution de l'efficacité inhibitrice en fonction de concentration d'inhibiteur à température ambiante.....	47
Figure IV.3 : Courbes de polarisation fer -blanc dans H ₂ SO ₄ (1M) à T ambiante sans et avec addition d'inhibiteur à différentes concentrations.....	48
Figure IV. 4 : Evolution de la vitesse de corrosion en fonction de temps d'immersion en absence et en présence d'inhibiteur à température ambiante.....	51
Figure IV. 5 : Evolution de l'efficacité inhibitrice en fonction de temps d'immersion en absence et en présence d'inhibiteur à température ambiante.....	52
Figure IV.6 : Evolution de la vitesse de corrosion en présence de 2g/l d'inhibiteur à différentes températures.....	54
Figure IV.7 : Evolution de l'efficacité inhibitrice en présence de 2g/l d'inhibiteur à différentes températures.....	54
Figure IV.8 : Courbes de polarisation fer -blanc dans H ₂ SO ₄ (1M) à différentes Températures.....	55
Figure IV.9 : Courbes de polarisation fer -blanc dans H ₂ SO ₄ (1M) avec addition de 2g /l d'inhibiteur à différentes Températures.....	56
Figure IV.10 : Modèle de l'isotherme de l'adsorption de Langmuir du fer-blanc dans H ₂ SO ₄ 1 M à différentes concentrations en huile d'olive.....	59

Liste des figures

Liste des Tableaux

Chapitre I : Généralité sur la corrosion

Tableau I.1 : Facteur de corrosion..... 13

Chapitre III : Méthodes et conditions expérimentale

Tableau III-1 : Caractéristiques Générales du fer blanc..... 34

Tableau III-2 : Caractéristiques chimiques du Fer Blanc..... 34

Tableau III-3 : Les propriétés physico-chimiques l'acide sulfurique..... 36

Chapitre IV : résultats et suscitions

Tableau IV.1 : Vitesse de corrosion, efficacités inhibitrices et taux de recouvrement en absence et en présence d'huile d'olive..... 45

Tableau IV.2 : Paramètres électrochimiques et l'efficacité d'inhibition..... 49

Tableau IV.3 : Vitesse de corrosion, efficacités inhibitrices et taux de recouvrement en absence et en présence d'huile d'olive en fonction de temps d'immersion..... 50

Tableau IV.4 : Vitesse de corrosion, efficacités inhibitrices et taux de recouvrement en absence et en présence d'huile d'olive en fonction de température..... 53

Tableau IV.5 : Paramètres de Corrosion pour le Fer-blanc dans H₂SO₄ 1M en absence et en présence de la concentration optimale de l'huile essentielle à différentes températures..... 56

Liste des abréviations

Liste des abréviations

O₂ : Le dioxygène

H₃O⁺ : L'ion hydronium

µm : Micromètre.

mm : Millimètre.

CO₂ : Le dioxyde de carbone.

SO₂ : Dioxyde de soufre

H₂S : Le sulfure d'hydrogène.

Hg : Le mercure.

Al : L'aluminium.

CCl₄ : Le tétrachlorométhane.

M : Métal

M⁺ⁿ : Cation de métal.

e⁻ : électron.

éq : Equation.

Ox : Oxydant.

Red : Rédacteur.

Fe : Le fer.

Fe²⁺ : Ion de fer (II).

OH⁻ : Hydroxyde.

pH : Le potentiel hydrogène.

NACE : la National Association of Corrosion Engineers.

(-NH₂) : La radicale amine.

Liste des abréviations

(-SH) : Le radical mercapto.

(-OH) : Le radical hydroxyle.

(-COOH) : Le radical carboxyle.

Ca^{2+} : L'ion de calcium.

Zn^{2+} : L'ion de zinc.

H⁺ : le proton.

O : l'atome d'oxygène.

C : l'atome de carbone.

N : l'atome d'azote.

S : l'atome de soufre.

Θ : La surface recouverte.

inh : Inhibiteur.

V_{inh} : la Vitesse de corrosion de l'acier en présence d'inhibiteur.

corr : Corrosion.

I_{corr} : le courant de corrosion.

R_t : résistances de transfert de charge de l'acier.

$R_{t_{inh}}$: résistances de transfert de charge de l'acier en présence l'inhibiteur.

exp : Exponentielle.

EI : L'efficacité de l'inhibiteur en (%).

C_{inh} : La concentration de l'inhibiteur.

K_{ads} : la constante d'équilibre du processus d'adsorption.

a : constante d'interaction adsorbée.

Liste des abréviations

b : Le coefficient d'adsorption.

L : Longueurs.

L : Largeurs.

e : Epaisseurs.

S : Surface.

H_2SO_4 : Acide sulfurique.

V_{corr} : La vitesse de corrosion.

Δm : Perte de masse.

m : La masse.

m_i : La masse initiale.

m_f : La masse finale.

t : Temps d'immersion.

E : Potentielle.

i : Densité de courant.

E : Potentiel de l'électrode.

E_{corr} : potentiel de corrosion.

β_a et β_c : Les coefficients de Tafel.

V : Volte.

ECS : Electrode calomel saturé.

Ω : Ohm.

ΔG_{ads}° : Energie libre standard.

R : Constante de gaz parfait.

T : Température absolue.

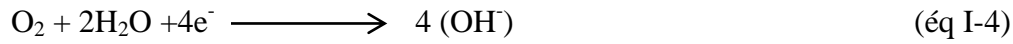
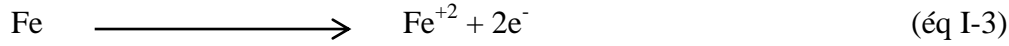
Liste des abréviations

R_p : Résistance de polarisation.

K : Kelvin.

Liste des équations

Liste des équations



$$\theta = 1 - \frac{I_{\text{Corr}}}{I_0} \quad (\text{éq II-1})$$

$$\theta = 1 - \frac{V_{\text{inh}}}{V_0} \quad (\text{éq II-2})$$

$$\theta = 1 - \frac{Rt}{Rt_{\text{inh}}} \quad (\text{éq II-3})$$

$$\theta = \frac{EI}{100} \quad (\text{éq II-4})$$

$$\frac{C_{\text{inh}}}{\theta} = \frac{1}{K_{\text{ads}}} + C_{\text{inh}} \quad (\text{éq II-5})$$

$$bC_{\text{inh}} = \frac{\exp(a\theta) - 1}{1 - \exp[-a(1-\theta)]} \quad (\text{éq II-6})$$

$$\text{Ln}\left[\frac{\theta}{C(\theta-1)}\right] = \text{Ln } K + 2a\theta \quad (\text{éq II-7})$$

$$V_{\text{corr}} = \Delta m / (S \cdot t) \quad (\text{éq III-1})$$

$$E\% = (V - V_{\text{inh}}) \cdot 100 / V \quad (\text{éq III-2})$$

$$i = i_0 \left[\exp\left(\frac{\alpha n F \eta}{RT}\right) - \exp\left(-\frac{(\alpha - 1)n F \eta}{RT}\right) \right] \quad (\text{éq III-3})$$

$$\beta_a = RT / \alpha n F \quad (\text{éq III-4})$$

$$\beta_c = RT / (1 - \alpha) n F \quad (\text{éq III-5})$$

$$i = i_0 \left[\exp\left(\frac{\eta}{\beta_a}\right) - \exp\left(-\frac{\eta}{\beta_c}\right) \right] \quad (\text{éq III-6})$$

$$Rp = \Delta E / \Delta t = [\beta_a \cdot \beta_c / (2.3 i_{\text{corr}} (\beta_a + \beta_c))] \quad (\text{éq III-7})$$

Liste des équations

$$E \% = \frac{i_0 - i_{inh}}{i_0} \times 100 \quad (\text{éq. IV. 1})$$



$$\Delta G_{\text{ads}}^\circ = -RT \ln (55,5 K_{\text{ads}}) \quad (\text{éq IV. 4})$$



INTRODUCTION

GENERALE

Introduction générale

Le terme corrosion provient du latin *corrodere*, qui signifie ronger, attaquer. La corrosion, au sens large, peut s'exprimer comme la détérioration d'un matériau par le milieu dans lequel il se trouve. Elle résulte d'interactions physico-chimiques entre le matériau métallique et son environnement, entraînant des modifications des propriétés du métal souvent accompagnées d'une dégradation fonctionnelle de ce dernier (altération de ses propriétés mécaniques, électriques, optiques, esthétiques, etc.). Observé depuis toujours, ce phénomène n'est étudié scientifiquement que depuis 1830 [1].

En matière de protection, les inhibiteurs de corrosion constituent un moyen à part entière de protection contre la corrosion métallique. Un inhibiteur est un composé chimique que l'on ajoute, en faible quantité au milieu pour diminuer la vitesse de corrosion des matériaux. Les inhibiteurs peuvent interférer avec la réaction anodique ou cathodique et forment une barrière protectrice sur la surface du métal contre les agents corrosifs [2]. Les inhibiteurs présentent l'originalité d'être le seul moyen d'intervention à partir du milieu corrosif, ce qui en fait une méthode de contrôle de la corrosion facile à mettre en œuvre et peu onéreuse, pour peu que le ou les produits utilisés soient d'un coût modéré.

Dans le cadre de ce travail de recherche, nous nous sommes intéressés à l'étude de l'inhibition de la corrosion du fer blanc. Le fer-blanc est un produit en acier recouvert d'une couche d'étain. Il est obtenu par voie électrolytique et est utilisé comme emballage. Il est concurrencé par l'aluminium, en particulier pour la fabrication des boîtes-boissons. A l'extérieur des boîtes en fer-blanc, l'étain joue seulement un rôle de barrière physique à la corrosion de l'acier. A l'intérieur de la boîte, milieu hermétiquement clos, en l'absence de dioxygène, en présence d'aliments et d'une solution riche en complexants de l'étain, le comportement électrochimique de la pile étain-fer est modifié et à l'inverse de ce que prévoient les valeurs des potentiels standards des couples redox, l'étain se comporte, en général, comme une anode sacrificielle assurant une protection cathodique du fer. Par contre dans le cas des boissons carbonatées, la pile Sn-Fe fonctionne dans le sens habituel et l'acier est rapidement attaqué [3]. De plus, la protection intérieure des boîtes de conserve est renforcée par la présence des inhibiteurs.

L'objectif de notre travail est d'étudier l'interaction entre l'huile olive sur la surface de fer blanc dans un milieu acide (H_2SO_4 1M) à température ambiante.

Introduction générale

Notre travail sera donc réparti en deux parties :

- ✓ La première partie c'est la partie bibliographique est subdivisée en deux chapitres dans le premier chapitre une généralité sur la corrosion et dans le deuxième chapitre on décrit l'inhibiteur, Généralité sur les huiles verte.
- ✓ La deuxième partie c'est la partie expérimentale est subdivisée en deux chapitres: Dans le troisième chapitre nous développerons le matériel et les méthodes électrochimiques utilisées pour ce travail (inhibition la corrosion de fer blanc par l'huile d'olive). Enfin le quatrième chapitre consacré à la présentation et la discussion des résultats obtenus.

Ce travail se termine par une conclusion générale résumant l'essentiel des résultats.

Références Bibliographiques

- [1] J.J. Lamoureux, Précis de Corrosion, MASSON, (1994).
- [2] F. Khoukhi, « étude de l'efficacité de deux inhibiteurs de corrosion dans les milieux multiphasique (eau, huile et gaz) », Mémoire de magister, Université de Boumerdes, (2008).
- [3] <https://lelementarium.fr/product/fer-blanc>. consulté le 12/06/2022



CHAPITRE I

I.1- Introduction

L'importance considérable de la corrosion dans la vie quotidienne (domestique ou industrielle) n'est plus à démontrer. En effet, ce phénomène touche pratiquement toutes les réalisations de l'ingénieur, des plus grandes au plus petites : production de l'énergie, construction, transport, secteur médical, l'électronique, etc. [1]. Dans ce chapitre on peut présenter quelques notions principaux sur la corrosion, ces types, ces formes et les facteurs qui dues de cette problèmes.

I.2- Définition

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). La corrosion est définie comme la dégradation d'un matériau due à l'interaction avec son environnement, ce qui dans le cas d'un métal met en jeu l'oxydation anodique du métal lui-même et la réduction cathodique des espèces oxydantes, la plupart du temps l'eau ou l'oxygène. C'est un processus spontané qui se produit avec une libération d'énergie libre.

On parle de corrosion localisée lorsque les zones d'activité cathodique et anodique sont physiquement séparées et forment une cellule électrochimique à l'échelle macroscopique voire microscopique [2,3].

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 ; comme il a été déjà mentionné ci-dessus le processus de la corrosion entraîne une destruction des matériaux métalliques. Ce phénomène à pris de nos jours une importance considérable, étant donné l'utilisation de plus en plus grande des métaux et alliages dans la vie moderne [2].

I.3- Les différentes formes de corrosion microstructurale

I.3.1- Corrosion par piqûres

La corrosion par piqûre, en anglais pitting (piqûration), se traduit, comme son nom l'indique, par la formation de petits « trous » (pits) à la surface du matériau. Le

diamètre de ces trous est de l'ordre du μm et ils peuvent se développer dans le matériau jusqu'à des profondeurs de l'ordre du mm [3].

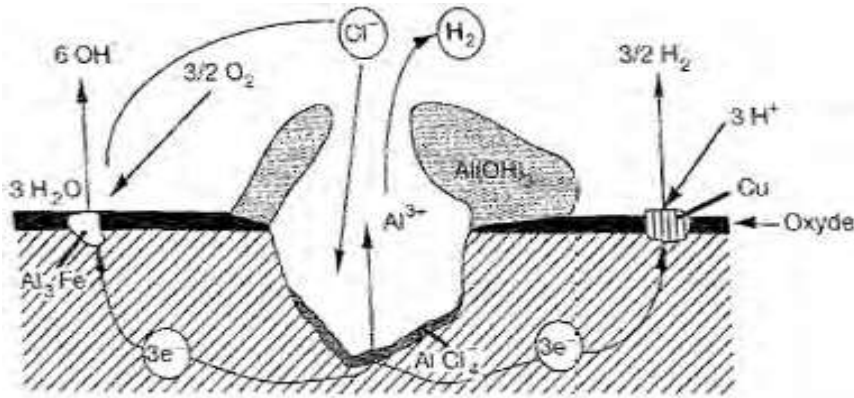


Figure (I,1) : Propagation de la piqûre dans l'aluminium [4].

I.3.2- Corrosion intergranulaire (IGC)

La corrosion intergranulaire, est, comme son nom l'indique, une forme de corrosion qui se développe le long des joints de grain. Généralement, elle ne produit peu ou pas de corrosion des grains, qui, dans la pire des situations, se déchaussent. Ce type de corrosion est de loin le plus sérieux puisqu'il entraîne, dans la totalité des cas, la perte des propriétés structurales du matériau.

Son origine provient d'une différence de potentiel entre la phase à l'intérieur des grains et les phases situées au niveau des joints de grain qui forment une pile électrochimique.

On considère que l'initiation de l'IGC est de même nature que la piqûre ou que n'importe quel autre mécanisme de corrosion localisée, c'est-à-dire la rupture du film passif, dont on a parlé ci-dessus. Dans le cas de l'IGC, cette rupture peut se produire sous la forme d'une piqûre au niveau d'un point triple où sont concentrés les défauts microstructuraux. Cette piqûre se propagera sous forme d'IGC, alimentée par le couplage galvanique et la formation d'un milieu acide afin d'éviter une repassivation due au transport limité d' O_2 dans les interstices [3].



Figure (I ,2) : Corrosion inter granulaire [5]

I.3.3- Corrosion par l'hydrogène

L'hydrogène peut pénétrer dans le métal quand il est produit à l'interface métal/film d'oxyde lors d'une réduction liée à la corrosion. En fond de fissure, le métal est nu. Il réagit avec l'eau et libère de l'hydrogène naissant qui se concentre aux joints de grains et facilite une décohésion inter cristalline [6].

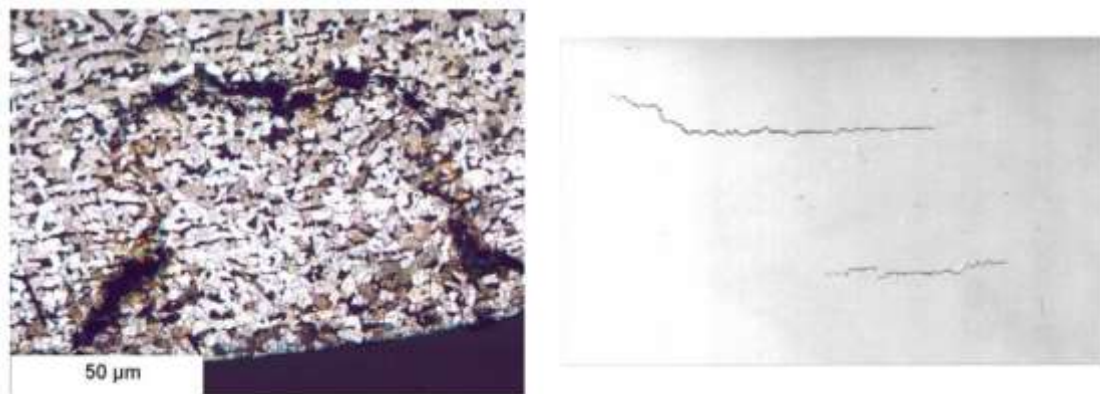


Figure (I ,3) La fragilisation par hydrogène d'une pièce métallique [7]

I.3.4- Corrosion filiforme (FFC)

La corrosion filiforme apparaît à l'interface revêtement-Al et se développe sous forme de filaments, d'où son nom. A la différence de l'IGC, ce type de corrosion n'entraîne pas la perte des propriétés mécaniques du matériau mais la perte de ses propriétés esthétiques.

