

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE 20 AOÛT 1955 SKIKDA

FACULTE DE TECHNOLOGIE

DÉPARTEMENT DE GÉNIE DES PROCÉDÉS



# Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de

## **MASTER**

Filière : Génie des procédés

Spécialité : Génie Chimique

*ETUDE DE LA PROTECTION CONTRE LA CORROSION D'UN  
ACIER DE CONSTRUCTION C1020 PAR UN INHIBITEUR  
EXTRAIT DE NOYAUX D'OLIVES*

Soutenu le 24/06/2023

Réalisé par : TAOUTAOU Amel

SELOUGHA Amani

Encadré par :

Dr.E.BOUSSAHA

Année Universitaire 2022- 2023



# Remerciement

**Nous tenons à remercier Dieu le tout puissant de nous avoir aidé à mener ce travail et à la concrétiser.**

**Mes sincères remerciements à notre encadreur Mr E. BOUSSAHA pour ses conseils valeureux, orientations et sa disponibilité le long de l'élaboration de ce travail.**

**Mes remerciements vont au président et le membre jury d'avoir accepté et critiquer ce mémoire.**

**Nous tenons à remercier Mr.A.DJILANI pour les efforts qu'il a fournis et son aide.**

**Mes plus grands remerciements vont à M. N. HAFIEN pour l'aide qu'elle m'a fournie et d'avoir mis à notre disposition tous les moyens nécessaires pour travailler dans les meilleures conditions.**

**Nous remercions aussi tous les techniciens et les ingénieurs de Hall de technologie.**

**Enfin, nous tenons à exprimer nos sincères gratitude pour tous ceux qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.**





**En premier lieu je remercie Allah le tout puissant de m'avoir Donné la volonté, la santé et le courage pour réaliser ce travail.**

**A mes très chers Parents**

**Je dédie ce mémoire à mes parents, pour l'amour qu'ils m'ont toujours donné, leurs encouragements et toute l'aide qu'ils m'ont apportée durant mes études. Trouvez ici, chère mère et cher père, dans ce modeste travail, le fruit de tant de dévouements et de sacrifices ainsi que l'expression de ma gratitude et de mon profond amour**

**A mes très chers frères (Wassim et louaï) et ma petite sœur loudjain pour leur soutien et leurs encouragements.**

**A toute ma famille Selougha , Ali bouaita , chebel.**

**A mon grand-père et ma grand-mère, mes cousines khawla, Selma, Yasmine, mon oncle Toufik, et à tous les membres de ma famille.**

**À ma chère grand-mère, que Dieu ait pitié d'elle**

**A tous mes amis roumiassa, Rayen.**

**A ma sœur et mon binôme : Amel qui a partagé avec moi les moments difficiles de ce travail et ces années universitaire.**

**A tout la promotion génie chimique 2018-2023**





**Avant tout, je remercie <Dieu> qui me donne la force et le courage d'atteindre ce que j'ai  
atteint aujourd'hui.**

**Je dédie ce modeste travail à ceux qui ont tout sacrifié pour mes chers parents.**

**A mes chers frères : *Walid, Amir***

**A mes chères sœurs : *Abir, Malak***

**A tous les membre de mes famille : *Taoutaou, Barket, Toumi***

**A tous mes amies : ma Binôme *Amani, Mouna, Samer, Abir***

**A tout la promotion Génie chimique 2022/2023**

**A tous ceux que j'estime, et à tous ceux qui me connaissent.**



## **Résumé**

En raison de l'énorme croissance des problèmes environnementaux causés par l'application de certains inhibiteurs de corrosion toxiques, la recherche d'inhibiteurs respectueux de l'environnement, également appelés inhibiteurs verts, a été incitée, en raison de leurs biodégradabilités, de leurs non-toxicités. En plus d'être respectueux de l'environnement et écologiquement acceptables, les produits végétaux sont peu coûteux et facilement disponibles et renouvelables.

Ce travail porte sur l'inhibition de la corrosion de l'acier C 1020 dans différents milieux ( $H_2SO_4$ , HCL, NaCl) par l'extrait de noyaux d'olive qui ne sont pas nocifs pour l'environnement, Il traite de la mise au point d'une méthode d'extraction des composés de la plante, de leur utilisation comme inhibiteur de corrosion en milieu acide et leur mode de fonctionnement. La démarche pour étudier les propriétés inhibitrices de l'extrait des noyaux d'olivier est basée sur l'utilisation de la méthode de perte de masse en l'absence et en présence de l'inhibiteur.

Les résultats obtenus ont mis en évidence l'efficacité de cet inhibiteur, qui a atteint 99% en milieu acide.

La modélisation des résultats a confirmé l'efficacité de l'inhibiteur en connaissant le type d'absorption.

**Mots clés :** Corrosion – Inhibiteurs – Acier C1020 – méthode de perte de masse – Noyaux d'olive – Efficacité d'inhibition – Adsorption physique.

## ملخص

نظرا للنمو الهائل للمشاكل البيئية الناتجة عن الاستخدام الواسع النطاق لبعض مثبطات التآكل السامة، فقد تمت المطالبة بالبحث عن مثبطات التآكل الصديقة للبيئة، والمعروفة أيضا باسم مثبطات التآكل الخضراء، نظرا لقابليتها للتحلل البيولوجي (لا تحتوي على المعادن الثقيلة او المركبات السامة الأخرى) وبالإضافة إلى كونها صديقة للبيئة ومقبولة بيئياً، فإن المنتجات النباتية غير مكلفة ومتاحة ومتجددة.

يركز هذا العمل على دراسة تثبيط تآكل الفولاذ C 1020 في أوساط مختلفة (NaCl, HCl,  $H_2SO_4$ ) بواسطة مستخلص نوى الزيتون الغير مضر بالبيئة ، يتم ذلك بتطوير طريقة لاستخراج المركبات من النبات و استخدامها كمثبط التآكل في الأوساط الحمضية و معرفة مدى تأثيرها . منهجية دراسة الخصائص المثبطة لمستخلص نوى الزيتون تتم بواسطة استخدام طريقة فقدان الكتلة في غياب وجود المثبط.

أبرزت النتائج التي تم الحصول عليها فعالية هذا المثبط، والتي وصلت إلى 99 % في وسط حمضي.

أكدت ندمجة النتائج فعالية المثبط من خلال معرفة نوع الامتصاص

الكلمات المفتاحية: التآكل – مثبطات – فولاذ C1020 – طريقة فقدان الكتلة – نوى الزيتون – كفاءة التثبيط – امتزاز فيزيائي.

## **Abstract**

Due to the enormous growth of environmental problems caused by the application of Some toxic corrosion inhibitors, the search for environmentally friendly inhibitors, also known as green inhibitors, has been prompted, due to their biodegradability, non-toxicity. In addition to being environmentally friendly and ecologically acceptable, plant products are inexpensive, available and renewable.

This work focuses on the inhibition of corrosion of steel C 1020 in different media ( $H_2SO_4$ , HCl, NaCl) by the extract of olive stones that are not harmful to the environment, it deals with the development of a method of extraction of plant compounds, their use as an inhibitor of corrosion in acid medium and their mode of operation. The approach to study the inhibitory properties of olive stone extract is based on the use of the mass loss method in the absence and presence of the inhibitor.

The results obtained highlighted the effectiveness of this inhibitor, which reached 99% in an acidic medium.

The modelling of the results confirmed the effectiveness of the inhibitor by knowing the type of absorption.

**Keywords:** Corrosion – Inhibitors – Steel C1020 – Mass loss method – Olive kernels – Inhibition Efficiency –Physical Adsorption.

## Liste des figures

<b>Figure I.1.</b> La distribution homogène des demi-réactions anodiques et cathodiques génère une corrosion uniforme .....	<b>05</b>
<b>Figure I. 2 :</b> Corrosion localisée.....	<b>06</b>
<b>Figure I.3 :</b> Corrosion galvanique.....	<b>07</b>
<b>Figure I. 4 :</b> Corrosion par piqûres.....	<b>08</b>
<b>Figure I. 5 :</b> Corrosion sélective du laiton (Cu-Zn).....	<b>08</b>
<b>Figure I. 6 :</b> Corrosion inter-granulaire.....	<b>09</b>
<b>Figure I. 7 :</b> Corrosion-érosion.....	<b>09</b>
<b>Figure I.8:</b> Corrosion Caverneuse.....	<b>10</b>
<b>Figure I. 9 :</b> Corrosion sous contraint.....	<b>11</b>
<b>Figure I. 10 :</b> prévention par la forme de récipient. (a) : mauvais. (b) : correct.....	<b>13</b>
<b>Figure I. 11 :</b> protection contre la corrosion galvanique (isolation électrique).....	<b>14</b>
<b>Figure I. 12 :</b> protection contre la corrosion galvanique (pièce sacrificielle).....	<b>14</b>
<b>Figure I. 13 :</b> protection cathodique par anode sacrificielle.....	<b>15</b>
<b>Figure I. 14 :</b> protection cathodique par courant imposé.....	<b>16</b>
<b>Figure II.1 :</b> Classification des inhibiteurs de corrosion.....	<b>21</b>
<b>Figure II.2 :</b> Représentation en milieu acide du rôle d'un inhibiteur anodique : (a) sans inhibiteur, (b) avec inhibiteur .....	<b>25</b>
<b>Figure II.3 :</b> Représentation du rôle d'un inhibiteur cathodique(a) sans inhibiteur, (b) avec inhibiteur.....	<b>25</b>
<b>Figure II.4 :</b> Diagrammes d'Evans montrant le déplacement du potentiel de corrosion dû à la Présence d'un inhibiteur de corrosion.....	<b>26</b>

<b>Figure II.5 :</b> Représentation schématique des modes d'adsorption de molécules organiques inhibitrices sur une surface métallique.....	<b>30</b>
<b>Figure III.1:</b> feuille et fruits d'olivier.....	<b>34</b>
<b>Figure III.2.</b> Différentes parties de l'olive.....	<b>37</b>
<b>Figure III.3:</b> Extraction liquide-liquide.....	<b>38</b>
<b>Figure III.4 :</b> Extraction solide –liquide.....	<b>39</b>
<b>Figure III.5 :</b> La forme et dimensions de plaquettes .....	<b>42</b>
<b>Figure III.6 :</b> Une polisseuse.....	<b>43</b>
<b>Figure III.7 :</b> les solutions de HCl .....	<b>45</b>
<b>Figure III.8 :</b> les solutions de $H_2SO_4$ .....	<b>45</b>
<b>Figure III.9 :</b> Préparation de la solution corrosive NaCl.....	<b>45</b>
<b>Figure III.10 :</b> Schéma représente les étapes de préparation de la poudre des noyaux d'olive.....	<b>46</b>
<b>Figure III.11 :</b> Agitation du mélange pondant 24 h.....	<b>48</b>
<b>Figure III.12 :</b> poudre de noyaux d'olive.....	<b>48</b>
<b>Figure III.13 :</b> Montage de filtration de solution.....	<b>48</b>
<b>Figure III.14 :</b> Montage de l'évaporateur rotatif.....	<b>49</b>
<b>Figure III.15 :</b> méthode de perte de masse (Immersion l'acier 1020 dans solutions corrosifs HCl (1% ,2% ,3% ,4% ,5% en absence des différentes concentrations de l'inhibiteur à la température ambiante) .....	<b>50</b>
<b>Figure III.16 :</b> méthode de perte de masse (Immersion l'acier 1020 dans solutions corrosifs $H_2SO_4$ (1% ,2% ,3% ,4% ,5% en absence des différentes concentrations de l'inhibiteur à la température ambiante) .....	<b>50</b>
<b>Figure III.17 :</b> méthode de perte de masse (Immersion l'acier 1020 dans solutions corrosifs NaCl (1% ,2% ,3% ,4% ,5% ) en absence des différentes concentrations de l'inhibiteur à la température ambiante).....	<b>50</b>

<b>Figure III.18:</b> méthode de perte de masse (Immersion l'acier 1020 dans les solutions corrosifs $H_2SO_4$ , $HCl$ , $NaCl$ en présence des différentes concentrations de l'inhibiteur à la température ambiante) .....	<b>51</b>
<b>Figure IV.1 :</b> Evolution de la vitesse de corrosion à différentes concentrations d'inhibiteurs en fonction de la concentration de milieu $H_2SO_4$ pendant 3 h .....	<b>53</b>
<b>Figure IV.2 :</b> Evolution de l'efficacité à différentes concentrations de l'inhibiteur de noyaux d'Olive en milieu $H_2SO_4$ .....	<b>54</b>
<b>Figure IV.3 :</b> Evolution de la vitesse de corrosion à différentes concentrations d'inhibiteurs en fonction de la concentration de milieu $NaCl$ pendant 3 h .....	<b>55</b>
<b>Figure IV.4 :</b> La variation de la vitesse de corrosion à 5% d'inhibiteurs en fonction de la concentration de milieu $NaCl$ pendant 3 h.....	<b>56</b>
<b>Figure IV.5 :</b> Evolution de l'efficacité à différentes concentrations de l'inhibiteur de noyaux d'Olive en milieu $NaCl$ .....	<b>57</b>
<b>Figure IV.6 :</b> Evolution de la vitesse de corrosion sans et avec l'addition de l'extrait en fonction de différentes concentrations de $HCl$ pendant 3h.....	<b>58</b>
<b>Figure IV.7:</b> Evolution de l'efficacité à différentes concentrations de l'inhibiteur de noyaux d'Olive en milieu $HCl$ .....	<b>59</b>
<b>Figure IV.8 :</b> Isotherme d'adsorption de Temkin de l'acier C1020 dans $H_2SO_4$ 5 M en présence de l'extrait de noyaux d'Olive.....	<b>61</b>
<b>Figure IV.9:</b> Isotherme d'adsorption de Freundlich de l'acier C1020 dans $H_2SO_4$ 5 M en présence de l'extrait de noyaux d'Olive .....	<b>62</b>
<b>Figure IV.10:</b> Isotherme d'adsorption de Langmuir de l'acier C1020 dans $H_2SO_4$ 5 M en présence de l'extrait de noyaux d'Olive .....	<b>63</b>
<b>Figure IV.11 :</b> Isotherme d'adsorption de Langmuir de l'acier C1020 dans $H_2SO_4$ 3M en présence de l'extrait de noyaux d'Olive.....	<b>64</b>
<b>Figure IV.12 :</b> Isotherme d'adsorption de Langmuir de l'acier C1020 dans $H_2SO_4$ 1M en présence de l'extrait de noyaux d'Olive.....	<b>65</b>
<b>Figure IV.14:</b> Isotherme d'adsorption de Langmuir de l'acier C1020 dans $NaCl$ 3M en présence de l'extrait de noyaux d'Olive.....	<b>67</b>

<b>Figure IV.15</b> : Isotherme d'adsorption de Langmuir de l'acier C1020 dans NaCl 5M en présence de l'extrait de noyaux d'Olive.....	<b>68</b>
<b>Figure IV.16</b> : Isotherme d'adsorption de Langmuir de l'acier C1020 dans HCl 3M en présence de l'extrait de noyaux d'Olive.....	<b>69</b>
<b>Figure IV.17</b> : Isotherme d'adsorption de Langmuir de l'acier C1020 dans HCl 5M en présence de l'extrait de noyaux d'Olive.....	<b>70</b>