L'amorçage est due à un défaut du revêtement qui met à nu le substrat et cause la rupture de son film passif. Des produits de corrosion se forment entre le revêtement et le substrat à travers lesquels doivent diffuser les deux réactifs qui permettent l'alimentation de la dissolution : l'eau (H_3O^+) et O_2 . L'obstruction [3].

I.3.5- Corrosion par caverneuse

Elle est due à une différence d'accessibilité de l'oxygène entre deux parties d'une structure, créant ainsi une pile électrochimique. Cette attaque sélective du métal est observée dans les fissures et autres endroits peu accessibles à l'oxygène



Figure (I, 4) : Corrosion par caverneuse. [3]

I.3.6- Corrosion frottement (tribocorrosion)

La corrosion frottement concerne les dommages provoqués par la corrosion au niveau du contact de deux surfaces métalliques en mouvement relatif l'une par rapport à l'autre. Elle se produit essentiellement lorsque l'interface est soumise à des vibrations (mouvement relatif répété de deux surfaces en contact) et à des charges de compression. Ce mouvement relatif peut être très faible ("petits débattements" de l'ordre de quelques micromètres) [8].

I.3.7 La corrosion galvanique :(appelée aussi corrosion bimétallique)

L'appellation " Corrosion galvanique " prête à confusion puisque toute corrosion électrochimique est galvanique. Elle introduit les notions d'anode et de cathode et la différence de potentiel entre chacune ainsi que le courant de corrosion, [5] figure (I ,5).

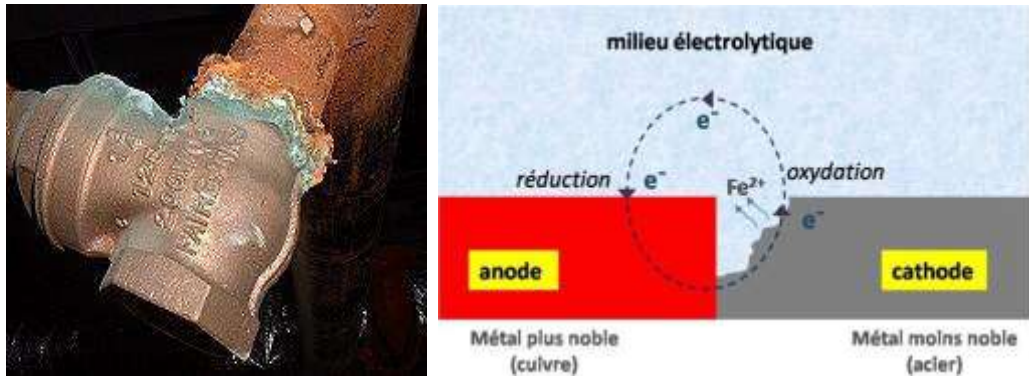


Figure (I ,5) : corrosion galvanique de cuivre par couplage avec l'acier [7].

I.4- Différents processus de la corrosion

Les causes de la corrosion sont multiples et complexes et elles résultent d'interactions chimiques et /ou physiques entre le matériau et son environnement. La corrosion jusqu'à ce jour n'est pas complètement éclairée et cela est expliqué par les essais de laboratoire qui ne permettent pas de prévoir avec certitude le comportement d'un métal ou d'un alliage donné lorsqu'il est exposé à la corrosion et de même il n'y a pas de métal résistant, d'une manière générale un métal résiste à la corrosion dans des conditions bien déterminées.

En général on peut résumer les différents processus de la corrosion comme ci-dessous :

- ✓ Corrosion chimique (sèche).
- ✓ Corrosion électrochimique (humide).
- ✓ Corrosion biochimique.
- ✓ Corrosion accompagnée d'érosion (mécanique) [2].

I.4.1 -Corrosion chimique (sèche)

Il s'agit d'une réaction hétérogène entre une phase solide (le métal) et une phase gazeuse. Le processus d'oxydoréduction de la corrosion chimique se déroule dans le domaine atomique avec le milieu ambiant sans présence d'électrolyte. Donc la corrosion purement chimique ne fait donc pas intervenir le passage d'un courant électrique, un

flux électronique cesse, car l'échange d'électrons entre les différents partenaires de réactions s'effectue directement.

L'air renferme l'oxygène, de la vapeur d'eau et des vapeurs acides (anhydride carbonique CO_2 et sulfureux SO_2 , hydrogène sulfureux H_2S etc.) ce sont les agents corrosifs mais le plus souvent c'est le CO_2 . On admet que la formation de la rouille est alors la résultante de l'action de tous ces corps, mais il faut qu'un acide soit présent, même en protection faible pour que l'attaque puisse se produire.

L'attaque du métal par une réaction chimique avec le milieu ambiant sans intervention du courant électrique nécessite généralement des températures élevées, la réaction qui se produit est de la forme :



Il est très difficile de donner des exemples de corrosion purement chimique, puisque le plus souvent elle est accompagnée de corrosion électrochimique. On peut considérer comme corrosion chimique l'attaque d'un métal par un autre métal liquide (Hg), par un seul fondu ou par une solution aqueuse (Al dans CCl_4) l'exemple de la corrosion sèche en atmosphère oxydante à haute température [2].

I.4.2- Corrosion biochimique

La corrosion bactérienne est due à la présence de colonies importantes de bactéries dites anaérobies 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, elle est réalisée par injection de produits bactéricides dans les milieux corrosifs [9].



Figure (I.6) : Exemple de bactéries responsable de la corrosion bactérienne et corrosion dentaire [7]

I.4.3- Corrosion avec érosion, avec frottement et par cavitation

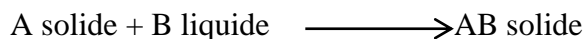
Dans ce cas les produits de corrosion forment un dépôt adhérent et continu à la surface de métal. Ils ralentissent en général la vitesse de la corrosion. Cette couche peut être éliminée en certains points par abrasion du métal due au mouvement du liquide lui-même ou bien à celui des particules solides 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, la corrosion petite donc se développer à nouveau [2].

I.4.4- Corrosion électrochimique

C'est le phénomène de corrosion le plus important et elle se manifeste lorsque le réactif est un liquide ou lorsqu'il existe une hétérogénéité soit dans le métal ou dans le réactif, présentant une dissymétrie de composition.

L'existence de ces hétérogénéités détermine la formation d'une pile, alors un courant électrique circule entre anodes et cathodes dans le réactif et les zones qui constituent les anodes sont attaquées (corrodées). Pour une corrosion électrochimique on a :

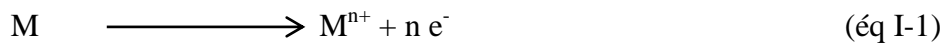


En général il n'existe pas un métal idéalement pur, il contient toujours des hétérogénéités physiques ou chimiques dont le potentiel de corrosion est en général différent de celui de la matrice. C'est à dire les métaux ne sont pas monophasés lorsqu'ils sont plongés dans le réactif [2].

I.5- Aspect électrochimique de la corrosion

Bien que les formes de corrosion soient diverses, les mécanismes de base de la corrosion d'un matériau métallique en milieu aqueux sont au départ de nature électrochimique. Ils résultent d'un ensemble de réactions se produisant à l'interface métal-solution et mettant en jeu des électrons et des espèces chimiques [8]. Les réactions électrochimiques simplifiées peuvent être décrites de la façon suivante:

a)- Réaction anodique de dissolution du métal [10]



Anode = électrode où se produit la réaction d'oxydation (dissolution du métal), où le courant passe du métal vers la solution.

b)- Réaction cathodique de réduction d'une espèce de l'électrolyte (Ox) [10]



Cathode = électrode où se produit la réaction de réduction (déposition à la surface du métal), où le courant passe de la solution vers le métal.

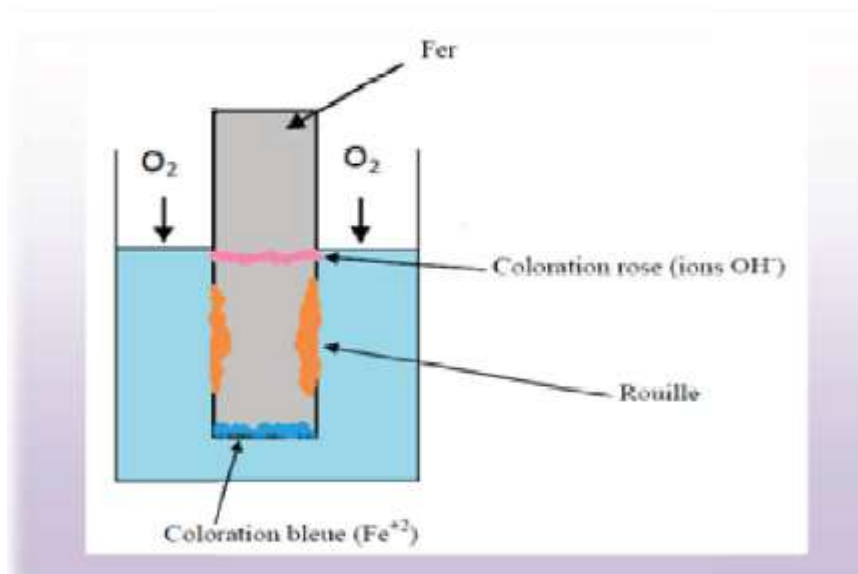
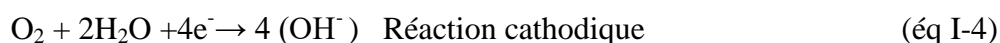
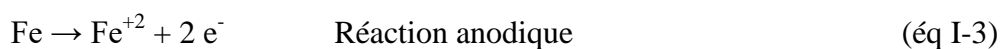


Figure (I.7) corrosion de fer en milieu aqueuse [11].

Les réactions pour solution neutre ou alcalin s'écrivent :



I.6- Les facteurs de la corrosion

Les phénomènes de corrosion dépendent de plusieurs facteurs qui peuvent être classés en quatre groupes principaux tels que les :

- ✓ facteurs définissant les modes d'attaque,
- ✓ facteurs métallurgiques,
- ✓ facteurs définissant les conditions d'emploi,
- ✓ facteurs dépendant du temps.

Tableau I.1 : Facteur de corrosion [12].

<p>Facteurs relatifs au milieu et définissant le mode d'attaque</p>	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Concentration du réactif. <input type="checkbox"/> Teneur en Oxygène, en impuretés en gaz dissous (CO₂, NH₃, H₂S, ...) <input type="checkbox"/> Acidité du milieu, salinité, résistivité. <input type="checkbox"/> Température, pression. <input type="checkbox"/> Présence de bactérie.
<p>Facteurs Métallurgiques</p>	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> composition d'alliage, hétérogénéités cristallines. <input type="checkbox"/> Procédés d'élaboration. <input type="checkbox"/> Impuretés dans l'alliage, inclusions. <input type="checkbox"/> Traitements thermiques, mécaniques. <input type="checkbox"/> Additions protectrices.
<p>Facteurs définissant les conditions d'emploi</p>	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Etat de surface, défauts de fabrication. <input type="checkbox"/> Formes de pièces. <input type="checkbox"/> Sollicitations mécaniques. <input type="checkbox"/> Emploi d'inhibiteurs. <input type="checkbox"/> Procédés d'assemblage (couples galvaniques, soudures, etc.).

	<input type="checkbox"/> Croûte d'oxydes superficiels. <input type="checkbox"/> Force électromotrice extérieure (électrolyse).
facteurs dépendants du temps	<input type="checkbox"/> Vieillissement. <input type="checkbox"/> Tensions mécaniques internes ou externes. <input type="checkbox"/> Température- modalité d'accès de l'oxygène ou autre gaz dissout. <input type="checkbox"/> Modification des revêtements protecteurs. <input type="checkbox"/> Apparition d'un dépôt (calcique ou autre).

I.7- Paramètres influençant sur la vitesse de corrosion

La vitesse de corrosion d'un métal dans un milieu corrosif dépend à la fois des caractéristiques de deux paramètres la température et le pH, ces deux paramètres ont une influence directe sur la vitesse de corrosion, et une influence indirecte à travers la phase aqueuse. Les conditions de flux, le film formé à la surface du métal et la pression ont une influence directe à travers la pression partielle du CO₂.

I.7.1- Influence de pH

Le pH de la solution est un facteur susceptible d'affecter la stabilité du film passif. L'augmentation de l'acidité et donc la quantité de protons a tendance à déstabiliser ce film. Un milieu très acide freine la déprotéinisation à laquelle la

formation du film passif conduite peu même provoquer la dissolution d'un film déjà formé [13].

I.7.2- Effet de la température

Généralement, l'augmentation de la température accélère les phénomènes de corrosion, car elle diminue les domaines de stabilité des métaux et accélère les cinétiques de réactions et de transport. L'importance de son influence diffère cependant en fonction du milieu corrosif dans le quelle se trouve le matériau [14].

I.7.3- Régime hydrodynamique

Le transport des réactifs vers l'interface et des produits de réaction vers l'électrolyte a modifié la cinétique des réactions électrochimiques en changeant la concentration des espèces et donc le potentiel d'équilibre. Les conditions hydrodynamiques fixent les vitesses de réactions en contrôlant le transport de matière par l'établissement d'une couche de limite de diffusion des espèces, appelée couche de Nernst, ce qui explique l'importance de l'agitation de l'électrolyte lors des essais de corrosion au laboratoire [15].

I.7.4- La salinité

Les chlorures sont des ions agressifs, souvent à l'origine de corrosion localisée, leur présence en solution s'accompagne d'effets complémentaires, d'une part, leur concentration locale induit une acidification du milieu et d'autre part, la salinité une influence sur la conductivité du milieu [14].

I.8- Protection contre la corrosion

Compte tenu, en particulier, des impératifs de sécurité et d'économie, les problèmes de la corrosion sont souvent délicats à résoudre. Le choix des moyens de protection doit être soigneusement analysé. Nous ne citons ici que les principaux procédés applicables à l'anticorrosion. Il sera possible de lutter contre ces effets par [16].

- ✓ protection électrochimique (anodique et cathodique).

- ✓ prévention par une forme adaptée des pièces;
- ✓ prévention par un choix judicieux des matériaux;
- ✓ protection par revêtements;
- ✓ protection par inhibiteurs;

I.8.1- Protection cathodique [17]

La protection cathodique est utilisée souvent pour protéger les structures lourdes en acier tel que les installations chimiques, les conduites enterrées, les bateaux. Elle pourra se faire soit par :

I.8.1.1- courant imposé

Ce mode de protection est appelé, plus communément, protection par soutirage. Il permet de protéger certaines pièces très sensibles ou d'accès difficile, comme canalisation en contact avec le milieu corrosif. Elle consiste à faire circuler un courant cathodique en abaissant le potentiel de la pièce. Il se produit alors une réduction accélérée de l'eau et de l'oxygène sur la pièce, et pas ou très peu d'oxydation du métal. Cela revient à faire une électrolyse de l'eau en se servant des pièces à protéger comme cathode.

I.8.1.2- anode sacrificielle

L'anode sacrificielle forme une pile avec la structure à protéger qui joue le rôle de cathode, elle doit posséder un potentiel inférieur que l'on veut protéger.

I.8.2- Protection anodique [18]

Le principe de la protection anodique diffère de celui de la protection cathodique en ce sens qu'on fait augmenter le potentiel de corrosion de façon qu'il se situe dans la zone passive. Cette méthode est donc uniquement applicable aux métaux qui peuvent être passifs.

La densité de courant nécessaire pour maintenir le métal à l'état passif équivaut à la densité de courant passif qui est normalement très faible. Le maintien d'une protection anodique ne nécessite donc que peu de courant. En revanche, pour atteindre

l'état passif, il faut appliquer initialement une densité de courant nettement plus élevée car, elle doit être supérieure à la densité de courant de passivation.

I.8.3-Protection par revêtement [17,18] :

La technique de revêtement utilise pour lutter contre la corrosion par la modification de l'interface métal-solution par élaboration d'un revêtement protecteur, métallique ou non métallique.

I.8.3.1- revêtement métallique

Les revêtements métalliques sont couramment employés pour protéger l'acier contre la corrosion atmosphérique. Selon leur comportement à la corrosion par rapport au substrat on distingue deux types de revêtements métalliques :

- ✓ Ceux plus nobles que le substrat cathodique,
- ✓ Ceux moins nobles que le substrat anodique.

I.8.4-Protection par inhibiteurs

Notre recherche portera sur inhibiteurs de corrosion

I.9- Conclusion

La protection contre la corrosion doit être considérée pour éviter de nombreux problèmes et garantir une certaine durée de vie. La solution adoptée doit être compatible avec les prescriptions concernant la protection de l'environnement et permettre le recyclage ou l'élimination des différents composants à la fin de leur utilisation. Plusieurs méthodes sont disponibles pour la protection contre la corrosion. L'utilisation des inhibiteurs est l'une des méthodes utilisées pour la protection des métaux contre la corrosion.

Références Bibliographiques

- [1] A. Aliouali, « Etude du comportement à la corrosion de l'aluminium dans différents milieux », Thèse de doctorat, Université de Batna 2, (2017).
- [2] S. Bensaada, « Cours de Corrosion », Université de Biskra, (2016).
- [3] N. Murer, « Contribution à la modélisation de la corrosion microstructurale des alliages d'aluminium », Thèse de Doctorat, Université de Bourgogne, (2008).
- [4] C. Vargel, Corrosion De L'aluminium, Dunod, Paris, (1999).
- [5] H. Marmi, « Amélioration de la résistance à la corrosion électrochimique des aciers par utilisation des inhibiteurs », Thèse doctorat, Université de Biskra, (2017).
- [6] D. Landolt, «Corrosion et Chimie de Surfaces des métaux, Traité des matériaux 12», Edition Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, (2003).
- [7] K. Dob, « Etude électrochimique de l'efficacité inhibitrice de substances vertes sur la corrosion de l'acier au carbone dans un milieu aqueux », Thèse doctorat, Université de Skikda, (2018) .
- [8] A. Lehoumel, «Etude du comportement électrochimique de l'acier galvaniséZ275 en milieu salin», Mémoire de master, Université Med Khider de BISKRA. (2017).
- [9] K. Rouibah, «Contribution à l'étude du comportement électrochimique du couple galvanique acier au carbone/anodes de zinc dans l'eau de mer naturelle», Mémoire de Magister, USTHB, (2003).
- [10] B. Grosgeat, P. Colon, « la corrosion, Société Francophone de Biomateriaux Dentaires», Université Médicale Virtuelle Francophone, (2010).
- [11] B. Houria, «Etude et caractérisation de la protection du cuivre et de l'alliage cuivre-zinc par des couches minces auto assemblées d'alcanethiols .Effet des espèces sulfurées», mémoire de Magister, université de M'sila, (2013).
- [12] L. Dong, L. Yuanhua, et al., «Corrosion inhibition of carbon steel in hydrochloric acid solution by rice bran extracts », Anti-corrosion Methods and Materials, vol. 58(2011).
- [13] N. Lebozec, « Réaction de réduction de l'oxygène sur les aciers inoxydables en eau de mer naturelle. Influence du biofilm sur les processus de corrosion », Thèse Doctorat, Université de Bretagne Occidentale (2000).
- [14] S. Payan, « Comportement à la corrosion galvanique de matériaux composites à matrice d'alliage d'aluminium renforcée par des fibres de carbone haut-module », Thèse de doctorat, Université de Bordeaux, France (2001).

[15] K. Faiza, «Etude de l'efficacité de deux inhibiteurs de corrosion dans les milieux multiphasiques (eau, huile et gaz)», Mémoire de Magister, Université Boumerdes (2008).

[16] S. Saadoune, «Synthèse et caractérisation d'inhibiteurs bi-fonctionnels : application à la corrosion des aciers de construction», Mémoire de Magister, Université Ferhat Abbas-Setif, (2010)

[17] J. J Lamoureux, "Précis de corrosion"; Masson, Beau chemin (1994)

[18] H. Essom, «Corrosion et Protection », Publication de l'université Badji Mokhtar, Annaba, (2010).



CHAPITRE II

II.1-Introduction

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) [1].

II.2- Définition

La définition d'un inhibiteur de corrosion n'est pas unique, néanmoins celle retenue par la National Association of Corrosion Engineers (NACE) est la suivante : Un inhibiteur est « une substance qui retarde la corrosion lorsqu'elle ajoutée à un environnement en faible concentration » [2].

Un inhibiteur est une “substance chimique ajoutée au système de corrosion à une concentration choisie pour son efficacité ; celle-ci entraîne une diminution de la vitesse de corrosion du métal sans modifier de manière significative la concentration d'aucun agent corrosif contenu dans le milieu agressif” [3].

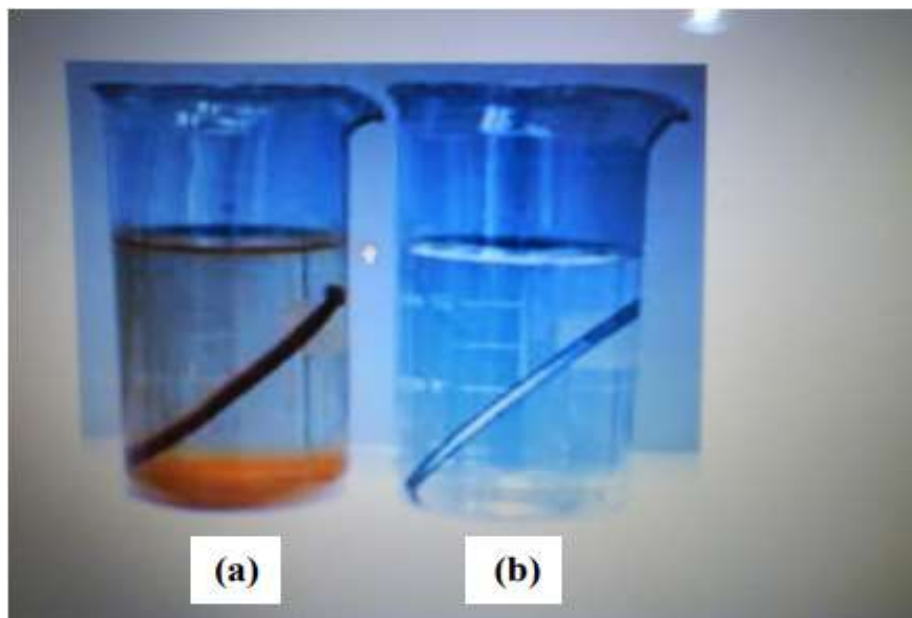


Figure (II.1) : Métal au contact d'un milieu agressif [4].

(a) – sans inhibiteur et (b) – avec inhibiteur

II.3- Les propriétés des inhibiteurs

Un inhibiteur doit :

- ✓ Abaisser la vitesse de corrosion du métal tout en conservant les caractéristiques physico-chimiques de ce dernier.
- ✓ Être compatible avec les normes en vigueur de non-toxicité et de protection de l'environnement.
- ✓ Être efficace à faible concentration.
- ✓ Être stable en présence d'autres constituants.
- ✓ Être stable dans le domaine de températures utilisé [5]

II.4- Classement des inhibiteurs

Les inhibiteurs de corrosion peuvent être des produits chimiques synthétiques ou naturels et pourraient être classés par la nature chimique organique ou inorganique, le mécanisme d'action en tant qu'anodique, cathodique ou un mélange anodique-cathodique et par adsorption [6].

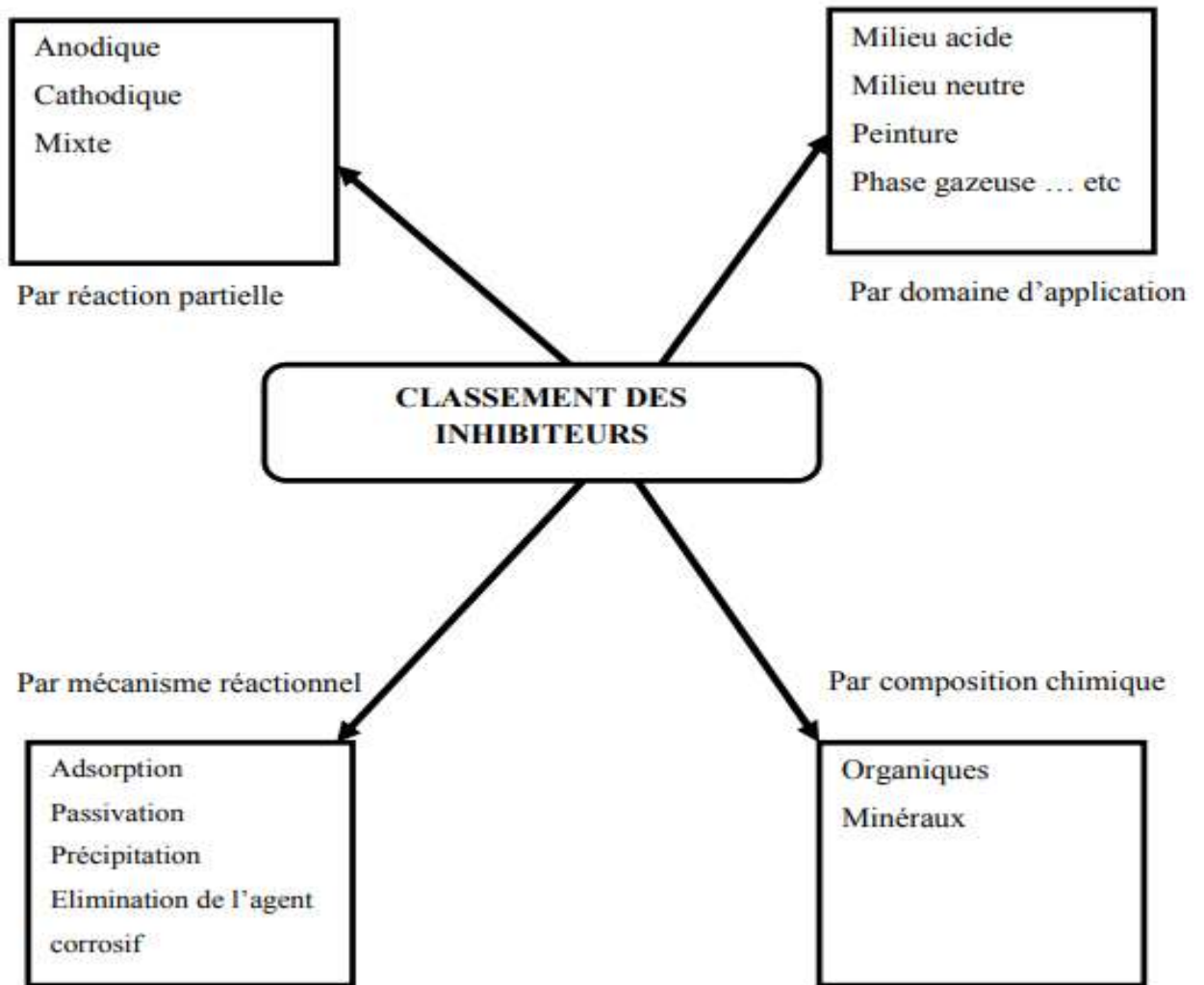


Figure (II.2) : Classement des inhibiteurs de corrosion [7].

II.4.1- Classement selon la nature des molécules de l'inhibiteur

II.4.1.1- Les inhibiteurs organiques

Les inhibiteurs organiques représentent un groupe très important d'inhibiteurs de corrosion. La plupart de ces inhibiteurs ont dans leur structure principalement des atomes d'azote, de soufre ou d'oxygène. Les inhibiteurs qui contiennent du soufre sont plus efficaces que ceux qui contiennent l'azote, parce que le soufre est un meilleur donneur d'électrons que l'azote. La principale caractéristique de ces inhibiteurs est leur efficacité élevée, même à faible concentration. L'effet inhibiteur augmente souvent avec le poids moléculaire de l'inhibiteur. L'utilisation d'inhibiteurs organiques est actuellement préférée à celle d'inhibiteurs inorganiques pour des raisons d'écotoxicité

essentiellement. Les groupes fonctionnels usuels, permettant leur fixation sur le métal, sont les radicales amines (-NH₂), mer capto (-SH), hydroxyle (-OH), carboxyle (-COOH).

Les inhibiteurs organiques les plus utilisés sont des sous-produits de l'industrie pétrolière qui sont moins onéreux [8].

II.4.1.2- Les inhibiteurs inorganiques

Les inhibiteurs minéraux sont utilisés en milieu neutre/alcalin mais rarement en milieu acide. Ce sont souvent leurs produits de dissociation (anion ou cation) qui sont efficaces en tant qu'inhibiteurs de corrosion. Parmi les anions inhibiteurs, on trouve les chromates, les phosphates, les molybdates, les nitrates, les nitrites, les silicates, etc.... et Parmi les cations inhibiteur on trouve essentiellement les ions Ca^{2+} et Zn^{2+} . Les inhibiteurs minéraux sont de moins en moins utilisés en raison de leur toxicité. Leur emploi se limite à certains systèmes en circuit fermé [5, 9,10].

II.4.2- Par domaine d'application

Souvent, on classe les inhibiteurs selon leur domaine d'application :

- ✓ **Inhibiteurs pour milieux neutres :** Ils servent surtout à protéger des circuits d'eau de refroidissement. La corrosion en milieu neutre est due essentiellement à l'oxygène dissous et à la présence des agressifs tels les ions chlorure, sulfate et les nitrate.
- ✓ **Inhibiteurs pour milieux acides :** Ils sont employée, entre autres, pour éviter une attaque chimique de métal lors du décapage. Dans l'industrie pétrolière, on les ajoute aux fluides de forage.
- ✓ **Inhibiteurs pour milieux organiques :** Ils sont utilisés dans les lubrifiants pour moteurs par exemple. Ces liquides contiennent souvent des traces d'eau et des espèces ioniques qui peuvent provoquent une corrosion.
- ✓ **Inhibiteurs pour peintures :** Ils jouent également un rôle important tels les pigments inorganiques ou les tannins.

- ✓ **Inhibiteurs pour milieux gazeux :** Ils sont employés pour une protection temporaire des objets emballés pendant le transport et le stockage. Ces composés s'absorbent sur la surface métallique et la protège contre la corrosion atmosphérique [11].

II.4.3- Par réaction partielle (Mécanisme d'action électrochimique)

Dans la classification relative au mécanisme d'action électrochimique, on peut distinguer les inhibiteurs anodique, cathodique ou mixte (regroupant alors les deux premières propriétés). L'inhibiteur de corrosion forme une couche barrière sur la surface métallique (figure II.3) 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 du dioxygène en milieu neutre aéré ou siège de la réduction du proton H^+ en milieu acide) [12].

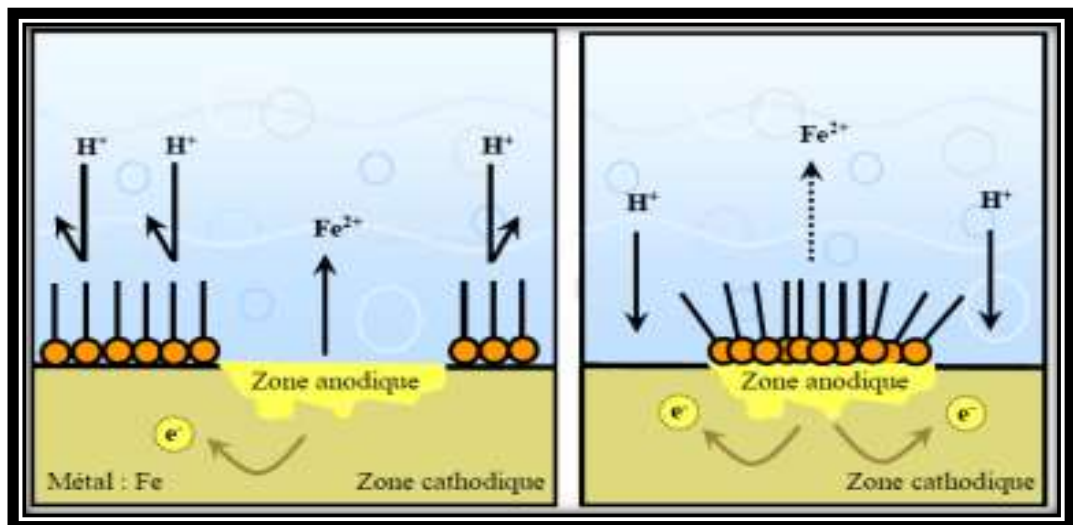


Figure (II.3) : Formation des couches barrières a) cathodiques et b) anodiques interférant avec les réactions électrochimiques, dans le cas d'une étude en milieu acide [13].

II.4.3.1- Les inhibiteurs anodiques

Les inhibiteurs anodiques sont très nombreux. Ce sont des substances inorganiques comme les ortho phosphates, silicates, chromates,.....Leur mode d'action

consiste à élever la valeur du potentiel de corrosion du matériau afin de l'amener à une valeur pour laquelle il y a formation d'un film passif protecteur sur l'anode [14].

II.4.3.2- Les inhibiteurs cathodiques

L'action de ces inhibiteurs se traduit par une diminution de la vitesse de la réaction cathodique et donc par un déplacement du potentiel de corrosion vers des valeurs moins nobles par d'augmenter la surtension cathodique et en diminuant la concentration d'O₂ dans le milieu corrosif [15,16].