## **Liste des tableaux**

<b>Tableau I. 1 :</b> Les principaux facteurs de corrosion.....	<b>11</b>
<b>Tableau III.1 :</b> Classification de la plante.....	<b>35</b>
<b>Tableau III.2.</b> Résultats d'analyse de l'échantillon « acier au carbone 1020 » .....	<b>43</b>
<b>Tableau III.3.</b> Propriétés mécanique « acier au carbone 1020 » .....	<b>43</b>
<b>Tableau III.4 :</b> Les paramètres de l'acide sulfurique $H_2SO_4$ .....	<b>45</b>
<b>Tableau III.5 :</b> Les paramètres de l'acide sulfurique HCl.....	<b>45</b>
<b>Tableau IV.1 :</b> Les valeurs de la vitesse de corrosion sans et avec l'inhibiteur à différents concentration et à différents concentration de milieu $H_2SO_4$ pendant 3h....	<b>53</b>
<b>Tableau IV.2 :</b> Evolution d'Efficacité de l'inhibiteur en E (%) à différents concentration d'inhibiteurs en fonction de différente concentration de $H_2SO_4$ Pendant 3 h.....	<b>54</b>
<b>Tableau IV.3</b> Les valeurs de la vitesse de corrosion sans et avec l'inhibiteur à différents concentration et à différents concentration de milieu NaCl pendant 3 h....	<b>55</b>
<b>Tableau IV.4 :</b> Les valeurs de l'efficacité de l'inhibiteur à différents concentration et à différentes concentrations de NaCl pendant 3h.....	<b>56</b>
<b>Tableau IV.5 :</b> Les valeurs de la vitesse de corrosion sans et avec inhibiteur pendant 3h dans HCl.....	<b>57</b>
<b>Tableau IV.6 :</b> Les valeurs de l'efficacité de l'inhibiteur à différentes concentrations de milieu HCl pendant 3h.....	<b>58</b>
<b>Tableau IV.7:</b> Paramètre d'isotherme de Temkin pendant un temps d'immersion 3h en milieu $H_2SO_4$ à 25°C.....	<b>61</b>
<b>Tableau IV.8:</b> Paramètre d'isotherme de Temkin pendant un temps d'immersion 3h en milieu $H_2SO_4$ à 25°C.....	<b>62</b>
<b>Tableau IV.9:</b> Paramètre d'isotherme de Langmuir pendant un temps d'immersion 3h en milieu $H_2SO_4$ à 25°C.....	<b>62</b>

<b>Tableau IV.10</b> : Les valeurs de coefficient de corrélation ( $R^2$ ) obtenus par les isothermes de Langmuir , Temkin et Freundlich.....	<b>63</b>
<b>Tableau IV.11</b> : Paramètre d'isotherme de Langmuir pendant un temps d'immersion 3h en milieu $H_2SO_4$ 3M à $25^\circ C$ .....	<b>64</b>
<b>Tableau IV.12</b> : Paramètre d'isotherme de Langmuir pendant un temps d'immersion 3h en milieu $H_2SO_4$ 1M à $25^\circ C$ .....	<b>65</b>
<b>Tableau IV.13</b> : Paramètre thermodynamique de l'adsorption de l'extrait de noyaux d'Olive sur la surface de l'acier à différentes concentrations en fonction du concentration de milieu $H_2SO_4$ (1,3et 5) M $25^\circ C$ pendant 3h.....	<b>66</b>
<b>Tableau IV.14</b> : Paramètre d'isotherme de Langmuir pendant un temps d'immersion 3h en milieu NaCl 3M à $25^\circ C$ .....	<b>67</b>
<b>Tableau IV.15</b> : Paramètre d'isotherme de Langmuir pendant un temps d'immersion 3h en milieu NaCl 5M à $25^\circ C$ .....	<b>68</b>
<b>Tableau IV.16</b> : Paramètre thermodynamique de l'adsorption de l'extrait de noyaux d'Olive sur la surface de l'acier à différentes concentrations en fonction du concentration de milieu NaCl (3et 5) M $25^\circ C$ pendant 3h.....	<b>69</b>
<b>Tableau IV.17</b> : Paramètre d'isotherme de Langmuir pendant un temps d'immersion 3h en milieu HCl 3M à $25^\circ C$ .....	<b>69</b>
<b>Tableau IV.18</b> : Paramètre d'isotherme de Langmuir pendant un temps d'immersion 3h en milieu HCl 5M à $25^\circ C$ .....	<b>70</b>
<b>Tableau IV.19</b> : Paramètre thermodynamique de l'adsorption de l'extrait de noyaux d'Olive sur la surface de l'acier à différentes concentrations en fonction de la concentration de milieu HCl (3et 5) M $25^\circ C$ pendant 3h.....	<b>71</b>

Liste des abréviations et symboles

Abréviation et symboles	Signification
$O_2$	Dioxygène
$H^+$	Ion hydrogène
Ox	Oxydant
Red	Réducteur
$H_2$	Hydrogène
$H_2O$	Eau
$OH^-$	Hydroxyde ionique
$CO_2$	Dioxyde de Carbone
NaCl	Chlorure de sodium
$H_2SO_4$	Acide Sulfurique
HCl	Acide chlorhydrique
$V_{corr}$	La vitesse de la corrosion sans inhibiteurs
$V_{corr,inh}$	La vitesse de la corrosion avec inhibiteurs
E(%)	Efficacité Inhibitrice
$\Delta m$	La perte de masse
R	Rendement
S	Surface d'aire
t	Temps d'immersion
T	Temperature
$C_{inh}$	La Concentration en inhibiteur
M	Molairité
$^{\circ}C$	Celsius
Fe	Fer

---

---

## Sommaire

Remerciements	
Dédicace	
Résumé	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations et symboles	
Sommaire	
<b>Introduction générale.....</b>	<b>01</b>

### CHAPITRE I : Généralités sur la corrosion

<b>I.1. Introduction .....</b>	<b>03</b>
<b>I.2. Origine de la corrosion.....</b>	<b>03</b>
<b>I.3. Définition de la corrosion.....</b>	<b>03</b>
<b>I.4. Les types de corrosion .....</b>	<b>04</b>
<b>I.4.1. Corrosion biochimique (bactérienne).....</b>	<b>04</b>
<b>I.4.2. Corrosion électrochimique .....</b>	<b>04</b>
<b>I.4.3. Corrosion chimique (sèche).....</b>	<b>04</b>
<b>I.5. Morphologie de la corrosion.....</b>	<b>05</b>
<b>I.5.1. Corrosion uniforme ou généralisée.....</b>	<b>05</b>
<b>I.5.2. Corrosion localisée.....</b>	<b>06</b>
<b>I.5.2.1. Corrosion galvanique.....</b>	<b>06</b>
<b>I.5.2.2. Corrosion Par pique.....</b>	<b>07</b>
<b>I.5.2.3. Corrosion sélective.....</b>	<b>08</b>
<b>I.5.2.4. Corrosion inter –granulaire.....</b>	<b>08</b>

<b>I.5.2.5.</b> Corrosion par érosion .....	<b>09</b>
<b>I.5.2.6.</b> Corrosion caverneuse.....	<b>10</b>
<b>I.5.2.7.</b> Corrosion sous contraint.....	<b>10</b>
<b>I.6.</b> Les facture de corrosion.....	<b>11</b>
<b>I.7.</b> Les paramètres influençant sur la vitesse de réaction.....	<b>12</b>
<b>I.7.1.</b> Effet de la température .....	<b>12</b>
<b>I.7.2.</b> Effet de l'acidité .....	<b>12</b>
<b>I.7.3.</b> Régime hydrodynamique.....	<b>12</b>
<b>I.7.4.</b> La salinité .....	<b>12</b>
<b>I.8.</b> La lutte contre la corrosion.....	<b>13</b>
<b>I.8.1.</b> Prévention par la forme adaptée des pièces.....	<b>13</b>
<b>I.8.2.</b> Utilisation des pièces échangeable .....	<b>14</b>
<b>I.8.3.</b> Protection cathodique .....	<b>15</b>
<b>I.8.3.1</b> Anode sacrificielle .....	<b>15</b>
<b>I.8.3.2.</b> Courant imposé .....	<b>15</b>
<b>I.8.4.</b> Protection Anodique .....	<b>16</b>
<b>I.8.5.</b> Protection par revêtements.....	<b>16</b>
<b>I.8.5.1.</b> Revêtement métallique.....	<b>16</b>
<b>I.8.5.2.</b> Revêtement organique.....	<b>17</b>
<b>I.8.5.3.</b> Revêtement inorganiques non métalliques.....	<b>17</b>
<b>I.8.6.</b> Protection par l'inhibiteur de la corrosion .....	<b>18</b>
<b>I.9.</b> Conclusion.....	<b>18</b>

**CHAPITRE II : Généralités sur les inhibiteurs**

<b>II.1.</b> Introduction .....	<b>19</b>
<b>II.2.</b> Définition d'inhibiteur.....	<b>19</b>
<b>II.3.</b> Les propriétés d'inhibiteurs.....	<b>19</b>
<b>II.4.</b> Conditions d'utilisation .....	<b>20</b>
<b>II.5.</b> Utilisation industrielle courantes.....	<b>21</b>
<b>II.6.</b> Class de l'inhibiteur .....	<b>21</b>
<b>II.6.1.</b> Classement selon la nature de l'inhibiteur.....	<b>22</b>
<b>II.6.1.1.</b> Les inhibiteurs minéraux.....	<b>22</b>
<b>II.6.1.2.</b> Les inhibiteurs organiques.....	<b>22</b>
<b>II.6.2.</b> Classement selon mécanisme d'action.....	<b>23</b>
<b>II.6.2.1.</b> Le mécanisme d'action interfaciale.....	<b>23</b>
<b>II.6.2.2.</b> Mécanisme d'action électrochimique.....	<b>24</b>
<b>II.6.3.</b> Domaine d'application .....	<b>26</b>
<b>II.7.</b> Comportement des inhibiteurs dans des milieux acides.....	<b>27</b>
<b>II.7.1.</b> Adsorption physique (physisorption).....	<b>27</b>
<b>II.7.2.</b> Adsorption chimique (chimisorption).....	<b>28</b>
<b>II.7.3.</b> La liaison $\pi$ .....	<b>28</b>
<b>II.7.4.</b> La liaison hydrogène.....	<b>28</b>
<b>II.8.</b> Structure moléculaire des inhibiteurs.....	<b>28</b>
<b>II.9.</b> Les inhibiteurs de corrosion verts.....	<b>30</b>
<b>II.10.</b> Efficacité des inhibiteurs de corrosion.....	<b>31</b>
<b>II.11.</b> Méthodes d'évaluation de l'action des inhibiteurs sur la corrosion.....	<b>32</b>
<b>II.12.</b> Conclusion.....	<b>32</b>

**CHAPITRE III : Méthodes et procédures expérimentales**

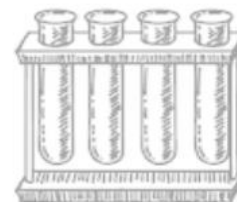
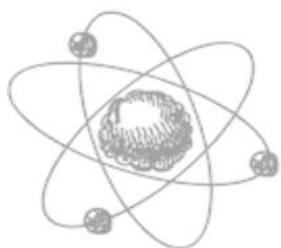
<b>III.1.</b> Introduction.....	<b>33</b>
<b>III.2.</b> Etude bibliographique sur la plante.....	<b>34</b>
<b>III.2.1.</b> Introduction.....	<b>34</b>
<b>III.2.2.</b> L'olivier ( <i>Olea europaea</i> Le.).....	<b>34</b>
<b>III.2.3.</b> Les extraits des plantes.....	<b>38</b>
<b>III.2.4.</b> Extraction.....	<b>38</b>
<b>III.2.4.1.</b> L'extraction liquide-liquide.....	<b>38</b>
<b>III.2.4.2.</b> Extraction solide-liquide.....	<b>39</b>
<b>III.2.4.3.</b> Extraction végétale .....	<b>39</b>
<b>III.3.</b> Techniques d'essais électrochimiques.....	<b>40</b>
<b>III.3.1.</b> Méthode gravimétrique (Technique de la masse perdue).....	<b>40</b>
<b>III.3.1.1.</b> Théorie et principe de fonctionnement .....	<b>40</b>
<b>III.4.</b> Matériel et milieux d'étude.....	<b>42</b>
<b>III.4.1.</b> Matériau.....	<b>42</b>
<b>III.4.1.1.</b> Préparation des échantillons et polissage.....	<b>42</b>
<b>III.4.1.2.</b> Préparation des surfaces .....	<b>43</b>
<b>III.4.1.3.</b> L'acier au carbone utilisé.....	<b>43</b>
<b>III.4.1.4.</b> La composition chimique des échantillons.....	<b>43</b>
<b>III.4.1.5.</b> Propriétés mécanique.....	<b>43</b>
<b>III.4.2.</b> Milieux d'études.....	<b>44</b>
<b>III.4.2.1.</b> Préparation des solutions corrosives.....	<b>44</b>
<b>III.5.</b> Préparation de l'extrait des noyaux d'olives.....	<b>45</b>
<b>III.5.1.</b> Préparation de la poudre .....	<b>45</b>
<b>III.5.2.</b> L'extraction.....	<b>46</b>
<b>III.5.2.1.</b> Matériels utilisées.....	<b>46</b>

<b>III.5.2.2.</b> Produits utilisées.....	<b>47</b>
<b>III.5.2.3.</b> Mode opératoire.....	<b>47</b>
<b>III.5.2.4.</b> Détermination du rendement de l'extrait.....	<b>49</b>
<b>III.6.</b> Procédures expérimentales .....	<b>50</b>

## **CHAPITRE VI : Résultats et discussions**

<b>VI .1.</b> Introduction .....	<b>52</b>
<b>VI.2.</b> Calcule du rendement de l'extraction.....	<b>52</b>
<b>VI.2.1.</b> Le rendement de noyaux d'Olive.....	<b>52</b>
<b>IV.3.</b> Etude gravimétrique .....	<b>52</b>
<b>IV.3.1.</b> Vitesse de la corrosion d'acier au carbone.....	<b>52</b>
<b>IV.3.1.1.</b> L'inhibition de la corrosion de l'acier en milieu $H_2SO_4$ .....	<b>52</b>
<b>IV.3.1.1.2.</b> L'évaluation de l'efficacité de l'inhibiteur en fonction de concentration de milieu $H_2SO_4$ .....	<b>53</b>
<b>IV.4.</b> L'inhibition de la corrosion de l'acier en milieu NaCl.....	<b>55</b>
<b>IV.4.1.</b> Vitesse de la corrosion d'acier au carbone.....	<b>55</b>
<b>IV.4.2.</b> L'évaluation de l'efficacité de l'inhibiteur en fonction de différentes concentrations.....	<b>56</b>
<b>IV.5.</b> L'inhibition de la corrosion de l'acier en milieu HCl.....	<b>57</b>
<b>IV.5.1.</b> Vitesse de la corrosion d'acier au carbone .....	<b>57</b>
<b>IV.5.2.</b> L'évaluation de l'efficacité de l'inhibiteur en fonction de différents concentration de HCl.....	<b>58</b>
<b>IV.6.</b> Interprétation des différents résultats.....	<b>59</b>
<b>IV.6.1.</b> Vitesse de la corrosion d'acier au carbone.....	<b>59</b>
<b>IV.6.2.</b> Efficacité de l'inhibiteur de noyaux d'Olive.....	<b>60</b>
<b>IV.7.</b> Isotherme d'adsorption.....	<b>60</b>
<b>Conclusion général</b> .....	<b>72</b>

# Introduction générale



## **Introduction générale**

La corrosion est le phénomène suivant lequel les métaux ont tendance, sous l'action d'agents atmosphériques ou de réactifs chimiques, à retourner à leur état original d'oxyde, carbonate, plus stable par rapport au milieu considéré, et ainsi à subir une détérioration de leurs propriétés.

L'importance économique de la corrosion dans notre vie quotidienne, domestique ou industrielle, n'est plus à démontrer. Les dégâts causés par ce phénomène entraînent dans le monde des pertes qui se chiffrent chaque année à des milliards de dollars et sans méthodes de prévention et protection ces chiffres peuvent être plus élevés. De ce fait, le développement de technologies de protection plus sûres, économiques et non nuisibles à l'environnement représente un nouveau défi pour l'ingénieur qui devra posséder des connaissances scientifiques approfondies dans les domaines de l'électrochimie et de corrosion des métaux, il devra se familiariser avec les méthodes expérimentales modernes ainsi que les nouveaux matériaux [1].

Dans un environnement où se produit la destruction chimique ou électrochimique des matériaux métalliques. Plus stable par rapport aux milieux corrosifs, et donc sujet à la détérioration de ses propriétés [2].

Les composés non métalliques ne sont pas inclus dans cette définition, les plastiques peuvent gonfler ou se casser, le bois peut s'ouvrir, le granit peut se corroder et le ciment Portland peut fuir, mais le terme corrosion se limite ici à l'attaque chimique des métaux [3].