II.4.3.3- Inhibiteurs mixtes

Les inhibiteurs mixtes diminuent la vitesse des deux réactions partielles en modifiant peu le potentiel de corrosion. Les inhibiteurs de corrosion qui augmentent la résistance ohmique de l'électrolyte. La résistance de la solution augmente suite à la formation d'un film à la surface du métal, lorsque le film est déposé sélectivement sur la surface anodique, le potentiel de corrosion se déplace vers des valeurs positives. Dans le cas où le film est déposé à la surface cathodique, le potentiel de corrosion balance vers des valeurs négatives [17].

II.4.4- Par mécanisme réactionnel

Dans la classification liée au mécanisme réactionnel mis en jeu en fonction de leur mode d'action, on peut distinguer différents types d'inhibiteurs : ceux agissant par adsorption, Par passivation ou par précipitation.

II.4.4.1- Les inhibiteurs agissant par adsorption

Suite à l'adsorption d'une espèce inhibitrice à la surface du métal, la corrosion peut ralentir. En général, ce sont les inhibiteurs organiques qui agissent par adsorption. Cela empêche l'action du milieu agressif par la fixation de ces espèces sur la surface métallique. Cette fixation s'effectue principalement par la fonction active de l'inhibiteur ; mais d'autres parties polaires peuvent aussi être adsorbées. Les inhibiteurs agissant par la chimisorption s'avèrent souvent plus efficaces que ceux agissant par la physisorption, car le partage des électrons en force la liaison entre le substrat métallique et l'espèce inhibitrice. Pour la chimisorption, la molécule inhibitrice se comporte

comme donneur d'électrons et le métal se comporte comme un récepteur de ces mêmes [18].

II.4.4.2- Par passivation

La passivation est le fait de rendre un métal non-réactif suite à l'application d'un revêtement au moyen d'une modification plus spécialisée de sa surface. Certains inhibiteurs oxydants agissent en provoquant une passivation spontanée du métal, ce qui diminue la vitesse de corrosion. La passivation peut être favorisée également par des agents tampons qui augmentent le pH près de la surface métallique [19].

II.4.4.3- Par précipitation

Provoquent la formation d'un film superficiel constitué de sels minéraux ou de complexes organiques peu solubles formé lors de la précipitation des produits de réaction cathodique tout en bloquant la dissolution anodique. Il s'agit généralement de sels d'acide faible et de base forte comme les borates, les silicates, les phosphates, les poly-phosphates et les sels de zinc [20].

II.4.4.4- Par élimination de l'agent corrosif

L'inhibiteur par élimination de l'agent corrosif n'est que dans des systèmes fermés. Elle se pratique notamment dans les circuits d'eau chaude fermés des centrales thermique [21].

II.5- Domaine d'application

Les inhibiteurs ont plusieurs domaines traditionnels d'application :

- ✓ L'industrie du pétrole : l'utilisation d'inhibiteurs de corrosion est importante pour la protection des installations pétrolière.
- ✓ Le traitement des eaux.
- ✓ L'industrie des peintures sur métaux.
- ✓ La protection temporaire des métaux, notamment pendant le décapage acide, le nettoyage des installations ou le stockage à l'atmosphère [22].

II.6- Bio-inhibiteurs (inhibiteurs vert)

Les inhibiteurs verts de corrosion présentent un intérêt, car la prise de conscience environnementale a augmenté et une modification de la réglementation limitant les inhibiteurs de corrosion habituels en raison de leur toxicité. Les produits naturels sont une bonne source d'inhibiteurs de corrosion écologiques, la plupart de leurs extraits contenant les éléments nécessaires tels que O, C, N et S, qui sont actifs dans les composés organiques, facilitant l'adsorption de ces composés sur des métaux ou des alliages pour former un film qui protège la surface et empêche la corrosion. Le développement de la chimie verte et des technologies de la chimie verte offre de nouvelles méthodes de synthèse différentes substances (polymère, extrait de plante, acide aminé, liquide ionique...), considérées comme de nouveaux inhibiteurs de corrosion (**Figure II.4**).

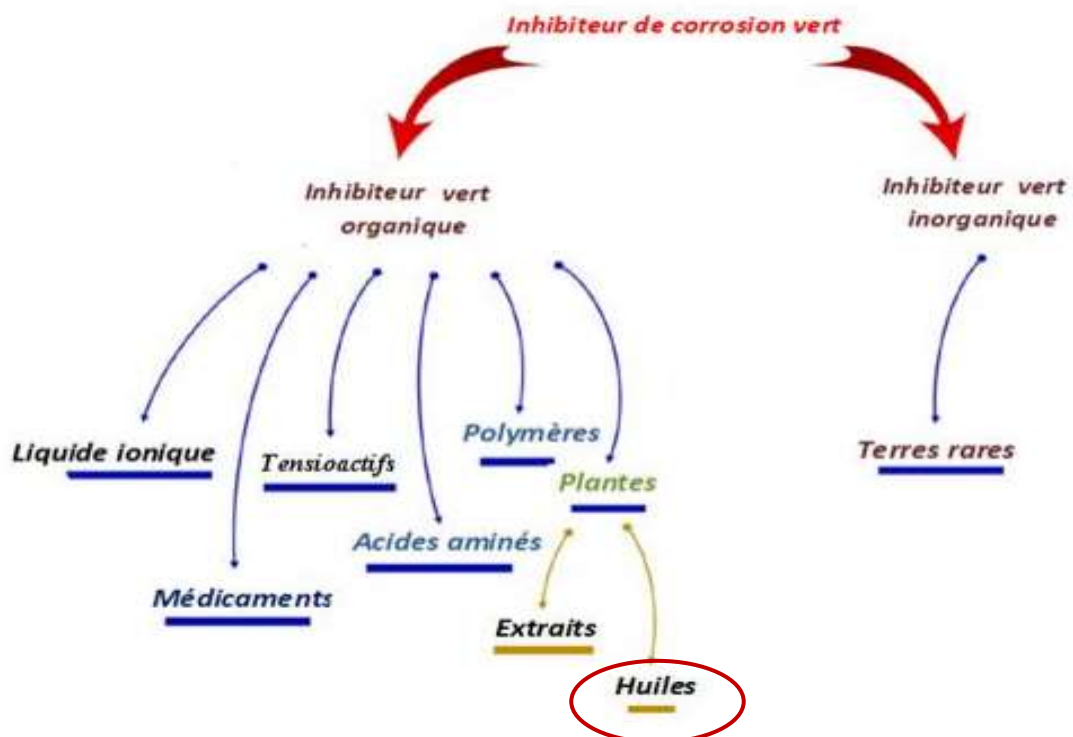


Figure (II.4) : Différents classes des inhibiteurs verts de corrosion

Les inhibiteurs verts agissent lorsqu'ils sont ajoutés à de très faibles concentrations pour traiter la surface de métaux ou d'alliages dans un environnement corrosif. Les extraits de plantes sont réputés être des composés chimiques de synthèse

naturelle riches qui affectent le taux de corrosion par adsorption d'espèces efficaces sur des surfaces métalliques lorsqu'ils sont ajoutés à de nombreux systèmes industriels [23].

II.7- Isotherme d'adsorption

L'isotherme d'adsorption, est d'étudier le mécanisme d'adsorption de l'inhibiteur. Le processus d'adsorption dépend des caractéristiques électroniques de l'inhibiteur, la nature de surface des métaux, la température, les effets stériques et les divers degrés de l'activité d'un site.

Les valeurs de la surface recouverte (θ) ont été obtenues à partir des densités de courant de corrosion pour différentes concentrations de composé organique comme suit.

$$\theta = 1 - \frac{I_{Corr}}{I_0} \quad (\text{éq II-1})$$

Où I_0 et I_{Corr} sont les valeurs de densité de courant de corrosion sans et avec l'inhibiteur, respectivement.

$$\bullet \text{ Pour la masse perdue : } \theta = 1 - \frac{V_{inh}}{V_0} \quad (\text{éq II-2})$$

Où V_0 et V_{inh} représentent respectivement les vitesses de corrosion de l'acier doux en absence et en présence de l'inhibiteur.

$$\bullet \text{ Pour l'impédance : } \theta = 1 - \frac{Rt}{Rt_{inh}} \quad (\text{éq II-3})$$

Où Rt et Rt_{inh} sont respectivement les valeurs des résistances de transfert de charge de l'acier

$$\text{Généralement : } \theta = \frac{EI}{100} \quad (\text{éq II-4})$$

EI : L'efficacité de l'inhibiteur en (%)

II.7.1- Isotherme de Langmuir

Le modèle de Langmuir suppose qu'il existe à la surface un nombre fixe de sites. Chacun de ces sites ne peut adsorber qu'une seule particule. De plus, comme on néglige les interactions entre particules adsorbées, l'énergie d'adsorption est constante. La vitesse d'adsorption est proportionnelle à la concentration en inhibiteur C_{inh} et à la

fraction de sites d'adsorption non occupée $(1-\theta)$, sachant que θ représente la fraction de sites occupés par l'inhibiteur $(0 < \theta < 1)$.

Selon l'isotherme de Langmuir, θ est relié à la concentration en inhibiteur C_{inh} par l'équation suivante :

$$\frac{C_{inh}}{\theta} = \frac{1}{K_{ads}} + C_{inh} \quad (\text{éq II- 5})$$

Avec K_{ads} est la constante d'équilibre du processus d'adsorption.

Le tracé de C_{inh} / θ en fonction de la concentration de l'inhibiteur C_{inh} est linéaire, indiquant que l'adsorption du produit se fait selon le modèle d'isotherme de Langmuir [14].

II.7.2- Isotherme de Temkin

Dans le modèle de Temkin, l'énergie libre d'adsorption de l'adsorbat est une fonction linéaire du taux de recouvrement θ et les constantes de vitesse chimiques sont fonction de θ . Il y a attraction ou répulsion entre espèces adsorbées à la surface. L'équation de l'isotherme de Temkin est :

$$bC_{inh} = \frac{\exp(a\theta)-1}{1-\exp[-a(1-\theta)]} \quad (\text{éq II-6})$$

Où a est une constante d'interactions adsorbées, entre particules b désigne le coefficient d'adsorption et C_{inh} la concentration de l'inhibiteur dans l'électrolyte. Il est en général très délicat de définir à quel type d'isotherme obéit le comportement d'un inhibiteur dans un système donné.

On peut simplement souligner que l'adsorption sur une surface hétérogène correspond le plus souvent à une isotherme de type Langmuir. Ces remarques doivent conduire à une grande prudence dans le maniement des taux de recouvrement.

II.7.3- Isotherme de Frumkin

L'isotherme de Frumkin est représentée après réarrangement par l'expression suivante :

$$\ln\left[\frac{\theta}{C(\theta-1)}\right] = \ln K + 2a\theta \quad (\text{éq II-7})$$

Le paramètre « a » possède les dimensions suivantes : J/mol par mol/ cm³, il exprime la manière dont un recouvrement accru modifie l'énergie d'adsorption de l'espèce. Si « a » est positif, les interactions entre deux espèces à la surface sont attractives, si a est négatif, les interactions sont répulsives, si $a \approx 0$, l'isotherme de Frumkin se rapproche de l'isotherme de Langmuir [13].

II.8- Conclusion

Quand on veut utiliser un inhibiteur, on essaye de trouver le meilleur. Cet inhibiteur doit présenter plusieurs caractéristiques : abaisser la vitesse de corrosion d'un métal, sans affecter les caractéristiques physiques, être efficace à faible concentration, être stable en présence des autres constituants du milieu ou aux différentes températures d'utilisation.

Comme les normes européennes sont très strictes en ce qui concerne la toxicité, un inhibiteur doit être aussi compatible avec celles-ci et, bien sûr, d'un point de vue économique son prix est aussi très important.

Mais en tous les cas le choix des inhibiteurs de corrosion à des fins pratiques sont basés sur la connaissance de leur mécanisme d'action [24].

Références Bibliographiques

- [1] M. Boulkroune « Inhibition de la corrosion du zinc en milieu acide », Thèse de Doctorat, Université de Constantine 1, (2014).
- [2] F. Bentiss « hétérocycles pentaatomiques : synthèses organiques, études des propriétés inhibitrices de la corrosion et des propriétés complexantes », Habilitation à diriger des recherches (HDR), Université de Lille, France (2006).
- [3] C. Fiaud, « Inhibiteurs de corrosion », Techniques de l'ingénieur, COR1005.
- [4] M. Bouteldja, « Contribution à l'étude de l'utilisation des inhibiteurs dans la lutte contre la corrosion », Memoire de Master, Université Kasdi Merbah Ouargla, (2016).
- [5] K. Rahmouni, « Corrosion et protection des bronzes recouverts de patine : étude électrochimique et spectroscopique de la surface d'objets archéologiques et synthèse d'une patine équivalente sur un bronze du commerce », Thèse de doctorat, Université Pierre et Marie CURIE, (2005).
- [6] C.G. Dariva, A.F. Galio, « Corrosion Inhibitors – Principles, Mechanisms and Applications ». InTech, Chapter 16, 367-372. (2014)
- [7] H. Messaoudi, « Nouvelle voie d'inhibition de la corrosion du cuivre par la caféine : corrélation entre la simulation par la DFT et l'étude expérimentale », Mémoire de magister, Université Skikda, (2014).
- [8] O.M. Vololonirina, « Contribution à l'évaluation des capacités des glycérophosphates pour la maintenance dans le béton armé », Thèse de doctorat, Université de Toulouse, (2011).
- [9] D. Landot, « Corrosion et Chimie de Surface des Métaux », Vol12, presses polytechniques et universitaires Romandes, Lausanne, (1993).
- [10] G. TrabANELLI, V. Carassiti, «Mechanism and Phenomenology of OrganicInhibitors »Corrosion Science and Technology, Plenum Press, NewYork, (1997).
- [11] Z. Khiati, « Inhibition de la corrosion du cuivre en milieux chlorure et sulfate neutres par une nouvelle molécule dérivée de1, 2, 4-triazole.», Thèse de doctorat, Université pierre et Marie curie, (2013).

- [12] A.H. Kheniche « Synthèse de nouveaux ligands bases de Schiff tétradentates, Applications électrochimiques », thèse de doctorat, Université Mohamed Boudiaf - M'sila, (2018).
- [13] Z. Acila « Etude de l'efficacité des deux Inhibiteurs de corrosion (cortron 7130 et norust 720) dans l'eau de l'albien », Mémoire de master, Université Kasdi Merbah Ouargla, (2012).
- [14] H. Marmi « Amélioration de la résistance à la corrosion électrochimique des aciers par utilisation des inhibiteurs » Thèse de Doctorat, Université de Biskra, (2017).
- [15] H. Elbakouri, « Etude de l'inhibition de la corrosion de l'acier doux au carbone en milieu acide ortho phosphorique par un antibiotique organique », Mémoire de DES, Université Mohammed 1 Oujda (Maroc), (2000).
- [16] D. Nadir ; R. Rabah, « Introduction à la corrosion et aux inhibiteurs de corrosion », mémoire de magister, Université Ferhat Abbas Sétif 1, (2004).
- [17] N. Bouamama, S. Madene, « Elaboration d'un revêtement à base d'oxyde de cérium destiné à la protection de la corrosion de l'acier en milieu marin ». Mémoire de master Université Abderrahmane Mira Bejaia. (2015).
- [18] A.J. Coleman, H.N. Mc Murr, et al. « Corrosion Behaviour of Aluminium in the Présence of an Aqueuse Extract of Hibiscus Rosa-sinensis». Sci. Forum, 519 – 521 (2006).
- [19] A.R. Mendoza, « Corrosion of Reinforcing Steel in Loaded Cracked Concrete exposed to deicing Salts» ; Université de Waterloo, Ontario, Canada, (2000).
- [20] A. Popova, E. Sokolova, et al. « AC and DC study of the temperature effect on mild steel corrosion in acid media in the presence of benzimidazole derivatives » Corros. Sci. (2003).
- [21] H. Bensabra, «Cours de Corrosion et Protection des Métaux», presses polytechniques et universitaires, Université de Jijel, (2016).
- [22] O. Larabi, « Contribution à l'étude de l'inhibition de corrosion d'un acier au carbone par des composés organiques en milieu acide agressif », Université abou bekr belkaid Tlemcen. (2017).

[23] L. Hamadi « Application des inhibiteurs verts sur la corrosion des aciers en milieux agressifs », Thèse de doctorant Université de Batna 2 – Mostefa Ben Boulaïd, (2020).

[24] F. Constantin, « Etude de l'efficacité d'inhibiteurs de corrosion utilisés dans les liquide de refroidissement », Thèse de doctorat en cotutelle Franco-Roumaine, (2011).



CHAPITRE III

III.1- Introduction

Ce chapitre a pour but de décrire le matériau, les électrolytes et les dispositifs expérimentaux utilisés au cours de cette étude, permettant, dans un premier temps, de fixer une démarche expérimentale assurant une bonne reproductibilité des résultats. La complexité des phénomènes de corrosion nécessite l'utilisation des méthodes expérimentales pour estimer le taux de corrosion, et la nature des mécanismes qui interviennent au cours de la détérioration d'un métal. Les méthodes électrochimiques présentent une sensibilité et une précision remarquables, pour l'étude des phénomènes liés à la corrosion.

III.2- Conditions expérimentales

III.2.1- Matériau utilisé

Le matériau utilisé dans cette étude c'est le Fer-blanc, Il utilisé en industrielle des boites de conservation.