Les inhibiteurs de corrosion sont des produits chimiques qui, ajoutés à l'eau ou tout autre fluide de processus, réduisent la vitesse de corrosion. On les classe habituellement en : inhibiteurs anodiques, cathodiques, filmant et absorbeurs d'oxygène, suivant leur mode d'action [4]. C'est dans ce contexte que nous avons étudié l'inhibition de la corrosion d'un acier au carbone.

Pour notre étude on a considéré trois milieux différents : HCl, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> et NaCl à différentes concentrations (1% 2% 3% 4% 5%).

A la fin on retrouvera les principaux résultats trouvés dans le présent travail, en l'occurrence, les mesures expérimentales, le résultat analytique et les résultats de la modélisation avec l'isotherme.

Nous retrouverons les résultats obtenus qui sera par la suite analysés, interprété et comparés. En dernier lieu, on terminera par une conclusion générale.

Le travail que nous présentons dans ce mémoire est subdivisé en deux parties principales et une conclusion générale.

- **La première partie** : concerne une synthèse théorique, composée de deux chapitres contenant respectivement :
  - Le premier chapitre « Généralités sur la corrosion » consiste à la bibliographie de la corrosion, les facteurs provoquant de la corrosion, ses différentes formes et les types de corrosion.
  - Le deuxième chapitre « Généralités sur les inhibiteurs » on parle dans ce chapitre sur les méthodes de protection contre la corrosion et les mécanismes d'inhibition.
- **La deuxième partie** : partie pratique est subdivisée en deux chapitres :
  - Le troisième chapitre « Méthodes et procédures expérimentales » ce chapitre résumé tous les appareille, les produits chimiques (acides, solvants,). Les inhibiteurs et toutes les conditions qui nous avons utilisée dans ce travail.
  - Le quatrième chapitre « résultats et discussions » ce chapitre résume ce travail. Et en globe tous les résultats obtenus, calculées, leurs explications, et nous avons terminé ce chapitre par des résultats généraux.

A la fin de ce travail une conclusion générale qui résume les résultats les plus importants obtenus dans ce travail.

**Référence bibliographique**

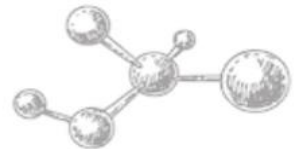
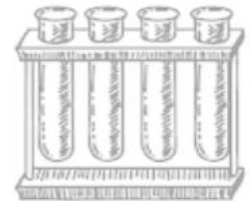
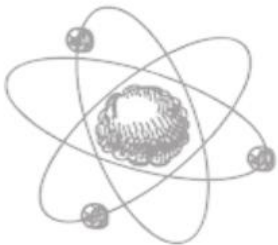
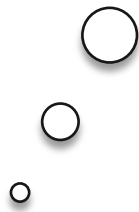
[1] Dr. H. Bensabra ; Cours de corrosion et protection des métaux ; Université de Jijel ; 2016.

[2] G. Daufin, J. Talbot ; Hal ; Etude de quelques problèmes de corrosion dans l'industrie laitière ; 1ère partie Généralités sur la corrosion des métaux et alliages ; Le lait ; Inra édition ; 1971 ; p 375-398.

[3] D. William, Jr. Callister ; Science et Génie des matériaux ; 2001 ; p 505 -50

[4] K, B; Synthèse de l'extrait de l'extrait de griffe de sorcière utilisée comme inhibiteur de corrosion dans les milieux 0.5 M, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0.5 M, 3% et l'eau de refroidissement de l'échangeur E5; Mémoire de Master; Université de Skikda ;2019.

# Chapitre I : Généralités sur la corrosion



### I.1. Introduction

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

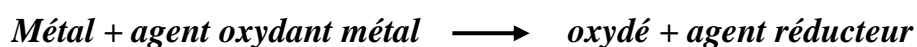
### I.2. Origine de la corrosion

Les causes de la corrosion sont multiples et complexes et résultent d'interactions chimiques et /ou physiques entre le matériau et son environnement. Les différents paramètres qui provoquent la corrosion d'un matériau sont : composition chimique et microstructure du métal, composition chimique de l'environnement, paramètres physiques (température, convection, irradiation, ...etc.), sollicitations mécaniques (contraintes, chocs, frottements, ...etc.) [1].

### I.3. Définition de la corrosion

La corrosion est définie comme étant l'interaction physico-chimique entre un métal et son milieu environnant entraînant des modifications dans les propriétés du métal et souvent une dégradation fonctionnelle du métal lui-même, de son environnement ou du système technique constitué par les deux facteurs [2].

La corrosion des métaux est due à une réaction d'oxydoréduction irréversible entre le métal et un agent oxydant contenu dans l'environnement. L'oxydation du métal implique la réduction de l'agent oxydant selon la réaction : [3]



## I.4. Les types de corrosion

Les phénomènes à l'origine de la corrosion peuvent évoluer selon différents processus, chacun caractérisant un type de corrosion. On distingue trois types de corrosion : chimique, bactérienne et électrochimique [4].

### I.4.1. Corrosion biochimique (bactérienne)

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 présence d'organismes dans la nature peut localement modifier les milieux et les rendre très agressifs, et ce type de corrosion correspond à l'attaque directe ou indirecte des minéraux par les bactéries. Une attaque bactérienne en particulier apparaît dans les conduites enterrées, les structures immergées et les pipelines pétroliers [5,6].

### I.4.2. Corrosion électrochimique

Généralement, lorsque le réactif est un liquide, il est accompagné d'une corrosion électrochimique produite essentiellement par l'oxydation d'un métal sous forme d'ions ou d'oxydes et réduite l'agent corrosif existant dans la solution électrolyte. Par ailleurs, elle se produit par des transferts électroniques entre un métal et une solution électrolytique à son contact (circulation d'un courant électrique) [1,7]. Pour une corrosion électrochimique on a :

A solide + B liquide  $\rightarrow$  AB solide

### I.4.3. Corrosion chimique (sèche)

La corrosion chimique est l'attaque directe du métal par son environnement. Ce type de Corrosion se développe dans une solution non électrolyte ou sur action des gazeux (d'O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub> et CO<sub>2</sub>). Lorsque le réactif est gazeux ou cette corrosion se produit à haute température, elle est alors appelée corrosion sèche ou corrosion à haute température.

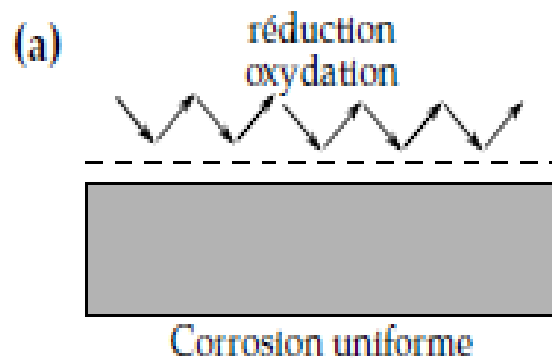
La réaction qui se produit est de la forme [1,8] :



## I.5. Morphologie de la corrosion

### I.5.1. Corrosion uniforme ou généralisée

La corrosion uniforme ou généralisée est une perte de matière plus ou moins régulière sur toute la surface [9], se développe à travers de petites piqûres, de petit diamètre de l'ordre de micromètre. La corrosion généralisée se caractérise par une diminution d'épaisseur uniforme sur toute la surface du métal : la couche d'oxyde étant dissoute d'une façon régulière par l'agent corrosif. Elle se traduit par une dissolution uniforme de la surface métallique en contact avec l'agent agressif [10]. Cette forme de corrosion est relativement facile à quantifier par des mesures de perte de masse ou d'épaisseur et sa progression sur une structure en service peut être suivie par des contrôles périodiques. Les concepteurs d'appareillages peuvent en tenir compte en prévoyant des surépaisseurs consommables par la corrosion. Ce type de corrosion est donc souvent peu dangereux même s'il peut être très couteux [11].



**Figure I.1.** La distribution homogène des demi-réactions anodiques et cathodiques génère une corrosion uniforme [2].

### I.5.2. Corrosion localisée

La corrosion localisée est la forme la plus insidieuse. Elle survient sur une partie du métal à un taux bien supérieur au reste de la surface qui représente un lieu spécifiquement anodique, clairement distingué, dont la surface est très faible devant le reste de la structure métallique qui constitue la zone cathodique (Fi). En effet, pour une perte de poids minime, ce type de corrosion peut être catastrophique.

La corrosion localisée est définie comme étant une attaque qui se déroule en un milieu spécifiquement anodique d'une surface d'un matériau. Dans ce cas de réaction, on distingue clairement les zones anodiques et cathodiques [12].

Cette forme de corrosion s'effectue dans quelque point de surface d'un matériau, les chercheurs ont subdivisé ce type de corrosion sous plusieurs types :

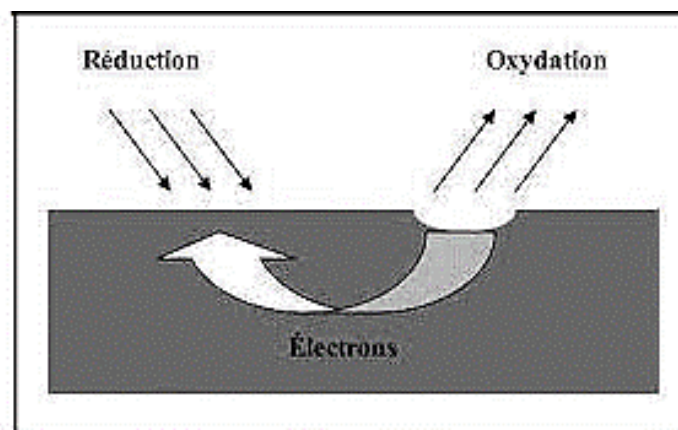


Figure I. 2 : Corrosion localisée.

#### I.5.2.1. Corrosion galvanique

Est une forme de corrosion localisée Corrosion galvanique entre deux métaux différents plongés dans un électrolyte, où il existe une différence de potentiel. Si ces métaux sont en contact (c'est-à-dire connectés électriquement), un courant électrique s'établit, ils forment une pile qui produit du courant en consommant le métal le plus électro-négatif qui constitue l'anode [13].

L'attaque peut être considérée comme localisée à un endroit précis, mais la forme de l'usure est généralisée (Figure I.2) [14].

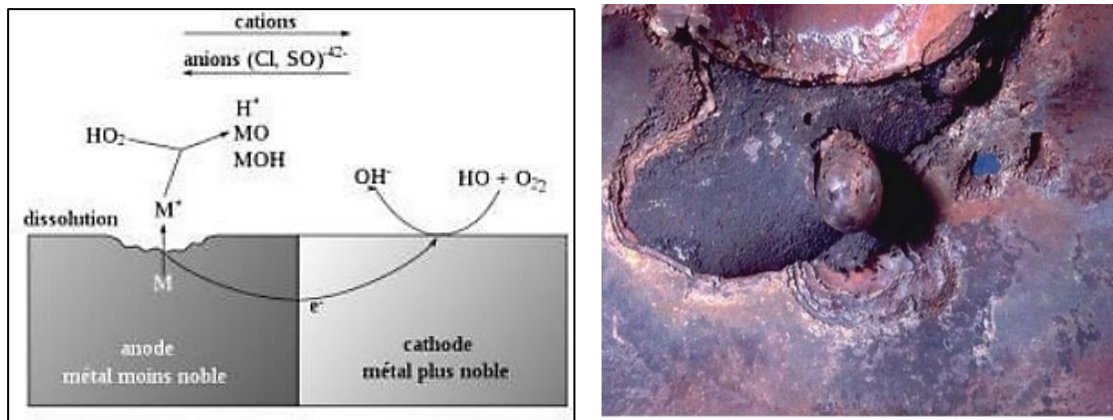


Figure I.3 : Corrosion galvanique [15].

### I.5.2.2. Corrosion Par piqures

C'est une forme de corrosion localisée produite par certains anions, se traduit par la formation, sur la surface du métal, de cavités aux formes irrégulières dont le diamètre et la profondeur varient suivant plusieurs paramètres propres au métal, au milieu et conditions de service (Figure I.3) [16].

Elle est produite généralement par la présence d'anions agressifs notamment les halogénures et plus particulièrement les chlorures, sur des métaux protégés par des films d'oxyde très minces [17].

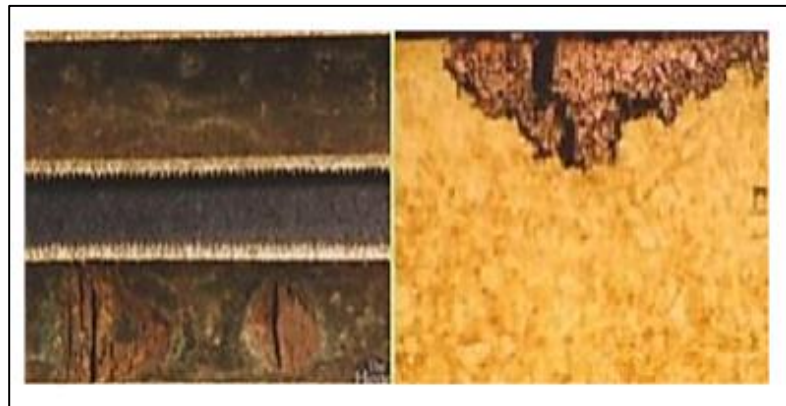
Le phénomène de piqûration, de nature stochastique, est souvent difficile à prédire. Sa cinétique peut être élevée. La corrosion par piqûre représente donc un danger important pour le métal et sa fonctionnalité, d'où le grand nombre d'études qui lui sont consacrées [18].



**Figure I. 4 :** Corrosion par piqûres.

### **I.5.2.3. Corrosion sélective**

C'est l'oxydation d'un composant de l'alliage, conduisant à la formation d'une structure métallique poreuse [19]. Cette corrosion ne se produit que si la teneur en éléments préférentiellement soluble (qui s'oxyde) dépasse un certain seuil. Le cas le plus connu sous cette forme de corrosion est le cas de la dézincification des laitons [20].



**Figure I. 5 :** Corrosion sélective du laiton (Cu-Zn) [21].

### **I.5.2.4. Corrosion intergranulaire**

C'est une forme de corrosion qui se propage dans le métal en consommant uniquement les zones associées aux joints de grains.

C'est une attaque sélective aux joints de grains, souvent, il s'agit de phases qui ont précipitées lors d'un traitement thermique.

C'est un type de corrosion particulièrement dangereux car, bien que la quantité de métal attaque soit faible, les caractéristiques mécaniques du métal sont altérées car les fissures ainsi produites affaiblissent le métal. Par exemple ; l'acier inoxydable austénitique sensibilisées à chaud par précipitation du carbure de chrome aux des grains [22].

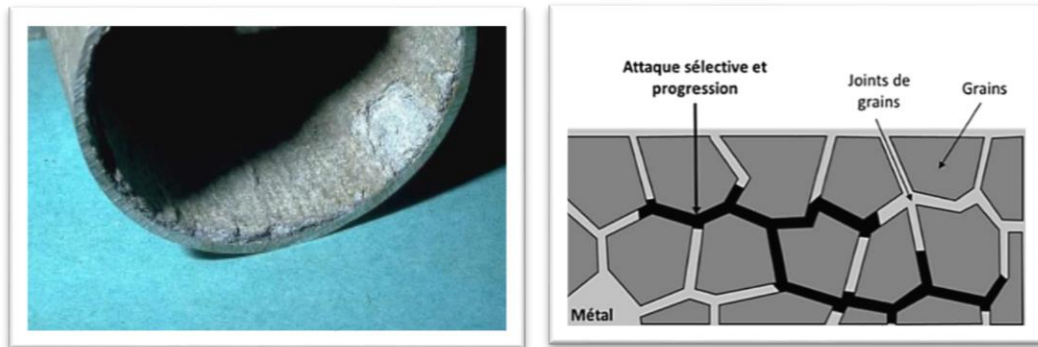


Figure I. 6 : Corrosion inter-granulaire

#### I.5.2.5. Corrosion par érosion

Est due à l'action conjointe d'une réaction électrochimique et d'un enlèvement mécanique de matière. Elle a souvent lieu sur des métaux exposés à l'écoulement rapide de fluide (Figure I.6) [23].

La corrosion-érosion affecte de nombreux matériaux (aluminium, acier...) [24], Elle est due à l'action conjointe d'une réaction électrochimique et d'un enlèvement mécanique de matière [25].

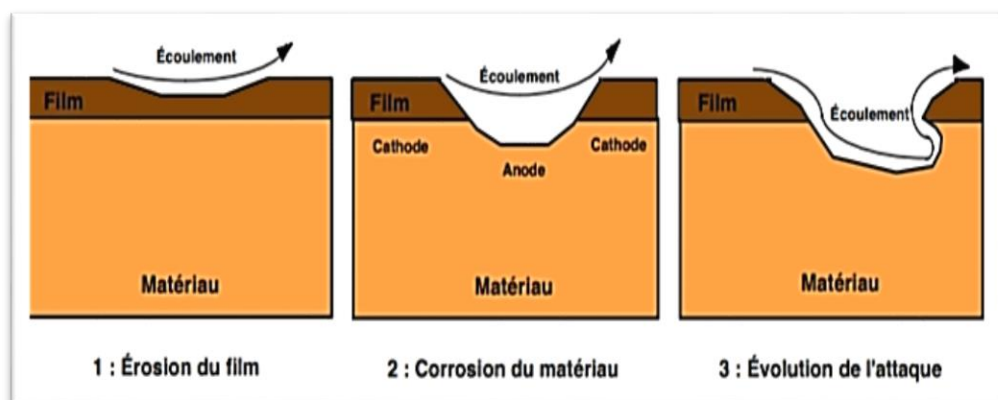


Figure I. 7 : Corrosion-érosion [26].

### I.5.2.6. Corrosion caverneuse

La corrosion caverneuse ou corrosion par crevasses est une forme de corrosion par aération différentielle (différence d'accessibilité de l'oxygène entre deux parties d'une structure) créant ainsi une pile électrochimique [27].

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.7) [28].

Le processus de développement de la corrosion par crevasse (caverneuse) n'est pas fondamentalement différent de celui de la corrosion par piqûres. Cependant, la cinétique et la morphologie de l'attaque sont toutes autres. Celle-ci s'étend sur la largeur à la surface de l'interstice ou sous le dépôt, et non pas en profondeur comme pour les piqûres. La corrosion par crevasses peut prendre un caractère dangereux, notamment dans l'eau de mer [29].



**Figure I.8:** Corrosion Caverneuse

### I.5.2.7. Corrosion sous contrainte

La corrosion sous contrainte est une fissuration du métal qui résulte de l'action conjointe d'une contrainte mécanique et d'une réaction électrochimique [30]. Comme son nom l'indique, la corrosion sous contrainte (CSC) résulte de l'action conjuguée d'une contrainte mécanique (résiduelle ou appliquée), et d'un milieu agressif vis-à-vis du

matériau, chacun de ces facteurs pris séparément n'étant pas susceptible à lui seul d'endommager la structure.

Ce type de corrosion, particulièrement sournois et dangereux pour les installations, se caractérise par les fissures inter ou Trans granulaires dont la direction générale de propagation est perpendiculaire à la plus grande contrainte [31].

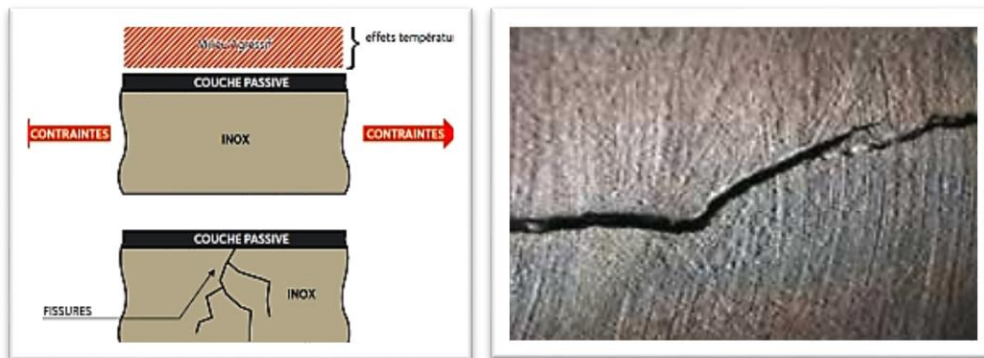


Figure I. 9 : Corrosion sous contrainte.

### I.6. Les factures de corrosion

Les phénomènes de la corrosion dépendent d'un grand nombre de facteurs et ils peuvent être classés en quatre groupes principaux (Tableau I.1) :

Tableau I. 1 : Les principaux facteurs de corrosion [32].

<i>Facteur de milieu Corrosif</i>	<i>Facteur Métallurgique</i>	<i>Facteur définissant les conditions d'emploi</i>	<i>Facteur dépendant du temps</i>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Concentration de réactif</li> <li>- Teneur en oxygène</li> <li>- Ph du milieu</li> <li>- Température</li> <li>- Pression</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Composition de l'alliage</li> <li>- Procède d'élaboration</li> <li>- Impureté</li> <li>- Traitement thermique</li> <li>- Traitement mécanique</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Etat de surface</li> <li>- Forme des pièces</li> <li>- Emploi d'inhibiteur</li> <li>- Procède d'assemblage</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vieillessement</li> <li>- Tension mécanique</li> <li>- Modification des revêtements protecteur</li> </ul>

## **I.7. Les paramètres influençant sur la vitesse de réaction**

### **I.7.1. Effet de la température**

L'élévation de la température favorise en générale la corrosion car elle diminue les domaines de stabilité des métaux et accélère la cinétique des réactions. L'importance de son influence diffère cependant en fonction du milieu corrosif dans lequel se trouve le matériau [33].

### **I.7.2. Effet de l'acidité**

La susceptibilité du matériau à la corrosion est fonction du pH de l'électrolyte. Une forte concentration en protons dans la solution augmente l'agressivité du milieu, ce qui modifié les équilibres des réactions chimiques et électrochimiques. La corrosion augmente avec la diminution du pH du milieu [34].

### **I.7.3. Régime hydrodynamique**

Le transport des réactifs vers l'interface et des produits de réaction vers l'électrolyte est de nature à modifier 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 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 en laboratoire [33].

### **I.7.4. La salinité**

Les chlorures sont des ions agressifs, souvent à l'origine de corrosions localisées, 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 a une influence sur la conductivité du milieu aqueux [33].

## I.8. La lutte contre la corrosion

Les phénomènes de corrosion impactent les activités industrielles à plusieurs niveaux, mettant en jeu la sécurité, mais également la longévité des matériaux et des installations.

Donc la protection contre la corrosion a pour but de garantir une certaine durée de vie à un matériau Pour un coût minimal. Les méthodes essentielles de protection de prévention contre la corrosion sont les suivantes [26] :

### I.8.1. Prévention par la forme adaptée des pièces

Il est possible de diminuer les risques de corrosion en donnant aux objets une forme adaptée aux conditions d'utilisation, et ainsi d'influencer notablement leur durée de vie, Nous avons quelques solutions types couramment employés pour limiter les risques en fonction du type de corrosion à redouter par exemple [26] :

#### ➤ Corrosion en zone humide

En présence d'humidité, la corrosion atmosphérique est la forme de corrosion la plus fréquente, La géométrie des composants employés devra donc viser dans ce cas à éviter les zones de rétention d'eau soit en prévoyant un bon drainage, soit en assurant, par leur géométrie, la vidange complète des récipients [26].

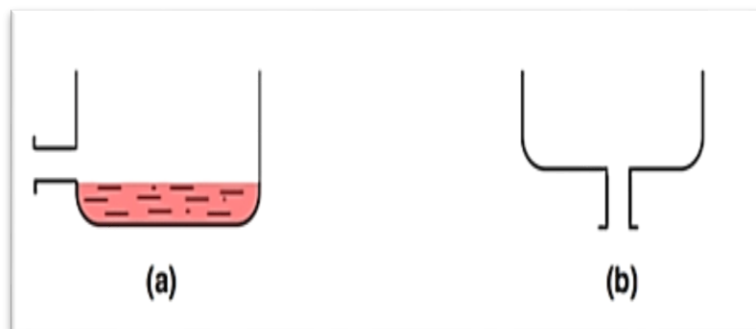


Figure I. 10 : prévention par la forme de récipient. (a) : mauvais. (b) : correct.

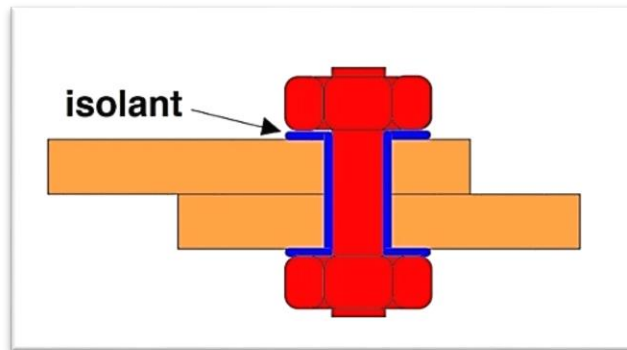
#### ➤ Remède au couplage galvanique

La contact électrique et électrolytique entre des matériaux différents peut donner lieu à la formation d'une pile galvanique pouvant entraîner une corrosion accélérée du métal

le moins noble. Lorsque des impératifs autres que la résistance à la corrosion empêchent l'utilisation de matériaux adaptés, on peut se prémunir contre ce risque par [26].

➤ **Utilisation des joints isolant**

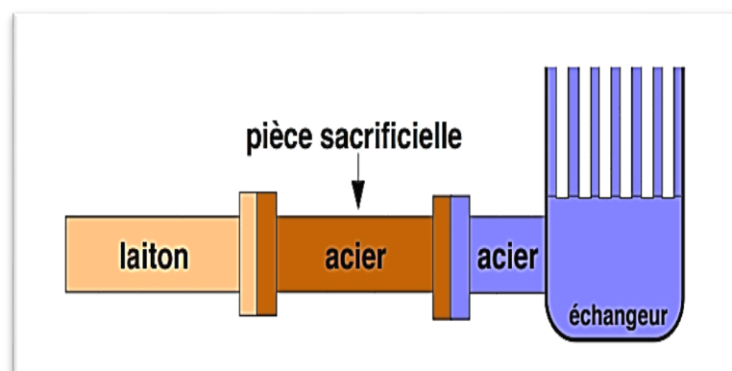
Utiliser des joints isolants pour supprimer le contact entre les métaux.



**Figure I. 11** : protection contre la corrosion galvanique (isolation électrique)

**I.8.2. Utilisation des pièces échangeable**

Dans ce procédé, il n'est pas question d'isolation électrique, mais on utilise une pièce échangeable que l'on sacrifie au profit de l'équipement qui devrait se corroder, en incluant dans le circuit une « pièce sacrificielle » aisément remplaçable ou en supprimant le contact entre les matériaux au moyen d'un isolant.



**Figure I. 12** : protection contre la corrosion galvanique (pièce sacrificielle)

### I.8.3 Protection cathodique

La protection cathodique est utilisée pour protéger les structures métalliques de la corrosion, notamment l'acier, les gazoducs, les oléoducs, les canalisations d'eau, les réservoirs, les piliers métalliques des jetées, les navires, les plateformes pétrolières ou encore les structures en béton armé [33].

Le principe de la protection cathodique (PC) est de porter le métal à un potentiel inférieur afin de réduire significativement la vitesse de la réaction anodique, donc la corrosion [36].

Elle est fait soit par anode sacrificielle soit par courant imposé :

#### I.8.3.1 Anode sacrificielle

La Protection cathodique par anode sacrificielle Consiste à placer la structure à protéger en contact électrique avec une masse métallique, moins noble que l'acier, et de créer ainsi un couplage galvanique favorable à la dissolution de celle-ci au profit de la structure à protéger [36].

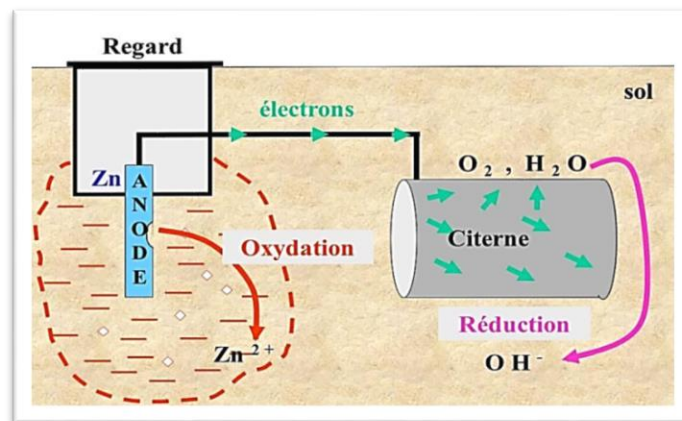


Figure I. 13 : protection cathodique par anode sacrificielle [37]

#### I.8.3.2. Courant imposé

La Protection cathodique par courant imposé utilise un générateur de courant (ou de tension) entre la structure à protéger et un déversoir. Le potentiel de la canalisation est

alors abaissé dans le domaine dit d'immunité. Ces techniques sont maintenant bien maîtrisées [36].

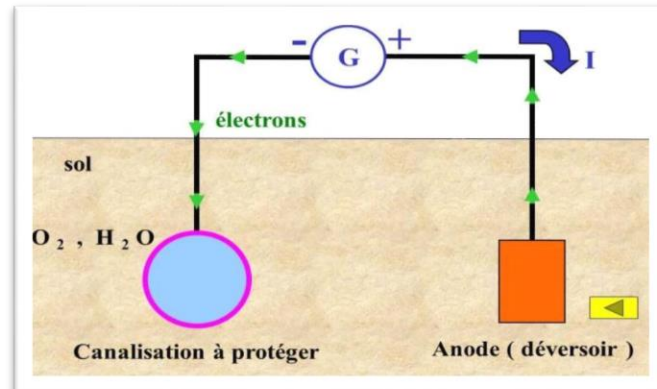


Figure I. 14 : protection cathodique par courant imposé [37].

#### I.8.4. Protection Anodique

La protection (ou passivation) anodique consiste à augmenter le potentiel d'un matériau métallique pour le porter à un niveau de passivité stable dans le milieu environnant. Cette technique délicate dans son principe même, n'est utilisée que dans certains milieux chimiques particuliers.

La technique de protection anodique peut être envisagée dans des milieux tels que les acides oxygénés (nitrique, sulfurique, ou phosphorique), les nitrates alcalins, pour des métaux tels que l'acier ordinaire ou inoxydable, le titane, le zirconium, l'hafnium, ou le niobium. Les alliages à base de cuivre ne sont pas passivés [26].

#### I.8.5. Protection par revêtements

Une méthode économique de prévention contre la corrosion consiste à appliquer une couche de revêtement.

On isole le métal du milieu corrosif à l'aide de revêtements, pour empêcher les réactions cathodiques et anodiques de se produire, la procédure se fait Soit par :

##### I.8.5.1. Revêtement métallique

Ce type de revêtement est utilisé pour protéger l'acier, notamment contre la corrosion atmosphérique. On peut aussi les appliquer sur d'autres substrats comme le cuivre ou le

laiton, comme c'est le cas par exemple pour les revêtements de chrome sur les robinets. D'une manière générale, on distinguera deux types de revêtements métalliques : [26]

➤ **Les revêtements cathodiques**

Le métal protecteur est plus noble que le métal à protéger.

➤ **Les revêtements anodiques**

Le métal protecteur est moins noble que le métal à protéger.

### **I.8.5.2. Revêtement organique**

Les revêtements organiques forment une barrière plus ou moins imperméable entre le substrat métallique et le milieu. Certaines peintures constituent en plus un réservoir d'inhibiteurs de corrosion. On classe les revêtements organiques pour la protection métaux contre la corrosion en trois familles : [2]

- Les revêtements en bitume
- Les revêtements polymériques
- Les peintures et vernis.

### **I.8.5.3. Revêtement inorganiques non métalliques**

Les revêtements inorganiques non métalliques sont de deux types : [35]

➤ **Les couches de conversion**

Dans ce type de revêtement, la couche est formée par une réaction du métal avec un milieu choisi. Cette couche contient toujours des ions provenant d'un substrat.

On différencie les couches de conversion selon leur procédé de fabrication, à savoir :

L'anodisation, la phosphatation, la sulfuration, la chromisation.