III.2.1.1- Définition de Fer-blanc

Le fer-blanc est un matériau constitué d'un cœur en acier doux (de faible teneur en carbone, inférieure à 0,08 %) d'environ 0,2 mm d'épaisseur recouvert d'une mince couche d'étain d'environ 1 mm d'épaisseur. La présence d'un alliage Fe-Sn à l'interface entre le fer et l'étain permet une bonne adhérence du revêtement d'étain [1]. (Figure III-1).

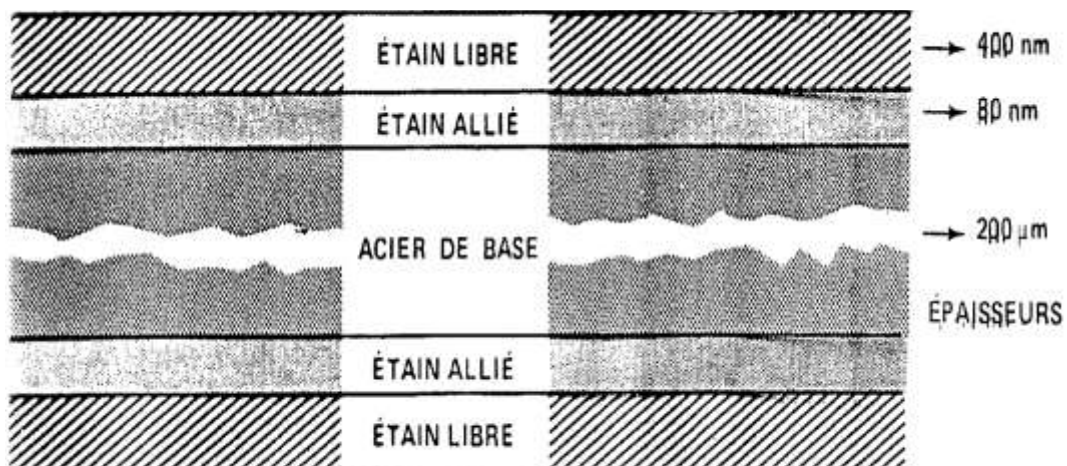


Figure (III-1) : Coupe transversale d'un fer-blanc (taux d'étamage de $2,8 \text{ g/m}^2$) [2].

III.2.1.2- Les caractéristique de fer blanc**Tableau (III-1) :** Caractéristiques Générales du fer blanc [3].

Famille :	Métaux ferreux
Composition :	Acier doux dont la proportion de carbone est inférieur à 0,08% et qui est recouvert d'une couche d'étain.
Aspect :	Blanc brillant.
Propriétés :	Cet alliage « sandwich » d'acier et d'étain présente une bonne dureté et garanti une grande résistance à la corrosion. Conductivité électrique et thermique moyenne. C'est un alliage non toxique, c'est pourquoi il est utilisé massivement dans le conditionnement alimentaire
Points Faibles :	Résistance à la compression faible.
Oxydation :	Ne s'oxyde pas à l'air ambiant.
Mise en oeuvre :	Cintrage. Soudure. Découpage
Entretien :	Facile car ne s'oxyde pas.

III.2.1.3- Analyses chimiques

Le tableau suivant donne la composition chimique du fer blanc.

Tableau (III-2) : Caractéristiques chimiques du Fer Blanc [4].

C (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)	N (%)	Al (%)	Cu (%)	Ni (%)	Cr (%)	Sn (%)
0.015-0.080	<0.50	<0.020	<0.020	<0.008	0.02-0.08	<0.08	<0.08	<0.08	<0.02

III.2.2- Préparation des échantillons

La préparation de surfaces des plaquettes en fer-blanc est coupée sous forme carré. Ensuite, avec le pied à coulisse figure (III-2) on prend les mesures des plaquettes (longueurs L, largeurs l, épaisseurs e) puis on les pèse avec une balance analytique figure (III.3) de précision et on calcule la surface selon la relation suivante:

$$S=2((L*l) + (L*e)+(l*e))$$



Figure (III-2) : pied de coulisse



Figure (III-3) : Balance analytique

III.2.3- Milieu d'étude

Le milieu agressif utilisé dans cette étude est constitué principalement de l'acide sulfurique H_2SO_4 (1M).

Nous préparons une solution de H_2SO_4 (1M), à partir de la solution mère sa pureté 95 – 97 %

Tableau (III-3) : Les propriétés physico-chimiques l'acide sulfurique.

Forme brute	H₂SO₄
Densité	1.836
Masse molaire	98.08 g/mol
Pureté	95 - 97%

III.2.4- Inhibiteur

Huile d'olive

En général, le mot « huile » se rapporte aux triglycérides qui se trouvent dans leur état liquide à température ambiante. On les trouve dans plusieurs plantes notamment les légumineuses (arachide, soja), les graines (de colza, de tournesol), les fruits (amande, olive, palme, pépins de raisin), les céréales (maïs) ou encore dans le coton.

L'huile d'olive vierge utilisée lors de la réalisation de notre travail provient d'une huilerie semi moderne située à TEXANNA village situé à 18 km de JIJEL. C'est une huile extraite par première pression à froid.

**Figure (III-4) :** huile d'olive

III.3- Méthode caractérisation

III.3.1- Méthode gravimétrique

Cette méthode est relativement simple, ne nécessite pas un appareillage important, mais ne permet pas l'approche des mécanismes mis en jeu lors de la corrosion.

Elle consiste à exposer des échantillons de surface (**S**) dans un milieu corrosif maintenue à température constante pendant un temps (**t**), et à mesurer la différence de masse des (**Δm**) échantillons avant **m_i** et après **m_f** chaque essai. La vitesse de corrosion est donnée par la relation suivante :

$$V_{\text{corr}} = \Delta m / (S * t) \dots\dots\dots (\text{éq III-1})$$

- V_{corr} peut être exprimé en **mg /cm².h**
- $\Delta m = m_i - m_f$ perte de masse exprimé en **mg**
- **S** : surface de l'échantillon exposé en **cm²**
- **t**: temps d'immersion en **h**
- L'efficacité inhibitrice est donnée par la relation suivante :

$$E\% = (V - V_{\text{inh}}) * 100 / V \dots\dots\dots (\text{éq III-2})$$

Avec (**V**) et (**V_{inh}**) sont les vitesses de corrosion de l'échantillon après immersion dans la solution respectivement sans et avec inhibiteur.

III.3.1.1- Protocole expérimental

Chaque échantillon fini, a été pesé à l'aide d'une balance de précision. Sa masse (**m_i**), sa surface totale et la durée des tests sont inscrits dans des tableaux. L'échantillon est suspendu dans un bêcher contenant 50 ml de solution.

La durée d'immersion était de 24 heures pour l'effet de concentration et de 3 heures pour l'effet de température. A la fin de chaque expérience, l'échantillon est retiré, puis nettoyée à l'eau distillée. Les produits de corrosion sont éliminés de la surface du métal à l'aide d'une brosse à dents souples. L'échantillon est rincé ensuite à l'eau distillé, dégraissé à l'acétone et séché à l'aide d'un séchoir électrique est repesé, et sa masse (**m_f**) reportée dans le même tableau.

Préparer l'électrolyte inhibiteur : en mélange 50 ml de la solution 1M de H_2SO_4 avec huile d'olive de différentes concentrations (0, 0.1, 0.5, 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5, 3) g/l avec précision dans les béchers, le mélange est bien agité; à température ambiante.

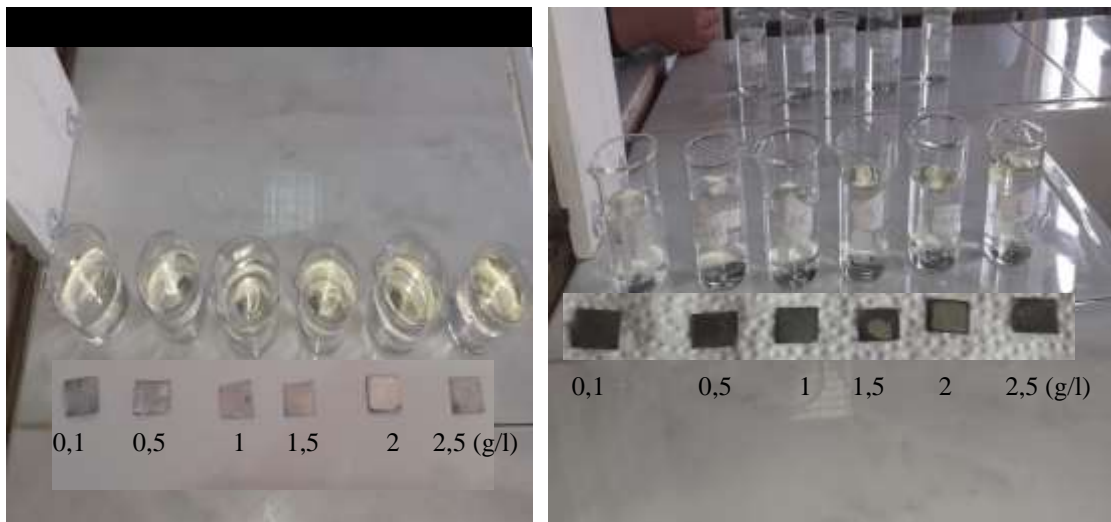


Figure (III-5) : les Echantillons de Fer-blanc dans des solutions corrosives avec inhibiteur

Après une durée d'immersion bien déterminée (24h-48h-72h-96h-120h) la pièce est lavée, séchée et enfin pesée.

III.3.1.2- Influence de la température

Nous faisons les mêmes étapes que l'expérience précédente en modifiant la température (25-30-35-40-45) °C pendant 3 heures, pour les concentrations 2 g/l.



Figure (III-6) : Protocole du l'effet de température.

III.3.2- Méthodes électrochimiques

III.3.2.1- Courbes de polarisation intensité- potentiel

La détermination des courbes intensité-potentiel des matériaux en milieu corrosif est un outil fondamental de l'étude des phénomènes de corrosion. Elles donnent la variation de l'intensité du courant qui circule entre l'électrode à étudier et une électrode de platine, en fonction du potentiel imposé à l'électrode à étudier, repéré par rapport à une électrode de référence [7].

Les courbes intensités potentielles $E = f(I)$ ou $I = f(E)$ constituent les courbes de polarisation (Figure III.2).

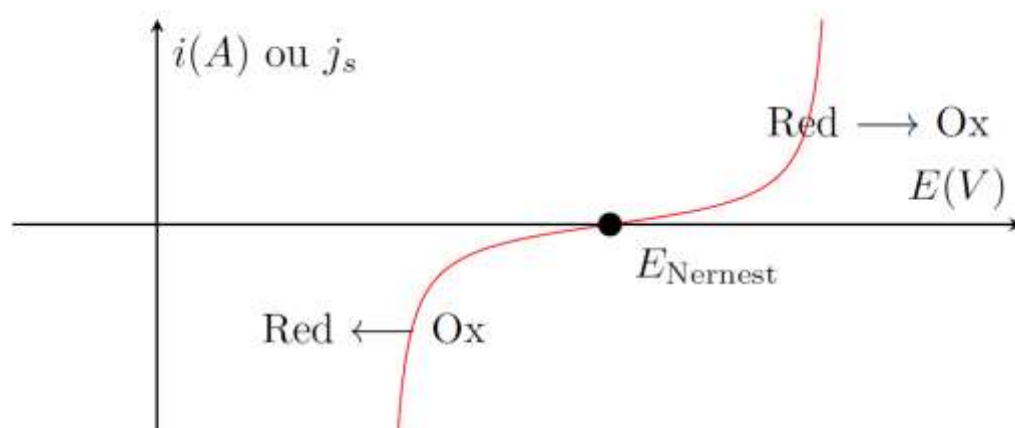


Figure (III-7) : Courbe intensité –potentielle : $I = f(E)$.

L'examen de ces courbes permet d'obtenir un grand nombre de renseignements sur le comportement de métal immergé dans l'électrolyte, en particulier en ce qui concerne son aptitude à la passivation ou à la corrosion. Elle permet aussi de déterminer le mécanisme de corrosion (cinétique de transfert de charge, transfert de matière, adsorption des espèces sur l'électrode...) et de distinguer l'influence de l'inhibiteur sur chacune des réactions élémentaires, anodique et cathodique, à l'électrode de travail. Cependant, il importe de signaler que la forme des courbes et les potentiels qui les caractérisent sont très sensibles à un certain nombre de facteurs comme l'état de surface, l'électrolyte, la présence de traces d'impuretés dans le réactif.

a- Droites de Tafel

Les droites de Tafel Consistent en des balayages anodique et cathodique, tracées à partir du potentiel d'abandon dans un repère $\log i = f(E)$ [7]. Ces courbes permettent

l'obtention du potentiel de corrosion et du courant de corrosion, mais aussi à partir des pentes, des coefficients de transfert électronique en oxydation(α) et en réduction (β).

Si la concentration des réactifs et des produits est uniforme dans l'électrolyte. La relation de Butler-Vollmer devient :

$$i = i_0 \left[\exp \left(\frac{\alpha n F \eta}{RT} \right) - \exp \left(- \frac{(\alpha - 1) n F \eta}{RT} \right) \right] \dots \dots \dots \text{(éq III - 3)}$$

Avec :

i : densité de courant ($A \cdot cm^{-2}$),

i_0 : courant d'échange d'une réaction à l'électrode

α : coefficient de transfert électronique ($0 < \alpha < 1$)

η : La surtension $\eta = E - E_{eq}$

E : potentiel de l'électrode (V/ ECS),

E_{eq} : Potentiel d'équilibre

T : température (K)

F : constante de Faraday ($96500 \text{ C} \cdot \text{mol}^{-1}$).

R : constante des gaz parfaits ($8,314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)

La densité de courant i est la somme de la densité de courant partiel anodique i_a et de la densité de courant partiel cathodique i_c . Par convention, la densité de courant anodique est positive ($i_a > 0$), et la densité de courant cathodique négative ($i_c < 0$). On peut introduire dans l'équation (III.3) les coefficients de Tafel anodique β_a et cathodique β_c définis comme suit : $\beta_a = RT/\alpha nF \dots \dots \dots$ (éq III-4), $\beta_c = RT/(1-\alpha) nF \dots \dots \dots$ (éq III-5)

On obtient ainsi :

$$i = i_0 \left[\exp \left(\frac{\eta}{\beta_a} \right) - \exp \left(- \frac{\eta}{\beta_c} \right) \right] \dots \dots \dots \text{(éq III - 6)}$$

Pour déterminer expérimentalement les paramètres cinétiques i_0 , β_a et β_c , une présentation logarithmique de la densité de courant est en général préférable. Car elle met en évidence la relation linéaire entre le logarithme de i et la surtension, lorsque cette dernière, en valeur absolue, est élevée [8].

Les équations de Tafel décrivent les limites anodiques et cathodiques de l'équation de Butler-Volmer. Leur découverte au début du vingtième siècle par Tafel précède par de nombreuses années celle de l'équation de Butler-Volmer.

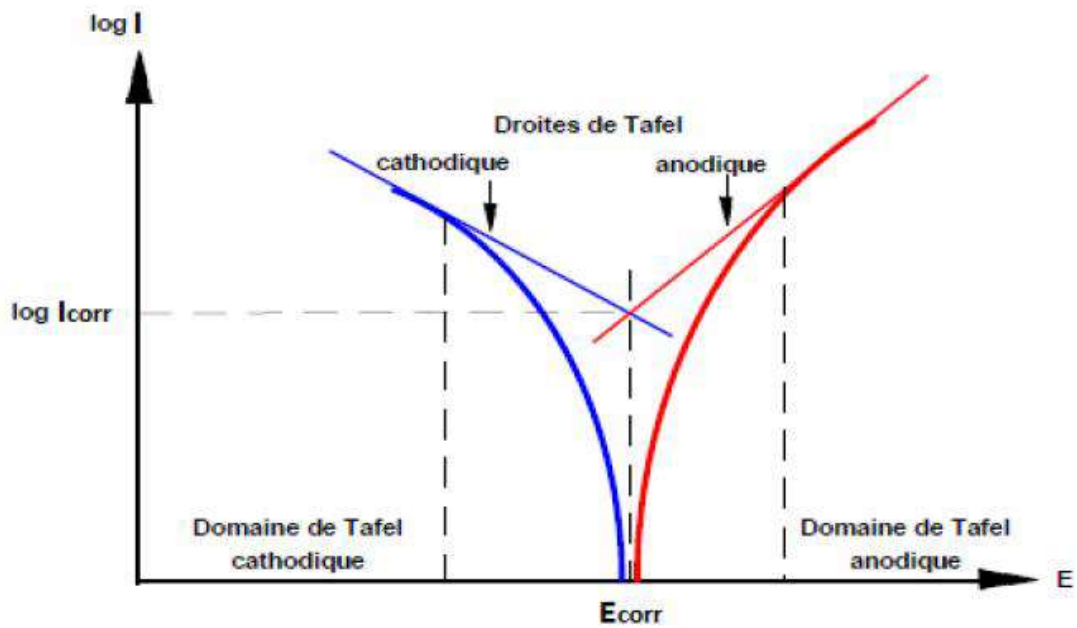


Figure (III-8) : Densités de courants anodique et cathodique (en valeur absolue) d'une réaction d'électrode (échelle logarithmique)

En extrapolant ces droites, on obtient un point d'intersection correspondant à la valeur du potentiel de corrosion (E_{corr}) et du courant de corrosion (i_{corr})

b- Résistance de polarisation

La résistance de polarisation est déterminée à partir de la courbe $E=f(I)$ au voisinage du potentiel de corrosion à ± 20 mV (figure III -11).