➤ **Les couches étrangères au substrat**

Parmi les revêtements inorganiques non métalliques étrangères au substrat, il y a : Ceux Plus nobles que le substrat, les émaux, les ciments, les céramiques réfractaires. Certain métal tel que le fer et les aciers inoxydables peuvent aussi être protégé.

### **I.8.6. Protection par l'inhibiteur de la corrosion**

Un inhibiteur de corrosion est une substance chimique que l'on ajoute en petite quantité pour diminuer la vitesse de corrosion du matériau métallique à protéger. Leur domaine d'utilisation recouvre les milieux acides, la vapeur, et les eaux de refroidissement [26].

La diminution de l'agressivité du milieu, par adjonction d'inhibiteurs, connaît une large application industrielle, spécialement dans l'industrie pétrolière. C'est la méthode la plus souple et la moins coûteuse [36].

### **I.9. Conclusion**

La corrosion est une science de la science technologique qui s'intéresse à l'étude du matériau et de son environnement extérieur, c'est l'un des problèmes économiques majeurs auxquels le développement est confronté, et c'est ce qui conduit à la destruction de grandes quantités d'installations et de métaux et donc de grands efforts sont faits dans le but de prévenir la corrosion, grâce à l'utilisation de plusieurs méthodes pour s'en protéger, bien que l'élimination de ce problème soit difficile, mais certains scientifiques ont atteint la possibilité de réduire ses risques et ses dommages, et ce en utilisant des inhibiteurs de corrosion où l'utilisation de les inhibiteurs se sont développés rapidement ces dernières années et dans divers domaines [38].

### **Référence bibliographique**

- [1] R. MEHIBIL. Etude de l'efficacité inhibitrice de quelques nouveaux inhibiteurs, dits non polluants, sur la corrosion de deux types d'alliages d'aluminium. Université de Skikda, 2008.
- [2] D. LANDOLT ; Corrosion et Chimie de Surface des Métaux ; Presses Polytechniques et Universitaires de Romandes ; Lausanne ; 1993.
- [3] D. TALBI ; Etude de l'inhibition de la corrosion de l'acier au carbone (XC38) par l'extrait aqueux de plantes sahariennes dans le milieu acide chlorhydrique 1M ; Thèse de doctorat ; Université de Tlemcen ; 2019
- [4] B. NORMAD, B. BALLAND, « Prévention et lutte contre la corrosion une approche scientifique et technique », Presses polytechniques, (2004).
- [5] A. BENCHEHAM., S. HAMROUNI., Etude de l'Effet Inhibiteur de corrosion des extraits aqueux de quelques plantes. Mémoire de Master. Université de Ouargla, Algérie, (2007).
- [6] SUEDE F., Extraction, caractérisation et étude électrochimique de molécules actives issues de la forêt amazonienne pour la protection du zinc contre la corrosion, Thèse de Doctorat, Université des Antilles et de la Guyane Institut d'Enseignement Supérieur de la Guyane, France, (2014).
- [7] S. BENSAADA. Effet des inhibiteurs de corrosion  $ZnCl_2$ ,  $Na_2MoO_4$  et  $ZnCl_2+Na_2MoO_4$  sur le comportement de l'acier pour armature a beton en milieu oxydant NaCl.
- [8] D. NADIR ; R. RABAH. Introduction à la corrosion et aux inhibiteurs de corrosion, 2004.

- [9] M. SERGHINI IDRISSE, « Étude du comportement électrochimique de l'acier C38 et l'acier inoxydable UR45N dans différents milieux », Thèse de Doctorat, Université Mohammed V Rabat, Maroc (2016).
- [10] S. KHERRAF, « Comportement électrochimique de l'acier A105 dans différents milieux. Influence de quelques inhibiteurs », Mémoire de magister, Université de Skikda (2008).
- [11] J. PHILIBERT, A. VIGNES, Y. BRÉCHET, P. COMBRADE, « MÉTALLURGIE. Du minerai au matériau », Dunod, 2e édition, Paris, 2002, p. 959.
- [12] Commission exploitation., Corrosion et inhibition des puits et collectes, chambre syndicale de la recherche et de la production du pétrole et du gaz naturel, Edition Technip, Paris, 1981.
- [13] KETCHAM, S.J., SHAFFER, I.S. (1972). Exfoliation Corrosion of Aluminum Alloys, ASTM, STP 516, pp.3-16.
- [14] J.J. LAMOUREUX, "Précis de corrosion", Edition « ns MASSON, (1994).
- [15] A. MAILLET, « interactions argilite de Tournemire / fer métal en contexte in situ : résultats à 10 ans de contact », Thèse de doctorat, L'université de Poitiers, (2012).
- [16] C. NARGEL, « CORROSION DE L'ALUMINIUM », DUNOD, Paris, 1999, p. 92.
- [17] M. SERGHINI IDRISSE, « Étude du comportement électrochimique de l'acier C38 et l'acier inoxydable UR45N dans différents milieux », Thèse de Doctorat, Université Mohammed V Rabat, Maroc (2016).
- [18] C. F. PEREZ BROKATE, « Étude de la compétition entre corrosion uniforme et localisée par automates cellulaires », thèse de doctorat, Université Pierre Et Marie Curie, paris-France (2016).
- [19] B. GROSGOGEAT, P. COLON, La Corrosion, Support de Cours (Version PDF), Société Francophone de Biomatériaux Dentaires, 2009-2010.

- [20] J. PHILIBERT, A. VIGNES, Y. BRECHET, P. « Combrade, Métallurgie du minerais au matériau », 2nd Ed, Paris, Dunod, 1 (2002) 1177.
- [21] M. KHALED, « L'inhibition De La corrosion Par Des Ions Dithiolylium Synthétisés », Mémoire de Magister, université d'Ouargla, 2009, pages 12-13.
- [22] Corrosion des métaux, ENSPM formation industrie - Formation IFP, France, 2005
- [23] J. LECONTE, " Tuyauterie : protection contre la corrosion", Technique de l'ingénieur,  
Traité Génie mécanique, A830, (1981).
- [24] N. BOUAMAMA, S. MADENE, « Élaboration d'un revêtement à base d'oxyde de cérium destiné à la protection de la corrosion de l'acier en milieu marin », Mémoire de fin d'études, Université A. MIRA-BEJAIA, (2015).
- [25] A. MANSRI, « Composites à base de copolymères et de bentonite pour la coagulation/floculation, rétention des polluants et pour l'inhibition de la corrosion », thèse de doctorat, Université de Mohamed Boudiaf, Oran (2016).
- [26] A.COL, M. COLOMBIÉ, matériaux métalliques, « Phénomènes de Corrosion ». Dunod, 2010.
- [27] A. MANSRI, « Composites à base de copolymères et de bentonite pour la coagulation/floculation, rétention des polluants et pour l'inhibition de la corrosion », thèse de doctorat, Université de Mohamed Boudiaf, Oran (2016).
- [28] E. NOUICER, « Comportement électrochimique et propriétés mécaniques de l'alliage de Titane Ti6Al14V. Effet des traitements de surface », Thèse de Doctorat, Université Constantine, 2009.
- [29] KETCHAM, S.J., SHAFFER, I.S. (1972). Exfoliation Corrosion of Aluminum Alloys, ASTM, STP 516, pp.3-16.
- [30] M. SERGHINI IDRISSE, « Étude du comportement électrochimique de l'acier C38 et l'acier inoxydable UR45N dans différents milieux », Thèse de Doctorat, Université Mohammed V Rabat, Maroc (2016).

[31] AGGOUNE FATEH., évaluation de l'endommagement Des tubes dans leurs conditions d'exploitation, Magister.

[32] L. DONG, L. YUANHUA, D. YIGANG, Z. DEZHI, (2011), Anti-corrosion Methods and Materials, 58,205p.

[33] S. PAYAN, thèse doctorat, « comportement à la corrosion galvanique de matériaux composites à matrice d'alliage d'aluminium renforcée par des fibres de carbone haut module », université de bordeaux (2001).

[34] KANE R D., Srinivasan S., Experience survey on corrosion monitoring and mitigation Techniques for sweet well production. CLI International, INC, HOUSTON, TX, <http://www.corrosionsource.com/InterCorr/96>, (1996).

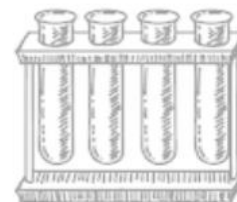
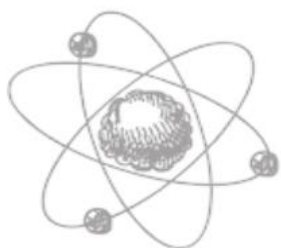
[35] H. NGUYEN TH le, « élaboration de film de poly pyrole par électro polymérisation sur un substrat fer et caractérisation de leurs propriétés de protection contre la corrosion », thèse de doctorat, université paris 6, France, (2002).

[36] A. KOUACHE : « Ammonium quaternaire du plat format synthèse et application à L'inhibition de la corrosion acide d'acier. Mémoire magistère, université Saad Dahlab de Blida, 2011

[37] <https://slideplayer.fr/amp/1843622/>

[38] G. DAUFIN, J. TALBOT ; Hal ; Etude de quelques problèmes de corrosion dans l'industrie laitière ; 1ère partie Généralités sur la corrosion des métaux et alliages ; Le lait ; Inra édition ; 1971 ; p 375-398.

## Chapitre II : Généralités sur les inhibiteurs de corrosion



## II.1. Introduction

La diminution de l'agressivité du milieu, par adjonction d'inhibiteurs, connaît, une large application industrielle, spécialement dans l'industrie de décapage et de détartrage, les puits de pétrole et les circuits fermés. C'est un procédé facile à réaliser et souvent acceptable sur le plan du prix de revient. Les inhibiteurs de corrosion constituent un moyen de lutte original contre la corrosion des métaux. L'originalité vient du fait que le traitement anticorrosion ne se fait pas sur le métal lui-même mais par l'intermédiaire du milieu corrosif.

## II.2. Définition d'inhibiteur

La définition d'un inhibiteur de corrosion par le Nationale Association of corrosion Engineers (NACE) est la suivante : << un inhibiteur de corrosion est « une substance chimique qui, ajoutée à faible concentration au milieu corrosif, ralentit ou stoppe le processus de corrosion d'un métal placé au contact de ce milieu >> [1].

Les inhibiteurs de corrosion constituent un moyen de lutte original contre la corrosion des métaux et des alliages. Selon la norme ISO 8044, << 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.

Un inhibiteur de corrosion est donc un produit chimique (molécule organique ou inorganique) qui est ajouté en faible quantité au milieu corrosif (en général milieu liquide, plus rarement milieu gazeux), et qui vient protéger le métal contre la corrosion en recouvrant celui – ci d'une barrière isolante (locale complète) vis – à – vis du milieu agressif [2].

## II.3. Les propriétés d'inhibiteurs

Un inhibiteur de corrosion doit avoir certaines propriétés fondamentales :

- abaisser la vitesse de corrosion du métal tout en conservant les caractéristiques physico-chimiques de ce dernier,

- être stable en présence d'autres constituants,
- être stable dans le domaine de températures utilisé,
- être efficace à faible concentration,
- être efficace dans les conditions d'utilisation,
- peu onéreux par rapport aux économies qu'il permet de réaliser,
- être compatible avec les normes en vigueur de non-toxicité et de protection de l'environnement. Il faut noter que la non-toxicité est le point faible des molécules inhibitrices actuellement utilisées. En effet, un certain nombre d'entre elles sont sur le point d'être interdites et c'est pour cela que les recherches tendent à proposer des molécules moins dangereuses pour l'environnement [3].

#### II.4. Conditions d'utilisation

Un inhibiteur (ou un mélange d'inhibiteurs) peut être utilisé comme unique moyen de protection soit comme :

-Protection permanente : l'inhibiteur permet alors l'utilisation de matériaux métalliques (ferreux non alliés, par exemple) dans des conditions satisfaisantes de résistance à la corrosion ; une surveillance de l'installation s'impose ;

-Protection temporaire pendant une période où la pièce ou l'installation est particulièrement sensible à la corrosion (stockage, découpage, nettoyage). Dans ce cas, le contrôle du système est à priori plus simple, la prévision du comportement de l'inhibiteur dans le temps étant plus facile à réaliser.

Un inhibiteur (ou un mélange d'inhibiteurs) peut être combiné à un autre moyen de protection : protection supplémentaire d'un alliage à haute résistance à la corrosion, Addition à un revêtement de surface tel que la peinture, la graisse, l'huile, etc... [4].

## II.5. Utilisation industrielle courantes

Les inhibiteurs ont plusieurs domaines traditionnels d'application :

Le traitement des eaux (eaux sanitaires, eaux de procédés industriels, eaux de chaudières, Etc.) ;

-L'industrie du pétrole : forage, extraction, raffinage, stockage et transport. A tous les stades de cette industrie, l'utilisation d'inhibiteurs de corrosion est primordiale pour la sauvegarde des installations [4].

## II.6. Class de l'inhibiteur

Il existe plusieurs possibilités de classer les inhibiteurs, celles-ci se distinguant les unes des autres de diverses manières :

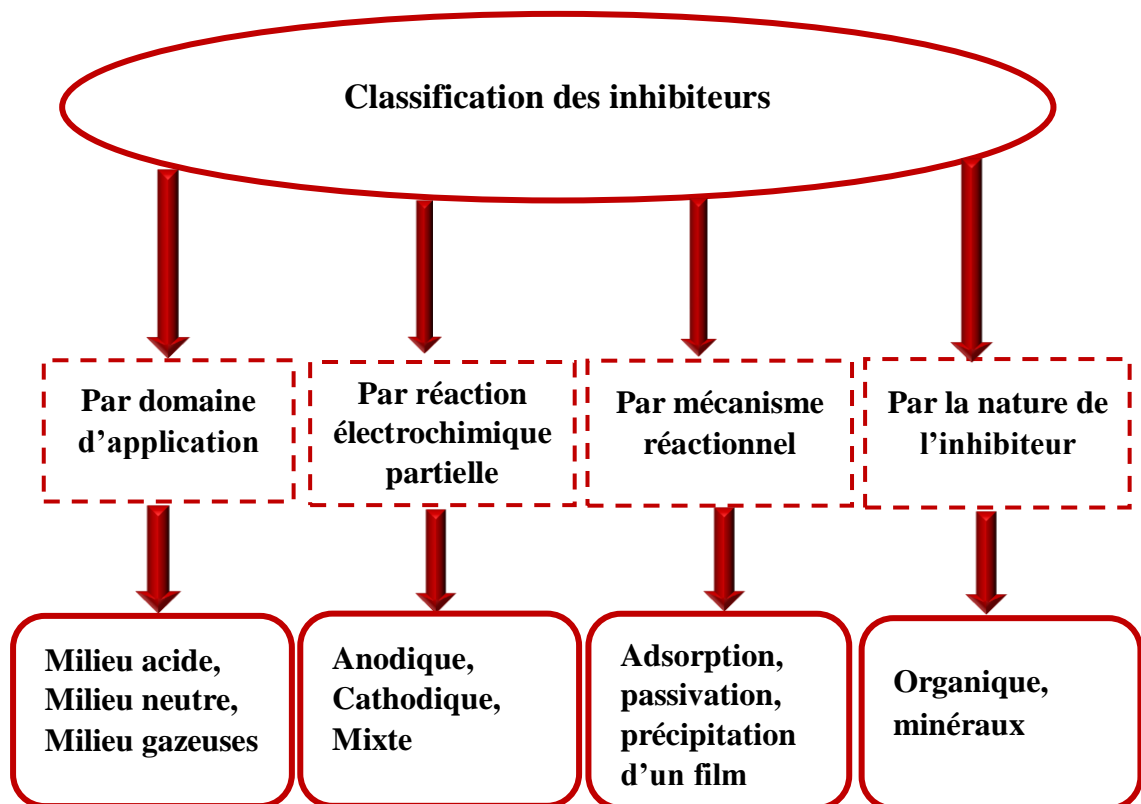


Figure II.1 : Classification des inhibiteurs de corrosion.