La résistance de polarisation est la pente $\Delta E/\Delta I$ de la courbe de polarisation, l'unité de mesure est exprimée en Ω/ cm^2 [7].

$$Rp = \Delta E/\Delta I = [\beta a * \beta c / (2.3 i_{corr} (\beta a + \beta c))] \dots \dots \dots \text{(éq III-7)}$$

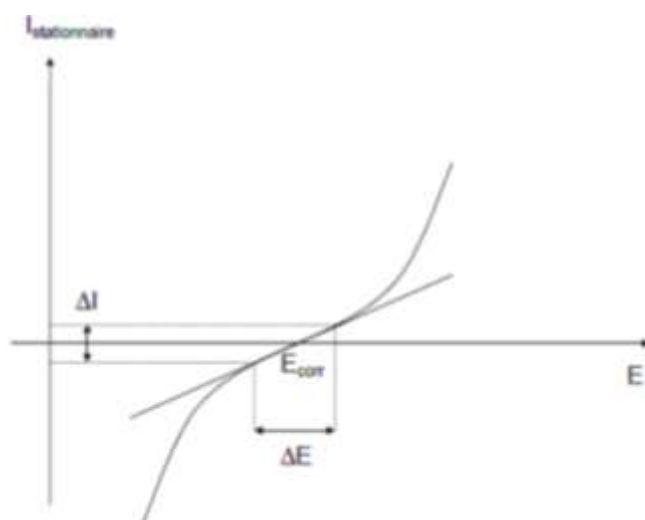


Figure (III.9) : Détermination graphique de la résistance de polarisation [9]

III.3.2.2- Protocole expérimentale

Les tests potentiodynamiques, ont été réalisés à l'aide d'un Potentiostat de type Solartron SI 1287, piloté par le logiciel CorrWare, les courbes obtenues sont ensuite exportées vers un logiciel CorrView et traitées par Origin 8.

Les courbes de polarisation sont tracées pour un domaine de potentiel de -700 (mV/ECS) à -200 (mV/ECS) avec une vitesse de balayage de 1 mV/s, après 30 minutes d'immersion au potentiel d'abandon.



Figure (III-10) : Dispositif expérimental des mesures électrochimiques

Les expériences électrochimiques ont été effectuées dans une cellule à 3 électrodes :

- **L'électrode de travail :** il s'agit de l'échantillon à étudier de surface 1cm^2 , Il est lié à un fil conducteur et enrobé par une colle en silicone (inerte chimiquement) (**Figure III-13**).

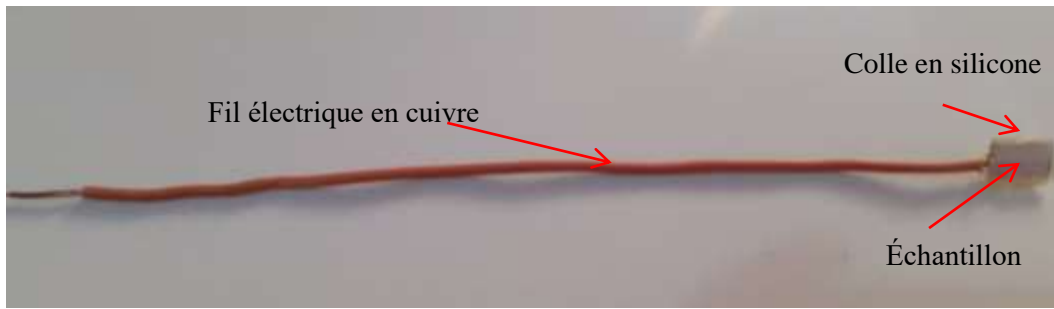


Figure (III-11) : L'électrode de travail.

- **L'électrode de référence :** est une électrode au calomel saturé (ESC),
- **L'électrode auxiliaire :** un fil de platine est utilisé comme contre électrode

III.4- Conclusion

L'étude des inhibiteurs de corrosion peut s'effectuer par de nombreuses façons. Dans notre travail, on a utilisé les méthodes gravimétriques et les méthodes électrochimiques (courbes de polarisation).

Références Bibliographiques

- [1] J-L. Vignes - «Données industrielles, économiques, géographiques sur des produits inorganiques et métaux», (1993).
- [2] P. MARSAL, Un guide du Fer-Blanc, Sollac-CRFB, Thionville (1985).
- [3] F. Struyven, C. Jung. Struyven, «Les aciers étamés,» F. C. Europe, Arcelormittal.
- [4] R. Lombarkia, Etude, simulation et expérimentation du comportement mécanique des couvercles des boites d'emballage métalliques pour produits chimiques, Mémoire de magistère (2012).
- [5] A. Corrigan. « The Catalysis of the Oxygen Evolution Reaction by Iron Impurities in Thin Film Nickel Oxide Electrodes ». J. Electrochem. Soc. Vol 134.(1989)
- [6] C. Fiaud, Inhibiteur de corrosion, Technique de l'ingénieur, Méthodes de prévention et lutte contre la corrosion, (1990).
- [7] Véronique Ghetta, Jacques Fouletier, Sels fondus à haute température, PPUR Presses polytechniques, (2009).
- [8] Dieter Landolt, Corrosion et chimie de surfaces des métaux, réimprimée éditeur PPUR presses polytechniques, (1993).
- [9] K. Dob, « Etude électrochimique de l'efficacité inhibitrice de substances vertes sur la corrosion de l'acier au carbone dans un milieu aqueux », Thèse doctorat, Université de Skikda, (2018).



CHAPITRE IV

IV.1- Introduction

Les inhibiteurs de la corrosion sont des substances qui, par leur action à la surface métal-milieu, retardent un ou plusieurs processus électrochimiques de la corrosion. Ils diminuent ainsi l'agressivité du milieu. Ce chapitre concerne l'étude de l'effet inhibiteur de huile d'olive sur la corrosion de fer blanc dans H_2SO_4 (1M). Pour cela, nous avons procédé aux techniques suivantes : le méthode électrochimique stationnaire (la polarisation potentiodynamique) et la méthode gravimétrie.

IV.2- Effet de la concentration sur l'efficacité inhibitrice

Afin de comprendre le comportement électrochimique de Fer-blanc dans l' H_2SO_4 en absence et en présence d'inhibiteur, on a d'abord suivi la perte de masse en fonction de la concentration d'huile d'olive (0.1-0.5-1-1.5-2-2.5) g/l, puis pour compléter et valider ces premiers résultats, des mesures de polarisation ont été réalisées.

IV.2.1- Étude gravimétrique

Dans cette partie de l'étude nous avons calculé plusieurs paramètres tels que la Vitesse de corrosion (V_{corr}), l'efficacité inhibitrice (E%) ainsi que le taux de recouvrement de substrat après un temps d'immersion de 24 heures, en absence et en présence de l'inhibiteur à différentes concentrations et à température ambiante. Les différents résultats sont regroupés dans le tableau suivant :

Tableau (IV.1) : Vitesse de corrosion, efficacités inhibitrices et taux de recouvrement en absence et en présence d'huile d'olive.

C(g/l)	S	$\Delta m(g)*10^{-3}$	$V_{corr} *10^{-5}$ (g/cm ² .h)	E (%)	θ
Blanc	2.7810	1.6	2.397	/	
0,1	2.2871	0.5	0.9109	61.99	0.6199
0,5	2.2093	0.2	0.9005	62.43	0.6243
1	2.2529	0.3	0.5548	76.85	0.7685
1,5	2.0926	0.2	0.3982	83.39	0.8339
2	2.3393	0.1	0.1781	92.57	0.9257

2,5	2.3784	0.5	0.8759	63.46	0.6346
-----	--------	-----	--------	-------	--------

L'examen de **Tableau (IV.1)** montre que l'huile d'olive présente une efficacité inhibitrice intéressante et acceptable à température ambiante.

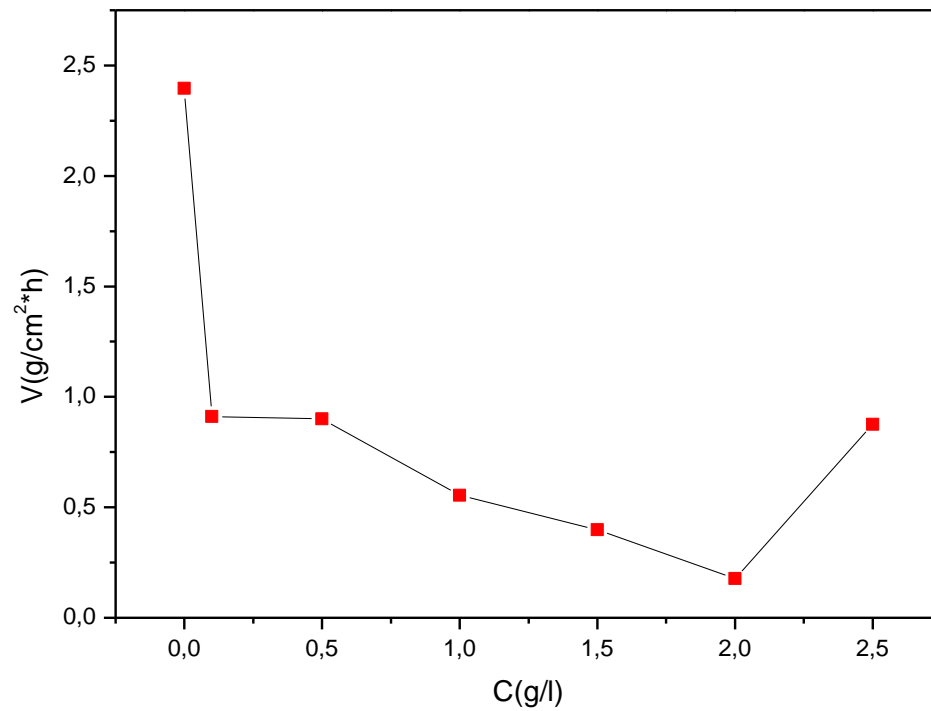


Figure (IV.1) Evolution de la vitesse de corrosion en fonction de concentration d'inhibiteur à température ambiante.

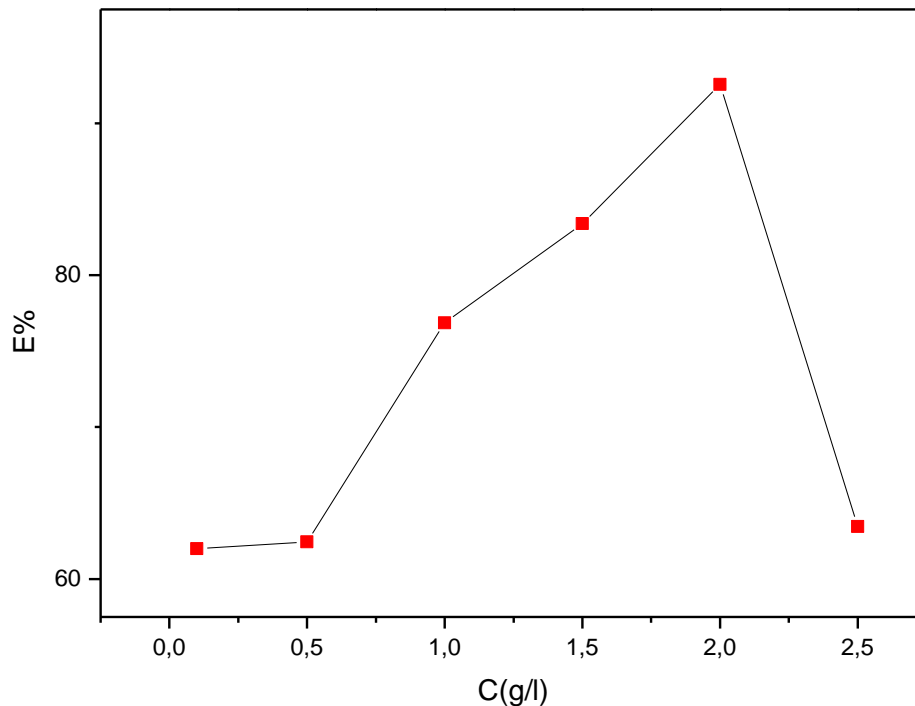


Figure (IV.2) Evolution de l'efficacité inhibitrice en fonction de concentration d'inhibiteur à température ambiante.

Les résultats de l'étude gravimétrique portés au **Tableau (IV.1)** et les **Figure (IV.1) et (IV.2)**, permettent de remarquer que la vitesse de corrosion a été significativement réduite par l'ajout d'huile d'olive et par conséquent, le pouvoir inhibiteur de l'huile d'olive est augmenté avec l'augmentation de la concentration d'inhibiteur jusqu'à la valeur (92.57%) enregistrée pour la concentration $C = 2 \text{ g/l}$.

IV.2.2- Etude électrochimique (Courbe de polarisation)

Les courbes de polarisation $\log|i|=f(E)$ ont été tracées pour le Fer-blanc dans H_2SO_4 à 1M sans et avec addition de différentes concentrations d'huile d'olive, pour déterminer le taux de protection optimal, après stabilité du potentiel d'abandon dans un domaine de balayage compris entre (-900 et -200 mV/ECS) avec une vitesse de balayage de 1mV/s (**figure IV.3**).

Les paramètres électrochimiques sont indiqués dans le tableau (IV.2).

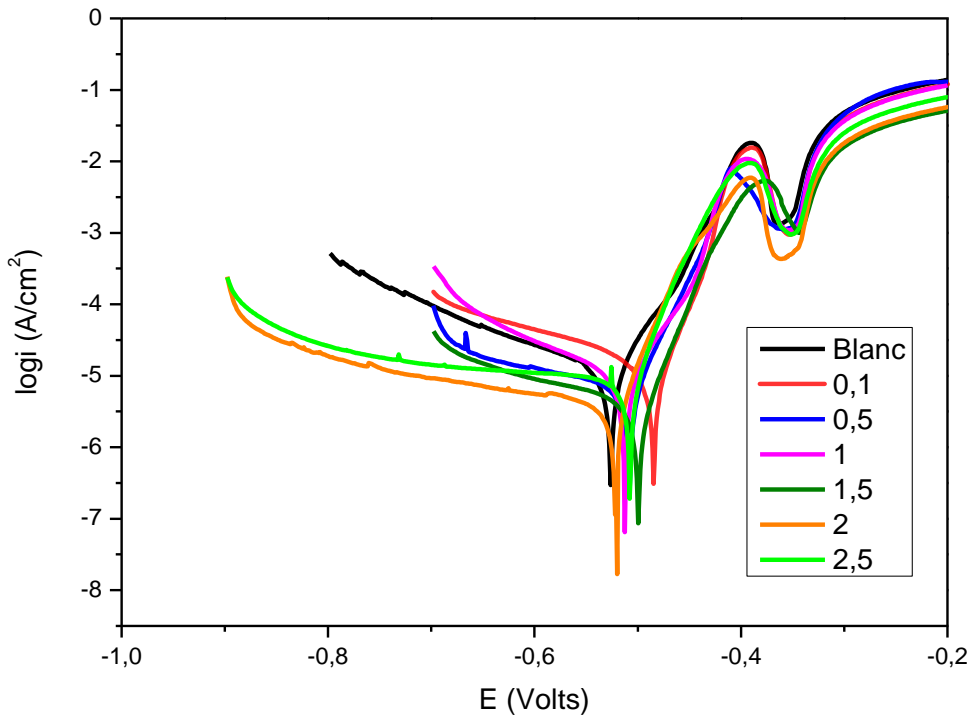


Figure (IV.3) Courbes de polarisation fer -blanc dans H_2SO_4 (1M) à T ambiante sans et avec addition d'inhibiteur à différentes concentrations.

D'après la Figure (IV.3) On peut remarquer que l'ajout des différentes concentrations de d'huile déplace le potentiel de corrosion vers des valeurs anodiques et conduit à une diminution des densités de courant de corrosion anodiques et cathodiques.

Le potentiel de corrosion (E_{corr}), les densités de courant de corrosion (I_{corr}), la vitesse de corrosion (V_{corr}) et l'efficacité inhibitrice ($E\%$) obtenue à partir de l'équation (IV.1) :

$$E \% = \frac{i_0 - i_{inh}}{i_0} \times 100 \quad \dots \text{(éq IV - 1)}$$

Tableau (IV.2) : Paramètres électrochimiques et l'efficacité d'inhibition

C(g/l)	E_{corr} (V/ECS)	I_{corr} ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	R_p ($\Omega.\text{cm}^2$)	E (%)
Blanc	-0.5283	2.1362	1221.2	/
0,1	-0.48713	2.3236	1122.7	/
0,5	-0.51134	1.374	1898.6	35.68
1	-0.51457	1.763	1479.6	17.47
1,5	-0.50202	0.7752	3366	63.71
2	-0.52564	0.9003	2897.5	57.85
2,5	-0.5114	2.0815	1253.3	2.56

Selon les résultats de la figure (IV.3) et de Tableau (IV.2), nous avons remarqué que

- ✓ L'augmentation de concentration des inhibiteurs, diminue la densité de courant de corrosion (i_{corr}) jusqu'à atteindre la valeur minimale 7.752 ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$) et 9.0032 ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$) avec la concentration de 1,5 et 2g /L (concentrations optimales), par conséquent de cette diminution de (i_{corr}), l'efficacité inhibitrice augmente et atteint respectivement 63.71 % et 57.85, avec aussi de l'augmentation de la résistance de polarisation ($R_p = 3366$ et 2897.5 ohm.cm^2).
- ✓ Cet accroissement (de R_p et de E %) suggère que les molécules inhibitrices forment une couche adsorbée sur la surface de fer-blanc bloquant le processus de corrosion, son effet est progressivement élevé avec l'addition de l'inhibiteur [1].
- ✓ Dans le domaine anodique, nous constatons que la présence de l'huile d'olive est accompagnée par une diminution des densités de courant d'oxydation. Ce résultat indique que notre inhibiteur a un effet à la fois cathodique et anodique. Donc, l'huile d'olive peut être classée comme un inhibiteur mixte en milieu sulfurique avec une prédominance anodique à cause du légèrement déplacement du potentiel de corrosion vers des valeurs de plus en plus positives.

En effet, nous avons déjà montré que le meilleur comportement a été observé dans $\text{H}_2\text{SO}_4 + 2\text{g/l}$ d'huile d'olive. Ceci est aussi montré par les résultats des techniques électrochimiques.

La réaction cathodique, possible est la réduction du proton [2];



La réaction anodique, en milieu acide, est la dissolution du métal selon la réaction



IV.3- Effet de Temps d'immersion sur l'efficacité inhibitrice

IV.3.1- Étude gravimétrique

Dans le but de vérifier l'effet de la durée d'immersion sur la corrosion de fer-blanc dans le milieu acide, une série d'expériences a été menée en utilisant deux concentrations de notre inhibiteur (1,5 et 2g/l) dans la solution de H_2SO_4 1M.

L'évolution des pertes de masse, des vitesses de corrosion et efficacités inhibitrices en fonction de temps d'immersion est illustrée pour chaque milieu dans le Tableau (IV.3).

Tableau (IV.3) : Vitesse de corrosion, efficacités inhibitrices et taux de recouvrement en absence et en présence d'huile d'olive en fonction de temps d'immersion.

C(g/l)	Temps (h)	$\Delta m(\text{g}) * 10^{-3}$	$V_{\text{corr}} * 10^{-5}$ ($\text{g}/\text{cm}^2 \cdot \text{h}$)	E (%)	Θ
Blanc	24	1.6	2.39	/	/
	48	2.8	2.09	/	/
	72	3.5	1.74	/	/
	96	4.6	1.72	/	/
	120	6.2	1.85	/	/
1.5	24	0.2	0.39	83	0.83
	48	0.7	0.69	66	0.66
	72	1.3	0.86	50	0.50
	96	1.8	0.89	48	0.48

	120	2.4	0.95	48	0.48
2	24	0.1	0.17	92	0.92
	48	0.9	0.80	61	0.61
	72	1.7	1	42	0.42
	96	2.5	1.11	35	0.35
	120	3.3	1.17	36	0.36

L'analyse de ce tableau nous a permis de remarquer clairement que la perte de masse en présence d'huile d'olive (les deux concentrations) est plus faible que celle en absence d'inhibiteur, donc on peut dire que l'huile d'olive est un bon inhibiteur de Fer-blanc et présente une stabilité en fonction du temps. Les résultats de ce tableau sont illustrés dans la figure (IV.4) et la figure (IV.5)

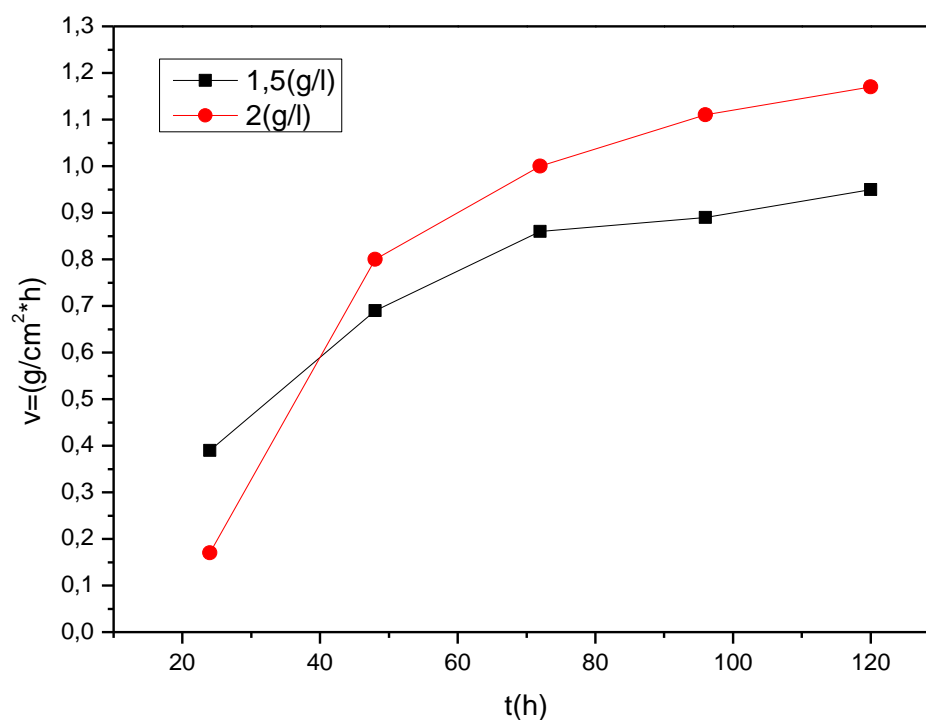


Figure (IV. 4) : Evolution de la vitesse de corrosion en fonction de temps d'immersion en présence d'inhibiteur (1.5 et 2 g/l) à température ambiante.

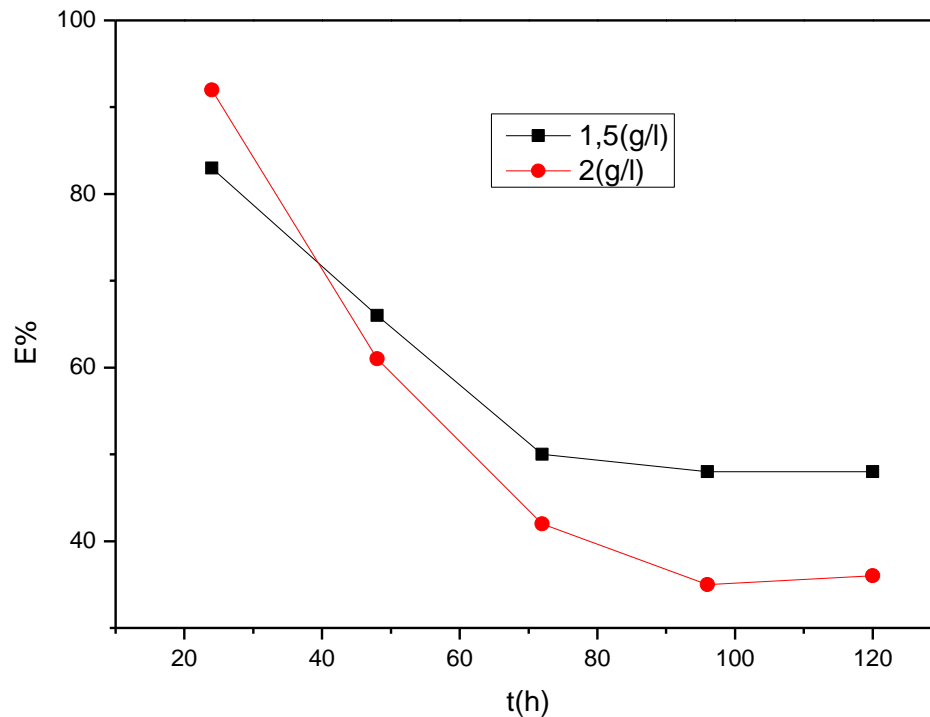


Figure (IV. 5) : Evolution de l'efficacité inhibitrice en fonction de temps d'immersion en présence d'inhibiteur à température ambiante.

L'examen des résultats gravimétriques permet de noter que :

- ✓ L'allure des courbes est semblable dans les deux concentrations.
- ✓ Cependant, la croissance des valeurs du vitesse de corrosion (par conséquent la décroissance de l'efficacité inhibitrice), aux premières 48 heures d'immersion, est due à la dissolution de métal, par contre la stabilité qui a suivi est due à la formation d'une couche plus protectrice par l'adsorption de la molécule d'huile d'olive sur la surface de métal

IV. 4- Effet de la température sur l'efficacité inhibitrice

La température est un facteur capable de changer les propriétés vis-à-vis de la corrosion d'un matériau dans un milieu agressif donné. Elle a une influence sur l'interaction métal-inhibiteur. Pour déterminer l'effet de ce facteur sur le pouvoir inhibiteur d'huile d'olive, nous avons effectué une étude à différentes températures

(30°C, 35°C, 40°C et 45°C) à l'aide des mesures de perte de masse et électrochimiques stationnaires en mode potentiodynamique.

IV.4.1- Étude gravimétrique

Des échantillons de fer-blanc préalablement dégraissés, nettoyés, séchés et pesés puis ils ont été immergés dans 50ml de solution d'essai en absence et en présence de la concentration optimal de l'inhibiteur (2g/l). Afin de vérifier l'effet de la température sur les performances de l'inhibiteur, les mesures gravimétriques ont été effectuées pendant une période de 3 heures à des différentes températures. Les différents paramètres obtenus sont présentés dans le tableau IV.4.

Tableau (IV.4) : Vitesse de corrosion, efficacités inhibitrices et taux de recouvrement en absence et en présence d'huile d'olive en fonction de température

Température (°C)	Milieu	S (cm ²)	$\Delta m(g) * 10^{-3}$	V _{corr} * 10 ⁻⁵ (g/cm ² .h)	E (%)	Θ
25	Blanc	2.2786	0.5	0,73	/	/
	2 (g/l)	2.2754	0.1	0.14	80.82	0.80
30	Blanc	2.0135	0.5	8.27	/	/
	2 (g/l)	2.1413	0.2	3.11	62.39	0.62
35	Blanc	2.5783	0.3	3.98	/	/
	2 (g/l)	2.5069	0.2	2.59	34,92	0.35
40	Blanc	2.5334	0.5	6.58	/	/
	2 (g/l)	2.6722	0,4	4.99	24.16	0.24
45	Blanc	2.5212	0.6	7.93	/	/
	2 (g/l)	2.4256	0.5	6.87	13,37	0.13

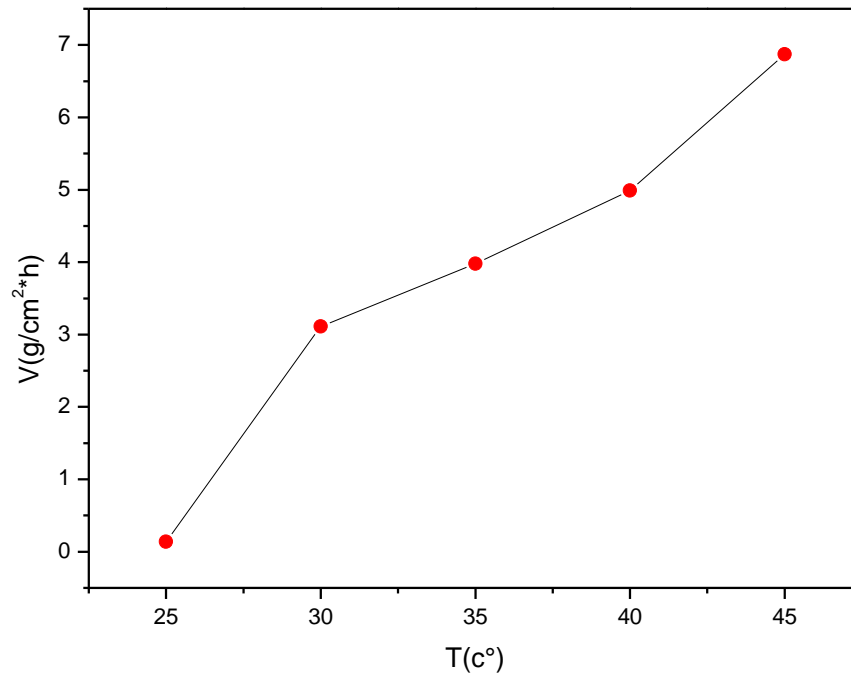


Figure (IV.6) : Evolution de la vitesse de corrosion en présence de 2g/l d'inhibiteur à différentes températures.

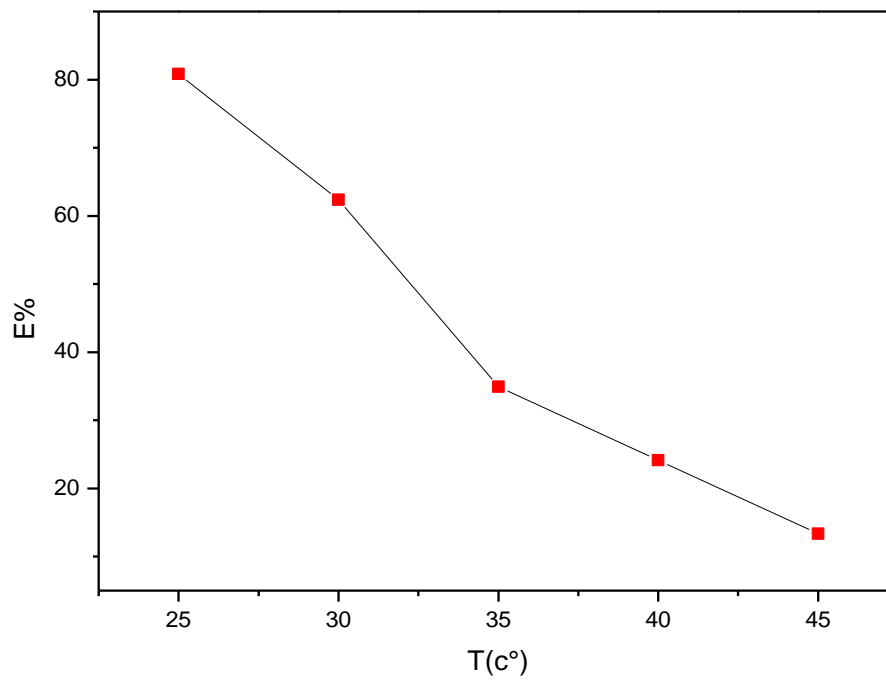


Figure (IV.7) : Evolution de l'efficacité inhibitrice en présence de 2g/l d'inhibiteur à différentes températures.

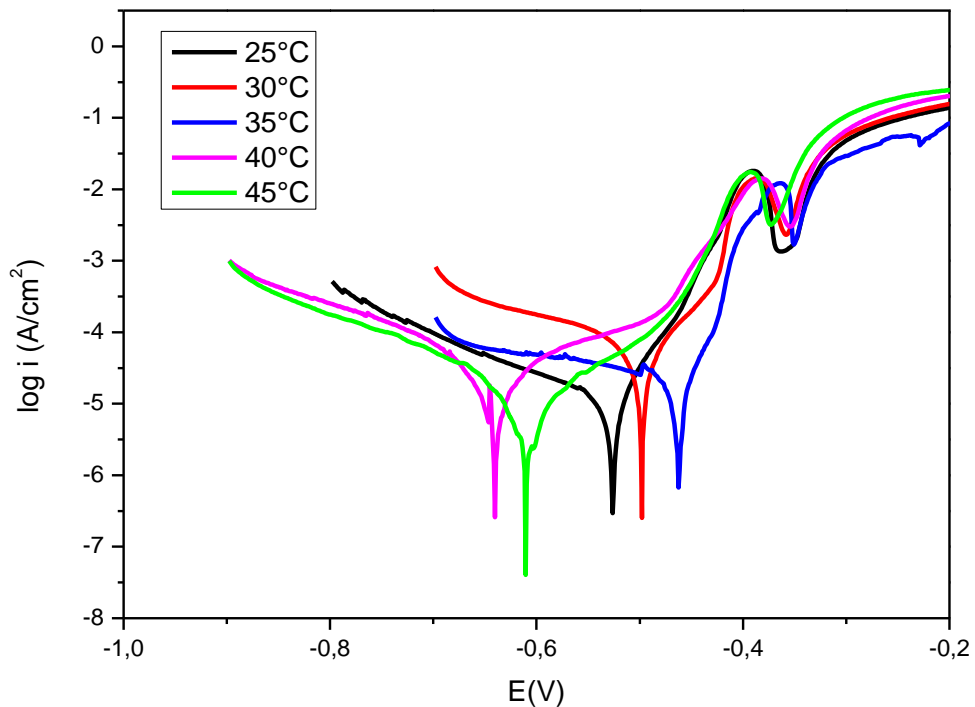
L'analyse de ces résultats permet d'observer

- ✓ Une augmentation de la vitesse de corrosion avec l'augmentation de la température ;
- ✓ Une diminution remarquable de l'efficacité inhibitrice avec la valeur la plus élevée obtenue est de 80.82% pour la température ambiante.