## II.6.1. Classement selon la nature de l'inhibiteur

### II.6.1.1. Les inhibiteurs minéraux

Les inhibiteurs inorganiques ou minéraux qui peuvent être des anions ou des cations, ils 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 inhibiteurs anioniques, nous trouvons les chromates, Les phosphates, les molybdates, les nitrates, les nitrites, les silicates, etc... et parmi, les inhibiteurs cationiques nous trouvons essentiellement les ions  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Zn}^{2+}$  [3].

Malheureusement, ils présentent des caractéristiques de toxicité élevée et ne devrait plus être utilisé, sauf précautions extrêmes [5].

### II.6.1.2. Les inhibiteurs organiques

Les inhibiteurs organiques qui offrent un large domaine d'applications, et pour des raisons écologiques, ils sont maintenant les plus utilisés, leur utilisation est actuellement préférée, en dépit des inhibiteurs inorganiques pour des raisons d'écotoxicité [6]. Ils agissent par un processus d'adsorption de surface, désigné comme un film protecteur, constitué d'une ou plusieurs chaînes hydrocarbonées et une partie polaire, hydrophile, constituée d'un ou plusieurs groupes fonctionnels : amine ( $-\text{NH}_2$ ), hydroxyle ( $-\text{OH}$ ), mercaptan ( $-\text{SH}$ ), phosphorâtes ( $-\text{PO}_3\text{H}_2$ ), sulfonâtes ( $-\text{SO}_3\text{H}$ ), carboxyle ( $-\text{COOH}$ ) et leurs dérivés (les groupes fonctionnels usuels, permettant de se fixer sur la surface du métal [7].

L'une des limitations dans l'utilisation de ces produits peut être l'élévation de la température, les molécules organiques étant souvent instables à haute température [5].

## II.6.2. Classement selon mécanisme d'action

Il n'existe pas un mode d'action unique pour les inhibiteurs de corrosion. Un même composé, peut avoir différents mécanismes d'action. Ces derniers sont imposés par le milieu corrosif et la nature du métal à protéger.

La corrosion étant un processus essentiellement électrochimique, l'action de l'inhibiteur ne peut se faire qu'au niveau d'une des étapes des réactions élémentaires (transport d'espèces en solution, formation d'intermédiaires superficiels, adsorption des espèces à la surface des phases solides et transfert de charges électroniques) [5], et nous pouvons distinguer :

### II.6.2.1. Le mécanisme d'action interfaciale

Dans la classification relative au mécanisme d'action électrochimique on peut distinguer :

- **Les inhibiteurs agissant par adsorption :**

L'adsorption est un phénomène de surface universel car toute surface est constituée d'atomes n'ayant pas toutes leurs liaisons chimiques satisfaites. Cette surface a donc tendance à combler ce manque en captant atomes et molécules se trouvant à proximité [5].

Les inhibiteurs agissant par adsorption, ils correspondent en général aux inhibiteurs organiques. Ils empêchent l'action du milieu agressif en se fixant sur la surface du métal. Leur fixation se fait principalement par leurs fonctions actives, soient les parties polaires (-COOH, -PO<sub>3</sub>H<sub>2</sub>, -SO<sub>3</sub>H) ou/et les doublets non liants des atomes (O, N, S...). Ces différents centres actifs sont susceptibles d'échanger des électrons avec le métal et former des complexes. Au sein de cette classe d'inhibiteurs, ceux, qui agissent par adsorption chimique, s'avèrent Souvent plus efficaces que ceux agissant par adsorption physique.

Généralement, en présence d'une chimisorption, la molécule inhibitrice agit comme donneur d'électrons alors que le métal agit comme accepteur d'électrons, ce qui favorise une adsorption et/ou formation d'un film protecteur [6].

- **Les inhibiteurs agissant par passivation :**

Les inhibiteurs agissant par passivation sont en général les inhibiteurs minéraux oxydants. Ils provoquent la passivation spontanée du métal, soit en renforçant la couche d'oxyde/hydroxyde formée naturellement à la surface du métal, ou en augmentant 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 [6].

- **Les inhibiteurs agissant par précipitation**

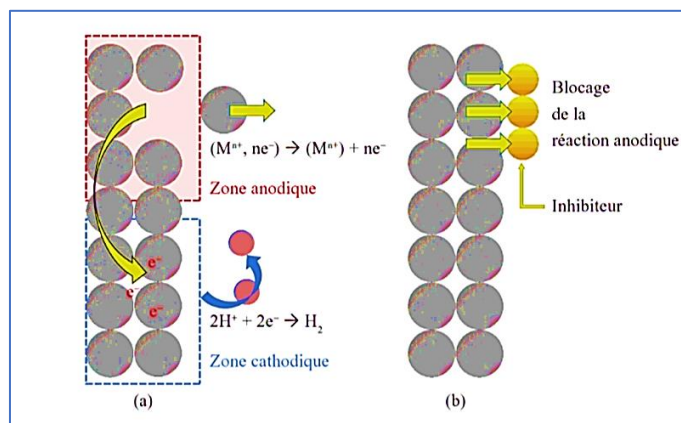
Les inhibiteurs par précipitation ou conversion chimique agissent par formation d'un film superficiel constitué de sels ou de complexes métalliques insolubles à la surface du métal. Généralement les sels comme, les silicates, les phosphates, les poly phosphates précipitent facilement sous forme de couche au contact de cations métalliques. D'autres inhibiteurs de type cations métalliques comme l'ion  $\text{Ca}^{2+}$  ou  $\text{Zn}^{2+}$  précipitent en surface du métal grâce à une augmentation de pH local provoqué par la réduction de l'oxygène dissous [8].

### II.6.2.2 Mécanisme d'action électrochimique

Dans la classification relative au mécanisme d'action électrochimique on peut distinguer :

- **Les inhibiteurs anodiques**

Les inhibiteurs anodiques qui agissent sur les sites anodiques en ralentissant la vitesse de la réaction d'oxydation du métal, diminuent la densité de courant de dissolution du métal et augmentent le potentiel de corrosion, et ce par formation de film protecteur à base des produits de corrosion insolubles [8].

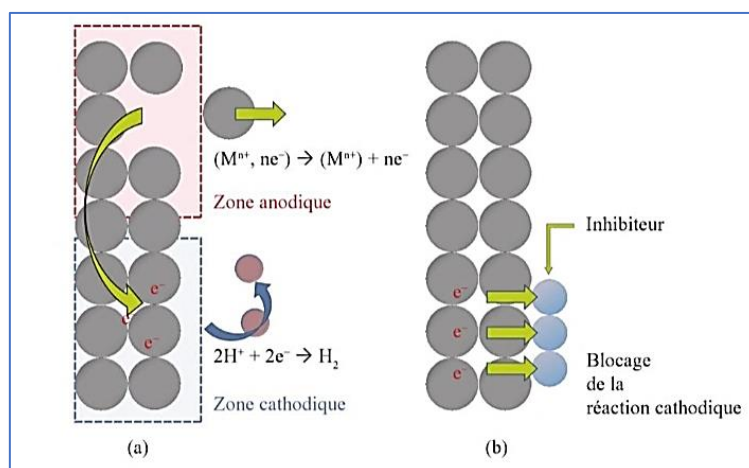


**Figure II.2 :** Représentation en milieu acide du rôle d'un inhibiteur anodique :  
 ( a ) sans inhibiteur , ( b ) avec inhibiteur [2].

- **Les inhibiteurs cathodiques**

Les inhibiteurs cathodiques qui ralentissent les réactions de réduction de l'oxygène ou du proton  $H^+$  de l'eau en diminuant la diffusion ou la concentration de ces espèces [9].

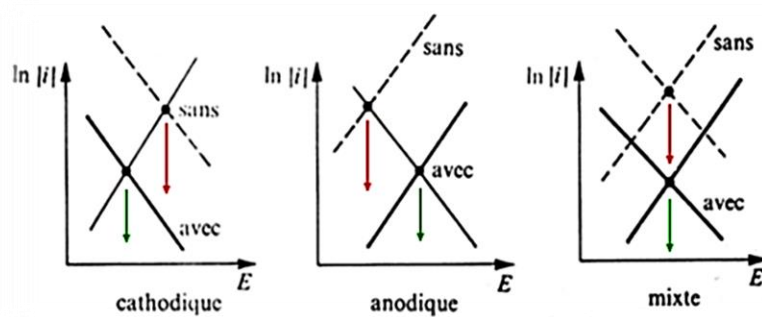
Les inhibiteurs cathodiques incluent des combinaisons de zinc, de nickel, de magnésium, des phosphates alcalins, des combinaisons d'arsenic...



**Figure II.3 :** Représentation du rôle d'un inhibiteur cathodique  
 (a) sans inhibiteur, (b) avec inhibiteur [2].

- **Les inhibiteurs mixtes**

Les inhibiteurs mixtes qui diminuent simultanément la vitesse des deux réactions anodique et cathodique [9]. Il est un mélange entre un inhibiteur cathodique et un inhibiteur anodique, tels que les polyphosphates + chromate.



**Figure II.4 :** Diagrammes d'Evans montrant le déplacement du potentiel de corrosion dû à la Présence d'un inhibiteur de corrosion [9].

### II.6.3. Domaine d'application

Les inhibiteurs de corrosion sont souvent classés selon leur domaine d'application. En milieu aqueux, les inhibiteurs pour milieu acide sont employés, entre autres, pour éviter une attaque électrochimique de l'acier lors du décapage. Dans l'industrie pétrolière, on les ajoute aux fluides de forage. Les inhibiteurs pour milieux neutres servent surtout à protéger des circuits de refroidissement et les peintures base aqueuse.

En milieu organique, de grandes quantités d'inhibiteurs de corrosion sont utilisées dans les lubrifiants pour moteurs et dans l'essence puisque ces liquides contiennent souvent des traces d'eau et des espèces ioniques qui peuvent provoquer une corrosion.

Enfin, les inhibiteurs pour les phases gazeuses sont généralement employés pour une protection temporaire de différents objets emballés pendant le transport et le stockage : instrument de précision, composants électroniques, machines, etc. Il s'agit le plus souvent de composés organiques ayant une pression de vapeur élevée, notamment certaines amines.

Le milieu étudié dans le présent travail est un milieu acide [9].

## II.7. Comportement des inhibiteurs dans des milieux acides :

Dans les milieux acides, les inhibiteurs les plus fréquemment utilisés sont des molécules de type organique. Ces inhibiteurs agissent d'abord par adsorption à la surface de métaux, avant même d'intervenir dans les processus réactionnels de corrosion pour en diminuer la vitesse.

L'adsorption des composés organiques peut être décrite par deux principaux types d'interaction à savoir l'adsorption physique et la chimisorption. Ces deux types d'adsorption sont influencés par la nature et la charge du métal, la structure chimique du produit organique et le type d'électrolyte [10].

### II.7.1. Adsorption physique (physisorption)

L'adsorption physique ou physisorption met enjeu des liaisons faibles, du type de forces de Van der Waals (forces électrostatiques) qui se créent entre les ions ou les dipôles des molécules de l'inhibiteur et la surface du métal électriquement chargée.

En termes d'interaction électrostatique, une molécule organique peut avoir le même comportement d'adsorption avec deux métaux de nature différente, lorsque le potentiel de Ceux-ci a le même écart par rapport aux potentiels de charge nulle respectifs. Comportement a été vérifié par Antropov [11] pour l'adsorption sur le fer et le mercure des composés chargés.

L'adsorption des cations d'inhibiteurs peut se faire d'une manière coopérative ou concurrentielle avec les ions halogénures [12]. Dans le cas de l'adsorption coopérative, les ions organiques sont adsorbés sur la surface du métal recouverte par un film d'ions halogènes déjà adsorbés. Dans l'autre cas, le composé organique déplace les molécules d'eau adsorbées et les remplacent avec les ions halogènes. En outre, la physisorption est un processus relativement rapide, indépendante de la température et caractérisé par une faible énergie d'adsorption.

### II.7.2. Adsorption chimique (chimisorption)

La chimisorption est le plus important type d'interaction entre un inhibiteur et un métal. Le processus d'adsorption chimique met en jeu un transfert ou un partage d'électrons entre les molécules d'inhibiteur et les orbitales « d » vacantes de la surface du métal. Ceci permet de former des liaisons de coordination ou des liaisons covalentes. La chimisorption est un phénomène irréversible et spécifique pour chaque métal. C'est un processus lent, dépendant de la température et caractérisé par une grande énergie d'activation.

La liaison covalente s'effectue par l'intermédiaire d'un centre actif de la molécule inhibitrice. Par son doublet électronique libre, ce centre actif de la molécule se comporte comme un donneur d'électrons vis-à-vis d'un atome métallique de la surface. Le paramètre important est alors la densité électronique autour du centre qui peut contribuer à renforcer l'effet donneur d'électrons de ce centre actif, donc renforcer la liaison de covalence entre atome donneur et atome métallique. Les principaux centres actifs sont les atomes N, S, P, O [7].

### II.7.3. La liaison $\pi$

La liaison  $\pi$  est générée en présence de composés organiques insaturés, à double ou triple liaison, porteurs d'électrons capables de créer des liaisons avec des atomes métalliques.

Une fois réalisée, elle ne sera pas différente de la liaison covalente [7].

### II.7.4. La liaison hydrogène

La liaison hydrogène contribue à l'adsorption d'une molécule d'inhibiteur sur une surface métallique recouverte d'une couche d'oxyde. Lorsqu'elle n'est pas trop forte, la liaison hydrogène est considérée comme une liaison électrostatique [7].

## II.8. Structure moléculaire des inhibiteurs

Parmi les inhibiteurs pour solutions acides, on trouve un grand nombre de substances organiques différentes, notamment des molécules aromatiques et des macromolécules à

chaînes linéaires ou branchées [13-14]. Ils s'adsorbent sur les sites actifs de la surface métallique, sans altérer le mécanisme des réactions électrochimiques partielles. Ils bloquent les sites et réduisent la vitesse de la corrosion cathodique, anodique ou mixte en relation avec le pourcentage des sites actifs recouverts par l'inhibiteur. Leur efficacité dépend, entre autre, De leur structure moléculaire et de leur concentration.

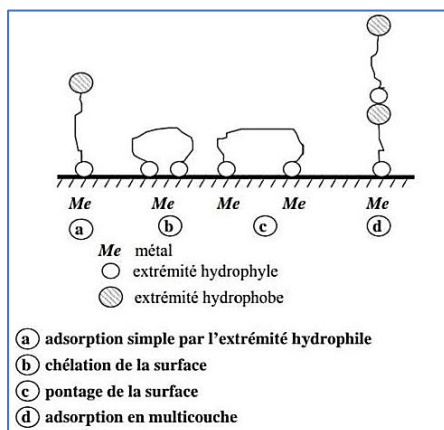
Les molécules organiques utilisées comme inhibiteurs, contiennent une partie non polaire, hydrophobe et relativement volumineuse, constituée principalement d'atomes de carbone et d'hydrogène, et une partie polaire, hydrophile, constituée d'un ou plusieurs groupes fonctionnels, tels que  $-NH_2$  (amine),  $-SH$  (mercapto),  $-OH$  (hydroxyle),  $-PO_3^{2-}$  (phosphate)...

La molécule se lie à la surface par son groupe fonctionnel, alors que sa partie non polaire, plus volumineuse, bloque partiellement la surface active (Figure II.5).

Notons que les chélates peuvent être formés à la surface du métal lorsque le composé organique contient plus d'un groupement fonctionnel, pouvant chacun former des liaisons avec les atomes du métal (chélation ou pontage : cf. Figure II.5) [15].

Parmi les autres paramètres structuraux pouvant influencer l'efficacité des inhibiteurs, On peut citer :

- L'aire moléculaire de l'inhibiteur projetée sur la surface métallique. Cette projection dépend des différentes possibilités d'arrangement des ions organiques ou des molécules à l'interface métal / solution [16],
- L'influence exercée par le poids moléculaire [17],
- L'importance de la configuration moléculaire [18],
- L'influence des différents descripteurs de la molécule, à savoir l'énergie HOMO, l'énergie LUMO et le moment dipolaire  $\mu$  déterminés par la mécanique quantique.



**Figure II.5 :** Représentation schématique des modes d'adsorption de molécules organiques inhibitrices sur une surface métallique [4].

## II.9. Les inhibiteurs de corrosion verts

L'utilisation d'inhibiteurs pour le contrôle de la corrosion des métaux et alliages qui sont en contact avec l'environnement agressif est une pratique acceptée. Un grand nombre de composés organiques ont été étudiés et sont étudiés pour investiguer leur potentialité d'inhibition de corrosion. Toutes ces études révèlent que les composés organiques, en particulier ceux qui contiennent N, S et O, ont montré une efficacité d'inhibition significative. Mais, Malheureusement, la plupart de ces composés sont non seulement coûteux mais aussi toxique pour les êtres vivants [1].

Ces dernières années il y a une croissance de conscience pour utiliser des formulations peu toxiques et écologiquement amicales, à travers les principes de « la chimie verte ». Cette dernière, ou la prévention contre la pollution au niveau moléculaire, est la chimie conçue pour réduire ou éliminer la production de matière dangereuse associée à la fabrication et l'application des produits chimiques. En conséquence des réglementations environnementales strictes ont été introduites dans beaucoup de parties du monde.

C'est pour cela des efforts ont été dirigés vers le développement d'inhibiteurs de corrosion rentables et non toxiques, à travers les principes de « la chimie verte » [19].

A ce jour, un grand nombre d'articles ont traité des extraits naturels de différentes parties de plantes (tiges, feuilles et graines), comme inhibiteurs de corrosion, des métaux et leurs alliages, dans différents milieux corrosifs.

Les extraits de plantes sont devenus importants et acceptables pour l'environnement, source facilement accessible et renouvelable pour une vaste gamme d'inhibiteurs. Elles ont les sources d'ingrédients riches qui ont une efficacité d'inhibition très élevée [1].

## II.10. Efficacité des inhibiteurs de corrosion

Un inhibiteur de corrosion est une substance chimique qui, lorsqu'elle est ajoutée en petite concentration à un environnement, diminue efficacement le taux de corrosion.

L'efficacité de cet inhibiteur est ainsi exprimée par une mesure de cette amélioration. En général, l'efficacité d'un inhibiteur augmente avec une augmentation de concentration d'inhibiteur, par exemple un inhibiteur typiquement bon donnerait 95 % d'inhibition à une concentration de 0.008 % et à une concentration de 0.04 %.

Au fil des années, des méthodes sophistiquées d'essai d'inhibiteurs de corrosion, typiquement conçues pour reproduire les conditions les plus extrêmes d'un système, ont été utilisées pour améliorer les capacités d'inhibiteur.

Des inhibiteurs de corrosion nouveaux et de meilleure qualité ont été développés en raison de leurs performances dans des appareils de laboratoire élaborés, mais beaucoup n'ont pas obtenu des performances comparables sur le terrain.

L'incapacité de transférer la performance de l'inhibiteur du laboratoire au champ reste un défi aujourd'hui. Cependant, la corrélation des performances en laboratoire et sur le terrain peut être possible une fois que les facteurs clés impliqués dans la chimie des inhibiteurs et la théorie de la corrosion sont pris en compte.

$$E(\%) = 100 \times \left( \frac{V_{corr} - V_{corr,inh}}{V_{corr}} \right)$$

Où  $V_{corr}$  et  $V_{corr,inh}$  sont les vitesses de corrosion sans et avec l'inhibiteur respectivement, et  $E$  (%) est l'efficacité d'inhibition [20].

## II.11. Méthodes d'évaluation de l'action des inhibiteurs sur la corrosion

Pour évaluation l'action des inhibiteurs dans la lutte contre la corrosion des métaux nous avons plusieurs méthodes.

Ces méthodes peuvent être électrochimiques ou non électrochimiques, à savoir :

- ❖ La méthode de la perte de poids,
- ❖ Mesure du potentiel de corrosion,
- ❖ Tracé des courbes stationnaires intensité-potentiel,
- ❖ Mesure de la résistance de polarisation par le tracé de la courbe  $I = f(E)$  au voisinage du potentiel de corrosion,
- ❖ La spectroscopie d'impédance électrochimique,
- ❖ Dosage du métal dissous par absorption atomique [4].

## II.12. Conclusion

Les inhibiteurs de corrosion constituent un moyen à part entière de protection contre la corrosion métallique. Ils 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.

Les nombreuses études consacrées, depuis plus d'une cinquantaine d'années, à ces composés, ont abouti à proposer des produits ou des mélanges de produits précis correspondant à des systèmes de corrosion (couples métal/milieu corrosif) donnés. cependant la plupart de ces composés sont des substances chimiques synthétiques qui peuvent être très coûteux et dangereux pour les êtres humains et l'environnement.

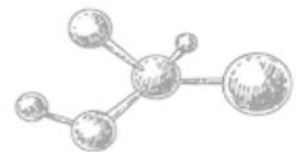
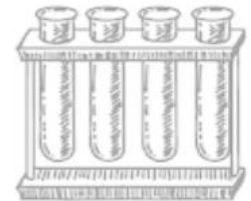
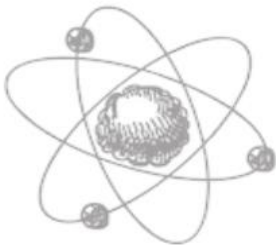
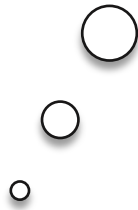
Les extraits de substances naturelles, riches sources de composés organiques naturelles, se sont montrés efficaces comme inhibiteurs de corrosion pour de nombreux métaux et alliages Ils représentent donc un moyen de remplacement possible des inhibiteurs organiques actuellement utilisés. L'objet de ce travail porte sur l'utilisation de l'extrait des noyaux d'olive comme inhibiteur efficace contre la corrosion de l'acier au carbone C 1022.

*Référence bibliographique*

- [1] C. FLORINA (2011), « étude de l'efficacité d'inhibiteurs de corrosion utilisés dans les liquides de refroidissement », Thèse de doctorat en cotutelle Franco-Roumaine, Université de Pitesti-Roumanie.
- [2] S. AUDISIO, AND G. BERANGER, Anticorrosion et durabilité dans le bâtiment, le Génie civil et les ouvrages industriels : Presses polytechniques et universitaires Romandes, 2010.
- [3] H. NAHALI ; Evaluation de l'efficacité inhibitrice de  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  contre la corrosion des armatures du béton Apport de l'émission acoustique dans la caractérisation et le contrôle de l'anticorrosion, thèse de doctorat, université de lyon,2011.
- [4] C. FIAUD, Inhibiteurs de corrosion, Techniques de l'Ingénieur, COR 1005.
- [5] F. MILCARS. « Etude de l'effet des alcaloïdes sur la corrosion de l'acier C38 en milieu acide Chlorhydrique 1M : Application à *Aspidosperma album* et *Geissospermum laeve* (Apocynacées) ». Université des Antilles et de la Guyane. Institut de l'Enseignement Supérieur De la Guyane, 2013.
- [6] D. TALBI ; Etude de l'inhibition de la corrosion de l'acier au carbone (XC38) par l'extrait aqueux de plantes sahariennes dans le milieu acide chlorhydrique 1M ; Thèse de doctorat ; Université de Tlemcen ;2019
- [7] MAGALY HENRIQUEZ GONZALEZ ; thèse de doctorat : Etude d'un traitement multifonctionnel vert pour la protection contre la corrosion de l'acier au carbone API 5L-X65 en milieu  $\text{CO}_2$  » l'Institut National Polytechnique de Toulouse 2011.
- [8] A. AIT AGHZZAF, « argiles en tant que réservoirs d'inhibiteurs de corrosion métallique issus de ressources naturelles dans des peintures pour la protection des métaux », thèse de doctorat, université de lorraine, 2014.
- [9] D. LANDOLT. Corrosion et chimie de surfaces des métaux. Presses polytechniques et universitaires romandes, lausanne 12, 1997.

- [10] J. G. N. THOMAS, 5th European Symposium on Corrosion Inhibitors, Ann. Univ. Ferrara, Italy, 453 (1980).
- [11] L. I. ANTROPOV, "A correlation between kinetics of corrosion and the mechanism of Inhibition by organic compounds", Corros. Sci. 7 (1967)607-620
- [12] R. DRIVER, R. J. MEAKINS, "Tafel Slopes and Chemical Structure of Inhibitors of the Acid Corrosion of Steel", J. Brit. Corros.Sci. 9 (1974) 233-243
- [13] B. SATHIANANDHAN, k. ralahrishnan et n. subramyan, br. Corros. J., 5, 270 (1970)
- [14] C. ONEAL ET R.N. BORGER, Mater. Perform., 15, 9 (1976).
- [15] D. C. ZOCHER, Mater. Perform., 15, 33 (1976).
- [16] R. R. ANNAND, R.M. Hurd et N. Hacherman, J. Electrochem. Soc., 112, 138 (1965).
- [17] G. TRABANELLI, F. ZUCCHI, G. Gullini et V. Carassiti, Werkstoffe und Korrosion, 20, 407 (1968).
- [18] F. Zucchi, G. Trabanelli et G. Gullini, Eletrochimica Metallorm, 3, 407 (1968).
- [19] O. KHAMIS, Alhanash . Herbs as new type of green inhibitors for acidic corrosion of Steel. Materialwissenschaft und Werkstofftechnik : Entwicklung, Fertigung, Prüfung
- [20] C. CHINOUREI ; propriétés inhibitrices de l'huile de cade sur la corrosion de l'aluminium ; mémoire de master ; université badji mokhtar-annaba.

# Chapitre III : Méthode et procédure expérimentales



### III.1. Introduction

Les matériaux métalliques, et plus particulièrement les aciers au carbone, qui sont des alliages à base de fer, constituent les matériaux hautement recommandés pour plusieurs activités industrielles, sont malheureusement le siège de la corrosion lorsqu'ils sont exposés aux milieux naturels agressifs. C'est en raison de leur faible coût, de leur force mécanique élevée et de leur disponibilité que les aciers sont privilégiés dans l'industrie. Toutefois, ils sont particulièrement vulnérables aux environnements variables (milieu aqueux, atmosphère, hautes températures, etc.), puisqu'ils offrent une faible résistance à la corrosion. Ainsi, L'étude de l'inhibition de la corrosion de ces matériaux, s'est avéré un domaine de recherche très attractif en raison de la large utilisation des solutions acides dans l'industrie, notamment dans les bains de décapage des métaux, dans les forages pétroliers et pour le nettoyage des équipements industriels.

La grande partie des inhibiteurs utilisés en milieu acide sont des composés organiques contenant des hétéroatomes tels que l'azote, le soufre, le phosphore et L'oxygène [1]. Les données existantes révèlent que la plupart de ces composés agissent par adsorption à la surface du métal et que ce mode d'action dépend essentiellement de la nature et la charge superficielle du métal, du type de l'électrolyte agressif et de la structure chimique des inhibiteurs.

Notre travail consiste, à étudier l'effet d'inhibition de corrosion des noyaux d'olive, le substrat étant un acier doux et les milieux agressifs l'acide sulfurique, l'acide chlorhydrique et *NaCl*.

Nous nous proposons également d'étudier l'effet des noyaux d'olive sur L'efficacité inhibitrice.

Lorsque les phénomènes de corrosion sont plus complexes où nécessite L'utilisation d'un très grand nombre de méthodes expérimentales pour estimer le taux de corrosion et estimer l'action de l'inhibiteur utilisé [2].

Ce présent chapitre a pour but de présenter et décrire les différents dispositifs, les matériaux, les méthodes et les techniques expérimentales utilisées dans cette étude (la technique de la masse perdue).

## III.2. Etude bibliographique sur la plante

### III.2.1. Introduction

L'utilisation d'inhibiteurs verts est l'une des meilleures méthodes de protection contre la corrosion en raison de leur rentabilité et facilité d'application dans l'industrie.

Les extraits de plante contiennent une source riche de composés chimiques naturels qui sont acceptable sur le plan environnemental, peu couteux, facilement disponible et renouvelable.

Pour notre cas nous avons utilisé l'extrait des noyaux d'olive.

### III.2.2. L'olivier (*Olea europaea* Le.)

#### ▪ Présentation

L'olivier (*Olea europaea* L.) est parmi les plus vieux arbres cultivés dans le monde, sa culture remonte à la plus haute antiquité ; c'est l'un des arbres les plus caractéristiques de la région méditerranéenne ; il a une grande importance nutritionnelle, sociale, culturelle et économique sur les populations de cette région [3].

Autre fois, l'olivier a été associé à des vertus telles que la sagesse, la paix, la victoire, la richesse et la fidélité, il peut vivre jusqu'à 1000 ans. Il est parfaitement adapté au climat méditerranéen. Associé à diverses civilisations, l'olivier constitue de nos jours le trait d'union entre les pays méditerranés.



**Figure III.1:** feuille et fruits d'olivier

- **Classification**

Olea est nom commun d'environ 35 espèces d'arbustes et d'arbres de la famille Oleaceae [4]. Parmi elles on cite l'olivier qui présente la classification suivante Selon [5] :

**Tableau III.1 : Classification de la plante [6].**

<b>Règne</b>	Plantae
<b>Sous-règne</b>	Tracheobionta
<b>Embranchement</b>	Spermaphytes (Ou Phanérogames)
<b>Sous-embranchement</b>	Angiospermes
<b>Classe</b>	Dicotylédones (ou Thérébinthales)
<b>Sous-classe</b>	Astéridées (ou Gamopétales)
<b>Ordre</b>	Gentianales (ou Lingustrales)
<b>Famille</b>	Oléacées
<b>Genre</b>	Olea
<b>Espèce</b>	Olea europaea L
<b>Sous-espèce</b>	Sativa (l'olivier cultivé), Sylvestris (l'oléastre ou l'olivier sauvage)

- **Description botanique**

L'olivier est un arbre typiquement méditerranéen. De 6 à 8m de hauteur à tronc tortueux à écorce grisâtre, crevassée [7]. Peut atteindre 15 M de haut [8]. Sa longévité multiséculaire est légendaire, la température demeure à plusieurs jours à 16 C° l'isotherme -12C° correspondrait à la limite de son air de culture. Facilement identifiable à son port à feuilles blanches à 4 pétales soudé en tube à la base [9]. Les feuilles, blanches argentées à la face inférieure, vertes grisâtres à la face supérieure, opposées, persistantes, coriaces, Lancéolées. Les fleurs, petites et blanches, à quatre pétale, sont réunies en grappes dressées, Les fruits, olives, sont des drupes ovoïdes, vert puis noires à maturité, à noyau dur fusiforme [7]. L'olivier exige un climat ensoleillé doux et sec,

crain, l'excès de l'humidité, Il s'adapte aux conditions extrêmes de l'environnement, mais exige une intensité lumineuse importante. Mais s'accommode de tout type de sol.

#### ▪ **Cultivation**

La culture de l'olivier est parmi les plus anciens arbres sur la planète Terre et elle remonte à plus de 7000 ans [3]. L'ancienneté de la culture de l'olivier est attestée par des preuves archéologiques datant du IV<sup>e</sup> millénaire avant J-C [10].

Les oliviers se sont répandus vers l'ouest depuis la région méditerranéenne en Italie, au Portugal, en Espagne, en Grèce, en France, en Asie, et en Australie [11]. Autre que l'olivier soit maintenant cultivé dans différentes parties du monde, la région méditerranéenne continue d'offrir l'oléo majoritaire et représente une production

D'huile environ 98% de la culture oléicole mondiale [12]. Jusqu'à nos jours. Il existe plus de 2000 cultivars dans le bassin méditerranéen qui présentent une énorme diversité basée sur la morphologie de la fosse et la morphologie des fruits, elle s'adapte très bien aux conditions pédoclimatiques de l'Algérie.

En Algérie, la culture de l'olivier remonte à la plus haute antiquité. Nos paysans s'y consacraient avec art durant plusieurs siècles [13]. L'olivier et ses produits constituaient alors l'une des bases essentielles des activités économiques de nos populations rurales. L'huile d'olive faisait l'objet d'un commerce intense entre l'Algérie et Rome, durant l'époque romaine. Depuis cette époque, l'histoire de l'olivier se confond avec l'histoire de l'Algérie et les différentes invasions ont eu un impact certain sur la répartition géographique de l'olivier dont nous avons hérité à l'indépendance du pays [14].