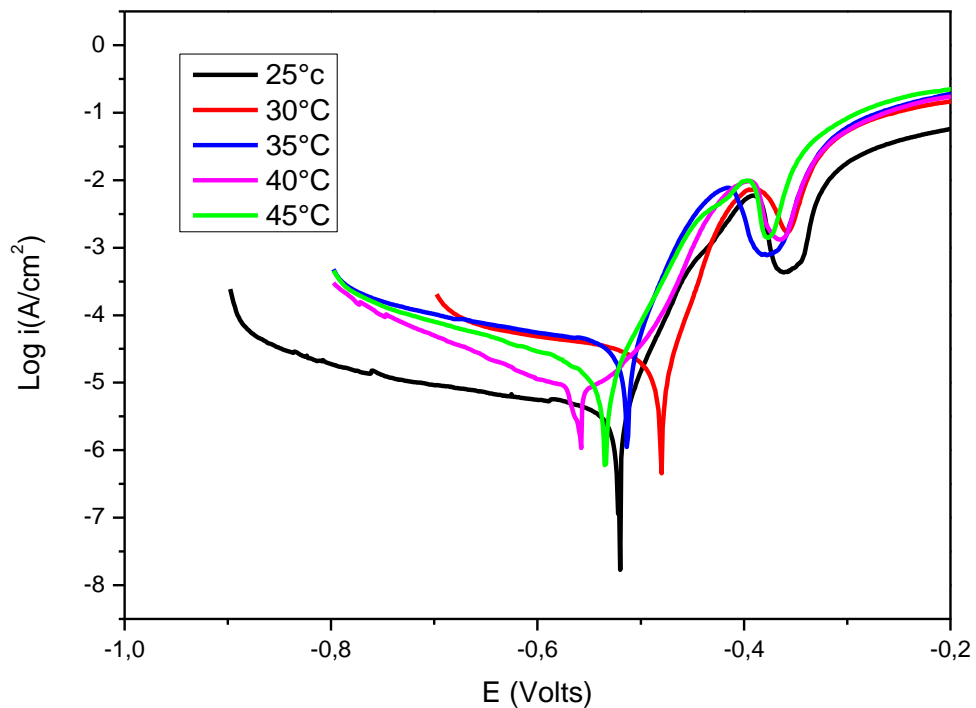
IV.4.2- Etude électrochimique (Courbes de polarisation)

Dans cette étude nous avons tracé les courbes de polarisation de fer-blanc en absence et en présence des inhibiteurs dans l'intervalle de température de 25°C à 45°C.

Les figures (IV.8 - IV.9) montrent l'influence de la température sur les courbes de polarisation cathodiques et anodiques de Fer-blanc en milieu H₂SO₄ 1M sans et avec ajout de 2g/l d'inhibiteur.



La figure (IV.8) : Courbes de polarisation fer -blanc dans H₂SO₄ (1M) à différentes températures.



La figure (IV.9) : Courbes de polarisation fer -blanc dans H₂SO₄ (1M) avec addition de 2g /l d'inhibiteur à différentes températures.

D'après la Figure (IV.8) et la Figure (IV.9), nous avons constatés que la variation de la température ne change pas la forme globale des courbes de polarisation en absence et en présence de l'inhibiteur, cela montre que l'augmentation de la température n'affecte pas le mécanisme de corrosion de fer-blanc.

Tableau (IV.5) : Paramètres de Corrosion pour le Fer-blanc dans H₂SO₄ 1M en absence et en présence de la concentration optimale de l'huile essentielle à différentes températures.

T (°C)	C(g/l)	E _{corr} (V/ECS)	I _{corr} (μA/cm ²)	R _p (Ω.cm ²)
25	0	-0.5283	2.1362	1221.2
	2	-0.52564	0.9003	2897.5
30	0	-0.4988	7.6589	340.61
	2	-0.4837	4.509	578.56
35	0	-0.4643	4.1646	626.39
	2	-0.5196	7.7269	337.61
40	0	-0.5602	1.5999	1630.5
	2	-0.6399	2.5488	1023.5
45	0	-0.6093	1.0867	2400.7
	2	-0.5369	2.5800	1011.1

L'analyse de ces résultats montre que :

- ✓ Les courbes dans la partie cathodique se présentent sous forme de portions linéaires, ce qui montre que la réduction des ions H⁺ à la surface métallique se fait selon le même mécanisme de transfert de charge et ceci pour toutes les températures étudiées.
- ✓ Le potentiel de corrosion se déplace globalement, avec l'augmentation de la température, vers les valeurs négatives en l'absence et en sa présence de l'inhibiteur.
- ✓ L'augmentation de la température provoque un accroissement de la densité de courant de corrosion, en l'absence et en présence de l'inhibiteur. En effet, l'évolution des courants de corrosion dans l'H₂SO₄ en absence de l'huile d'olive, confirmant une dissolution métallique croissante avec l'augmentation de la température.

IV.5- Isothermes et paramètres thermodynamiques d'adsorption

Afin de confirmer l'hypothèse que l'action de l'inhibiteur d'huile d'olive est basée sur un mécanisme d'action par simple adsorption à la surface du métal, bloquant ainsi les sites actifs et par conséquent, diminuant les courants mesurés lors du relevé des courbes de polarisation, nous avons essayé de corrélérer les résultats expérimentaux avec les tracés des isothermes d'adsorption.

Plusieurs modèles théoriques, cités dans le chapitre II, ont été développés pour décrire les isothermes d'adsorption. Dans le présent travail nous avons choisi le modèle le plus simple et le plus répandu (Langmuir) qui est considéré comme étant un modèle de base. Son utilisation suppose que la surface solide contient un nombre déterminé de sites d'adsorption et que chaque site ne contient qu'une seule espèce adsorbée; de plus les molécules adsorbées n'interagissent pas entre elles et tous les sites d'adsorption sont équivalents thermodynamiquement ; l'énergie d'adsorption est donc indépendante du taux de recouvrement de la surface θ , ce qui signifie que l'énergie d'adsorption est la même pour tous les sites. Dans ce cas, le taux de recouvrement de la surface du métal est relié à la concentration de l'inhibiteur par la relation : $C_{inh} / \theta = 1/K_{ads} + C_{inh}$

Où K_{ads} désigne le coefficient d'adsorption et C_{inh} la concentration de l'inhibiteur dans la solution.

La figure IV.10. Montre la variation du rapport $\frac{C_{inh}}{\theta}$ en fonction de la concentration C_{inh} à 25°C;

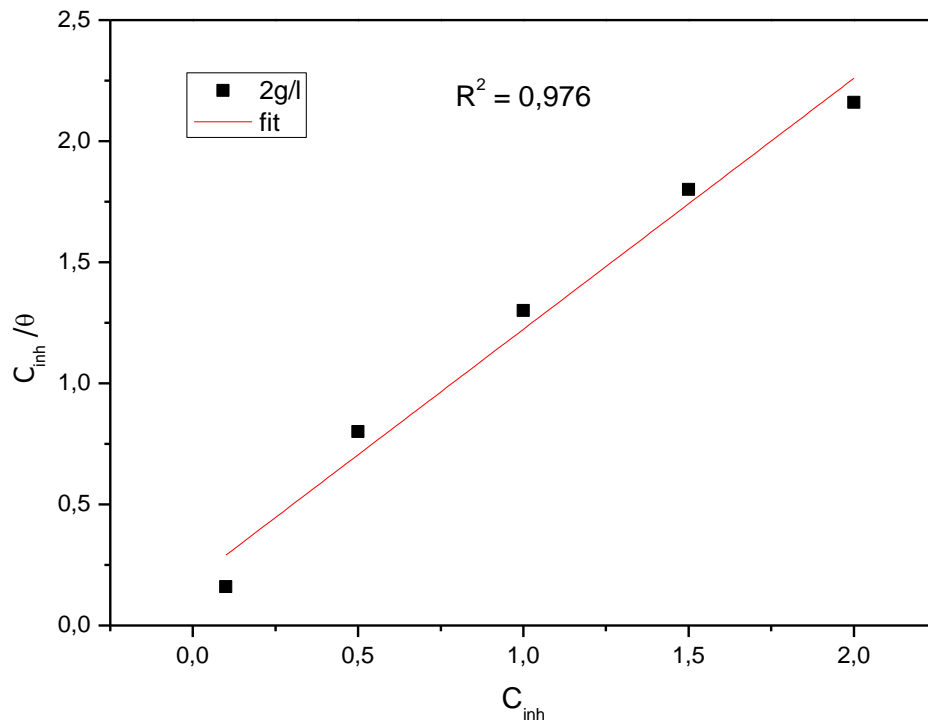


Figure (IV.10) Modèle de l'isotherme de l'adsorption de Langmuir du fer-blanc dans H_2SO_4 1 M à différentes concentrations en huile d'olive à $25^\circ C$,

K_{ads}	5.347
R^2	0.976
Pente	1.036
Intersection	0.187
ΔG° (kJ/mol)	-14.097

Nous remarquons que la valeur du coefficient de corrélation linéaire pour l'isotherme de Langmuir est très proche de 1 (0.976). Ceci indique que l'adsorption de des molécules d'huile d'olive sur la surface de fer-blanc en milieu H_2SO_4 (1M). Selon Langmuir, une adsorption idéale correspond à un coefficient de corrélation égale à 1. La constante d'adsorption K est liée à l'énergie libre standard, ΔG_{ads}° d'adsorption par l'Equation [3] :

$$\Delta G_{ads}^\circ = -RT \ln (55,5 K_{ads}) \dots \dots \text{éq (IV.4)}$$

R est la constante de gaz parfait (8.314 kJ. mol⁻¹. K⁻¹),

T est la température absolue,

Les valeurs de ΔG_{ads}° donnent des informations sur la spontanéité et le type d'adsorption. Si cette valeur est comprise entre -20 et -40 kJ/mol, l'adsorption peut se faire via l'adsorption mixte, si elle est plus négative que -40 kJ/mol, le type d'adsorption serait chimisorption, et lorsque ΔG_{ads}° est autour de -20 kJ/mol ou moins négatives sont compatibles avec l'interaction électrostatique (physisorption) [4]. Dans notre cas, la valeur de ΔG_{ads}° (-14,097KJ/mol), est négative et inférieure en valeur absolue à 20 kJ/mol, ce qui indique que les molécules d'huile d'olive s'adsorbent *spontanément* (signe négatif) à la surface métallique de Fer-blanc par des interactions physiques (*physisorption*)

Références Bibliographiques

- [1] A. Boumezzourh, M. Ouknin, et al. « Inhibition of tinplate corrosion in 0.5 M H₂C₂O₄ medium by Mentha pulegium essential oil », *Int. J. Corros. Scale Inhib.*, 9, no. 1, 152–170 (2020).
- [2] A.N. Grassino, Z.Grabaric, et al., « Corrosion inhibition with different protective layers in tinplate cans for food preservation », *J Sci Food Agric*, 90: 2419–2426 (2010)
- [3] B. Hafez, M. Mokhtari, « Environmentally friendly inhibitor of the corrosion of mild steel: Commercial oil of Eucalyptus », *Int. J. Corros. Scale Inhib*, 8, no. 3, 573–585., (2019).
- [4] H. M. Elabbasy, A. S. Fouda « Olive leaf as green corrosion inhibitor for C-steel in Sulfamic acid solution », *Green chemistry letters and reviews*, Vol. 12, No. 3, 332–342, (2019).



CONCLUSION
GENERALE

Conclusion générale

L'objectif principal de ce travail est porté sur l'étude de l'inhibition de la corrosion de fer-blanc, dans un milieu d'acide sulfurique de concentration 1M, par l'huile d'olive ; en vue de remplacer les composés à base de produits toxiques nocif à l'environnement. Pour réaliser cette étude nous avons utilisé la méthode de perte de masse et la méthode électrochimique (courbe de polarisation).

Les résultats obtenus par ces méthodes ont permis de tirer les points suivants :

- ✓ L'utilisation d'huile d'olive comme inhibiteur de la corrosion en milieu H_2SO_4 1M nous a permis d'obtenir des résultats satisfaisants.
- ✓ La vitesse de corrosion a été significativement réduite par l'ajout de l'huile d'olive et par conséquent, le pouvoir inhibiteur de l'huile d'olive est augmenté avec l'augmentation de la concentration de jusqu'à la valeur (92.57%) enregistrée pour la concentration $C = 2$ g/l en inhibiteur;
- ✓ L'étude de l'effet du temps d'immersion sur le pouvoir inhibiteur d'huile d'olive permet de confirmer la stabilité de notre inhibiteur dans la durée étudiée.
- ✓ Les tests sur l'influence de la température, dans l'intervalle 25-45 °C, sur le pouvoir inhibiteur d'huile d'olive ont montré que l'augmentation de la température diminue l'efficacité inhibitrice.
- ✓ D'après les essais de polarisation il en ressort que l'huile d'olive peut être classée comme un inhibiteur mixte en milieu sulfurique avec une prédominance anodique à cause du léger déplacement du potentiel de corrosion vers des valeurs de plus en plus positives, et le mécanisme de corrosion n'a pas été modifié après leur ajout à la solution.

L'adsorption de l'huile d'olive sur la surface de fer-blanc se fait selon l'isotherme d'adsorption de Langmuir. Ce modèle suppose que l'adsorption est moléculaire et que les interactions entre particules absorbées sont négligeables.

En fin nous souhaiterons que cette étude contribue d'une manière ou d'une autre à la valorisation des produits naturels en tant qu'inhibiteurs biodégradables, ces derniers présentent un intérêt économique important à l'heure où les inhibiteurs organiques synthétiques sont toxiques et très coûteux.

PERSPECTIVES

La principale contribution, qui paraît d'un grand intérêt, est de développer la thématique « inhibition de la corrosion par un produit vert ». Dans cette optique, on continuera bien évidemment à privilégier de nouveaux composés à partir d'autres plantes comme inhibiteur de corrosion. Ainsi, il est envisagé d'étendre leur utilisation à des autres métaux et de compléter cette étude par l'utilisation des techniques de caractérisation de surface, tels que le microscope à balayage électronique (MEB) et de la spectroscopie de photoélectrons X (XPS) afin d'obtenir meilleure connaissance du film formé sur la surface métallique.

Résumé : Depuis longtemps, le fer blanc représente le matériau le plus utilisé pour l'emballage des aliments et des boissons, ce matériau peut être influencé par plusieurs facteurs. Certains d'entre eux sont principalement dus à des phénomènes de corrosion. Pour réduire l'effet négatif causé par l'acidité des aliments en conserve, des nombreuses méthodes ont été testées, l'une de ces méthodes, c'est l'utilisation des inhibiteurs verts ; Ces composés sont écologiques et moins coûteux que les inhibiteurs synthétiques. Le travail de ce mémoire est porté sur l'inhibition de la corrosion de Fer - Blanc en milieu acide 1M H₂SO₄ par l'huile essentielle d'olive. Dans la première partie du travail, l'effet de la concentration cet inhibiteur sur la corrosion du métal a été étudié par gravimétrie et polarisation potentiodynamique. Les tests ont montré que l'huile d'olive possède des performances inhibitrices pertinentes et ont permis de déterminer le type mixte de cet inhibiteur, ainsi que leurs meilleures concentrations. Ces concentrations ont été utilisées dans les investigations par d'autres études. L'étude a montré que l'huile d'olive agit par adsorption de type physisorption sur la surface métallique et forme une monocouche, cette adsorption suit l'isotherme de Langmuir. Finalement Les résultats obtenus montrent que l'huile d'olive est un inhibiteur efficace contre la corrosion de Fer - Blanc.

Mots-clés : *Huile d'olive, Corrosion, Inhibiteur vert, Efficacité inhibitrice, Méthodes électrochimiques,*

Abstract : For a long time, tinfoil has been the most widely used material for food and beverage packaging, this material can be influenced by several factors. Some of them are mainly due to corrosion phenomena. To reduce the negative effect caused by the acidity of canned foods, many methods have been tested, one of these methods is the use of green inhibitors; these compounds are environmentally friendly and less expensive than green inhibitors. synthetics. The work of this thesis is focused on the inhibition of tinfoil corrosion in an acid medium of 1M H₂SO₄ by essential olive oil. In the first part of the work, the effect of the concentration of this inhibitor on the corrosion of the metal was studied by gravimetry and potentiodynamic polarization. The tests showed that olive oil has relevant inhibitory performance and allowed to determine the mixed type of this inhibitor, as well as their best concentrations. These concentrations have been used in investigations by other studies. The study showed that olive oil acts by physisorption type adsorption on the metal surface and forms a monolayer, this adsorption follows the Langmuir isotherm. Finally, The results obtained show that olive oil is an effective inhibitor against tinfoil corrosion.

Keywords: *Olive oil, Corrosion, Green inhibitor, Inhibitory efficiency, Electrochemical methods,*