#### ▪ **Caractérisation et Composition d'olive**

L'olive est une drupe constituée de trois parties : l'épicarpe, le mésocarpe, et L'endocarpe (Figure III.2). L'épicarpe (peau ou épiderme) est couvert de cire et reste vert tout au long de la phase de croissance puis devient pourpre, brun ou noir (selon la variété) une fois mature. Ce changement de couleur est dû à la formation des anthocyanes [15].

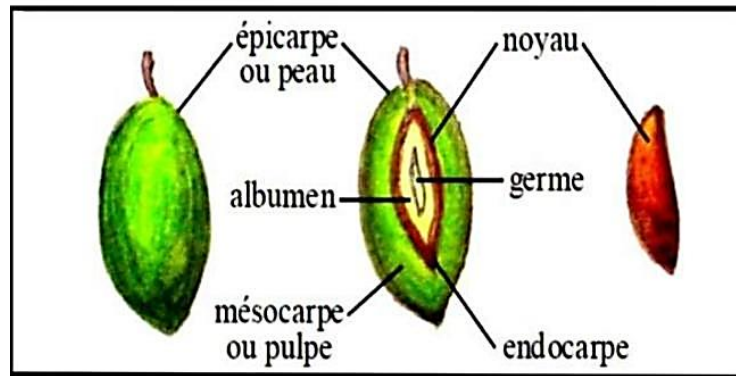


Figure III.2. Différentes parties de l'olive [16].

#### ▪ Composition chimique

La masse de l'olive varie de 2 à 12 g. Sa composition moyenne comprend de l'eau (50%), de l'huile (22%), des sucres non cellulose (19,1%), de la cellulose (5,8%), des protéines (1,6%) et des cendres (1,5%) [15]. À noter que l'oleuropéine qui est responsable du goût amer de l'olive est concentrée dans le mésocarpe. L'olive, dont l'huile est un composant essentiel du régime méditerranéen, est riche en acides gras insaturés.

#### ▪ Utilisation

Les oliviers sont cultivés depuis au moins 3500 ans, pour leurs fruits et l'huile qui en est extraite. Le nom scientifique de l'arbre, *Olea*, vient du mot grec ancien signifiant « huile ». À cette époque, les feuilles sont utilisées pour désinfecter les plaies cutanées. Les anciens l'attribuaient aux antiseptiques et à leur capacité à combattre toutes sortes d'infections.

Au 19<sup>ème</sup> siècle, les feuilles étaient utilisées pour lutter contre le paludisme. Ces utilisations sont déconseillées depuis un certain temps en raison de l'omniprésence des antibiotiques. Cependant, des suppléments de feuilles d'olivier ont été mis sur le marché, ces dernières années. Les fabricants de ces produits apprécient leurs avantages contre les infections virales, bactériennes, fongiques et à levures [17].

Et aussi les noyaux d'olive sont utilisés comme combustible à des fins de chauffage dans les installations domestiques ou industrielles. Outre la combustion, les noyaux d'olive

sont utilisés pour produire du charbon actif et comme matière première pour la production de furfural. De plus, les noyaux d'olive ont des applications comme abrasifs et dans les cosmétiques en tant que composant d'exfoliation [18].

### III.2.3. Les extraits des plantes

Les extraits sont des préparations liquides (extraits fluides et teintures), de consistance semi-solide (extraits mous ou fermes) ou solide (extraits secs), obtenues à partir de drogues (poudres) végétales ou matières animales généralement à l'état sec [19].

### III.2.4. Extraction

L'extraction est une opération de séparation, un procédé de transfert d'un ou plusieurs composants contenus dans leurs phases d'origine vers une autre phase [20]. Elle est l'une des étapes la plus importante des procédés utilisés industriellement comme dans le domaine cosmétique, pharmaceutique, agro-alimentaire, etc. Plusieurs types d'extractions existent mais les plus utilisées, en génie chimique, sont l'extraction liquide-liquide et l'extraction solide-Liquide [21].

#### III.2.4.1. L'extraction liquide-liquide

L'extraction liquide-liquide (figure III.3) consiste à extraire un ou plusieurs solutés d'une solution liquide par un solvant d'extraction non miscible avec cette dernière. La solution contenant les solutés s'appelle une solution d'alimentation. Après la séparation du mélange, le reste de la solution contenant les solutés initialement prend le nom du raffinat et le solvant avec les solutés ont pour nom d'extrait [21].

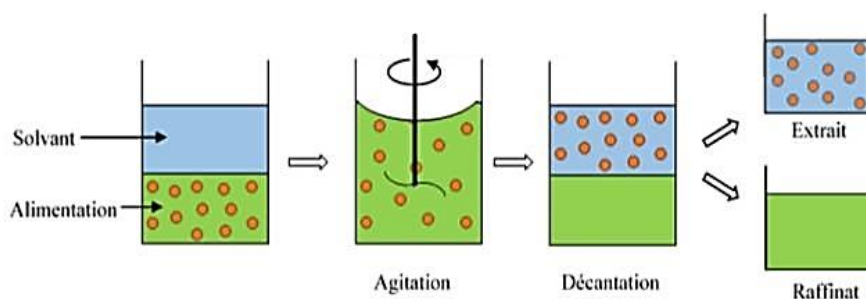


Figure III.3: Extraction liquide-liquide

### III.2.4.2. Extraction solide-liquide

L'extraction solide-liquide est une opération unitaire ayant pour but d'extraire, de prélever ou de dissoudre, à l'aide d'un liquide, une ou plusieurs espèces chimiques contenues dans un solide [22]. D'une autre manière, elle est une opération physique de transfert ou d'échange de matière entre la phase solide, contenant le composé à extraire et la phase d'extraction ou la phase liquide [23]. Lors du contact entre le solvant d'extraction et le solide, le composé à extraire est solubilisé et se déplace vers la phase d'extraction. La quantité de soluté dans le solide diminue et celle dans le solvant augmente. Le transfert s'arrête lorsque la concentration dans les deux phases est en équilibre. Dans le cas où le solvant est renouvelé, il continue Jusqu'à l'épuisement en soluté du solide [24]. Le composé obtenu lors de l'extraction est appelé extrait ou surverse et le reste du solide appelé résidu ou souverse.

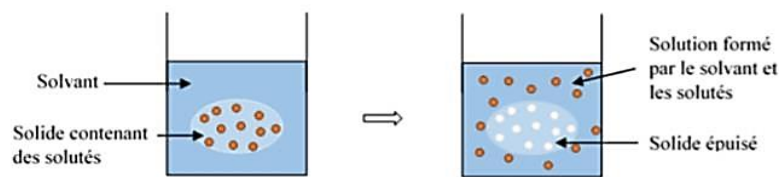


Figure III.4 : Extraction solide -liquide

### III.2.4.3. Extraction végétale

L'extraction végétale consiste à isoler les composés d'intérêt présents dans les plantes. Dans ce but, la plante est mise en contact avec un fluide, appelé solvant, dans lequel les constituants végétaux se solubilisent. En nutraceutique, ce type de procédé est fondamental car il permet d'extraire les molécules actives contenues dans la plante mais aussi de les concentrer [25].

L'extraction végétale est une extraction solide/liquide, éventuellement suivie d'étapes de purification. Elle se définit donc comme une opération de séparation d'un ou plusieurs constituants (solide ou liquide) contenus dans un corps solide par solubilisation dans un fluide [26].

### III.3. Techniques d'essais électrochimiques :

Les méthodes d'étude des inhibiteurs de corrosion sont celles de la corrosion d'une manière générale.

Ces méthodes peuvent être électrochimiques ou non électrochimiques.

Parmi ces méthodes on a utilisé :

#### III.3.1. Méthode gravimétrique (Technique de la masse perdue)

##### III.3.1.1. Théorie et principe de fonctionnement

Cette méthode présente l'avantage d'être d'une mise en œuvre simple de ne pas nécessiter un appareillage compliqué, Elle nécessite uniquement une balance de haute Précision d'erreur de  $10^{-4}$  minimum, mais elle ne permet pas l'approche des mécanismes mise en jeu lors de la corrosion. Son principe repose sur la mesure de la perte de masse ( $\Delta m$ ) subie par un échantillon métallique de surface (S), lorsque celui-ci est immergé pendant le temps ( $T_{im}$ ), dans une solution agressive [27].

La vitesse de corrosion déterminée par l'équation suivant :

$$V_{corr} = \frac{\Delta m}{S \cdot t}$$

Sachant que  $\Delta m = m_i - m_f$

$m_i$  : la masse de l'échantillon avant l'essai (mg).

$m_f$  : la masse de l'échantillon après l'essai (mg).

$V_{corr}$  : la vitesse de corrosion (mg/cm<sup>2</sup>.h).

$S$  : la surface exposée en cm<sup>2</sup>.

$t$  : temps d'immersion dans la solution (h).

L'efficacité inhibitrice d'un composé est évaluée par l'intermédiaire de la mesure des vitesses de la corrosion du système électrochimique en absence et en présence de l'inhibiteur. Elle est calculée à partir de la relation suivante :

$$E (\%) = \left( \frac{V_{corr} - V_{inh}}{V_{corr}} \right)$$

$V_{corr}$  : la vitesse de corrosion de l'acier sans inhibiteur.

$V_{inh}$ : la vitesse de corrosion de l'acier avec inhibiteur [27].

- Les essais gravimétriques ont été réalisés dans un bécher. Les volumes des solutions ( $H_2SO_4$ ,  $HCl$ ,  $NaCl$ ) est de 25ml.
- Les échantillons d'acier sont de forme rectangulaire de 2cm de longueur, de 1.8cm de largeur et de 0.5cm d'épaisseur.
- Ils sont immergés en position inclinée, dans la solution corrosive sans et avec de l'inhibiteur.
- Avant toute mesure, l'état de la surface de l'échantillon comporte un polissage à l'aide de papiers au carbure de silicium de granulométrie décroissante allant jusqu'à 1200, suivi d'un lavage à l'eau distillée, d'un dégraissage par l'acétone et un séchage sous un flux d'air.
- Une fois la préparation de l'état de surface est achevée, l'échantillon est pesé et introduit immédiatement dans la solution.
- La température de ce dernier a été maintenue constante à  $25 \pm 1$  °C.
- Chaque valeur des essais gravimétriques est moyenne de trois essais.

### III.4. Matériel et milieux d'étude :

#### III.4.1. Matériau :

Le matériau utilisé dans notre travail est l'acier. Ce dernier a été obtenu sous forme de plaquettes de différentes dimensions.



Figure III.5 : La forme et les dimensions de plaquettes.

#### III.4.1.1. Préparation des échantillons et polissage :

Avant d'utiliser les échantillons pour l'étude, les échantillons passent par l'opération de polissage.

L'opération de polissage a été effectuée avec du papier abrasif de différentes granulométries décroissantes allant jusqu'au grain 1200, afin d'obtenir un état de surface lisses planes et plus uniforme.

Ensuite, les échantillons ont été lavés avec l'acétone, puis rincés avec de l'eau distillée. Puis on sèche les plaques à l'air libre.

#### III.4.1.2. Préparation des surfaces

Puisque la corrosion est un phénomène interraccial entre le métal et son environnement, alors l'état de surface joue un rôle très important dans le comportement du métal vis-à-vis de la corrosion. La préparation des surfaces d'échantillon a été effectuée en utilisant le matériel suivant :

Une polisseuse mécanique du papier abrasif et l'eau distillée.

L'opération de polissage a été effectuée avec du papier abrasif de différentes granulométries : 220, 280, 320, 360, 400, 600, 800, 1000 et 1200 afin d'obtenir un état de surface adéquat. Ensuite, les échantillons ont été lavés avec une solution savonneuse, puis rincés avec de l'eau distillée. Une fois séchés, ils ont été de nouveau rincés avec de l'acétone.



Figure III.6 : Une polisseuse.

#### III.4.1.3. L'acier au carbone utilisé

Dans ce travail, nous avons examiné la nuance d'acier au carbone C 1020 utilisé à l'industrie pétrolière.

#### III.4.1.4. La composition chimique des échantillons

L'analyse de l'échantillon a été effectuée au niveau de l'inspection de la raffinerie de Skikda (RA1k) par un instrument « OX FORD X-MET 7000 » et on a obtenu les Résultats cités dans le tableau suivant :

Tableau III.2. Résultats d'analyse de l'échantillon « acier au carbone 1020 ».

Elément	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Cu	Ni	Nb	Mo
Teneur %	0.01	<0.00	<0.03	0.38	98.28	0.01	0.08	0.01	<0.00

#### III.4.1.5. Propriétés mécanique

Tableau III.3. Propriétés mécanique « acier au carbone 1020 »

Caractéristiques API5L	EPAISSEUR Mm	Re (MPa)	Rm (MPa)	A(%)
1020	≤16	≥340	500-650	≥20

**III.4.2. Milieux d'études :****III.4.2.1. Préparation des solutions corrosives :**

Dans ce travail nous avons utilisé l'acide sulfurique et l'acide chlorhydrique a (1%, 2%, 3%,4%,5%) comme solutions corrosives et  $NaCl$  a (1%,2%,3%,4%,5%).

**La relation :** 
$$V = \left( \frac{C.M.V}{P.d.\rho} \right) \times 100$$

Sachant que :

**C** : la concentration

**M** : la masse molaire

**V** : Le volume

**P** : La pureté

**d** : La densité

**$\rho$**  : La masse volumique

- **Pour le  $H_2SO_4$**

**Tableau III.4 :** Les paramètres de l'acide sulfurique  $H_2SO_4$ .

La masse molaire M(g/mol)	La pureté (%)	La densité
98.07	95%	1.84

- **Pour le  $HCL$**

**Tableau III.5 :** Les paramètres de l'acide sulfurique  $HCL$ .

La masse molaire M(g/mol)	La pureté (%)	La densité
36.46	37%	1.2



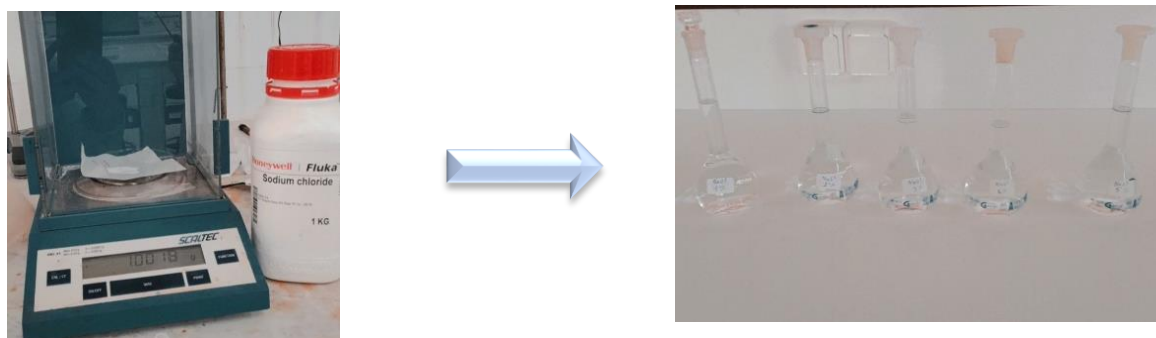
**Figure III.7 :** les solutions de  $HCl$



**Figure III.8 :** les solutions de  $H_2SO_4$

- **Pour le  $NaCl$**

Ces solutions sont préparées par dissolution de (1g, 2g, 3g, 4g, 5g) de  $NaCl$  poudre cristallisé dans 100 ml d'eau distillée puis agité afin d'avoir des solutions homogènes de (1%, 2%, 3%, 4%, 5%).



**Figure III.9 :** Préparation de la solution corrosive  $NaCl$ .

### III.5. Préparation de l'extrait des noyaux d'olives

#### III.5.1. Préparation de la poudre

##### 1) Séchage

Les noyaux d'olives étudiés ont été récoltés en février dans la commune Tamalous, la wilaya de Skikda (Algérie). Nous avons nettoyé les noyaux d'olives Avec de l'eau pour éliminer toute trace d'impuretés telles que : salissures, poussières, salissures, etc.

A été séché dans un four à une température de  $120^{\circ}C$ .

## 2) Broyage

Dans un mortier et l'aide d'un pilon nous broyons les noyaux d'olive jusqu'à l'obtention d'une poudre fine, la poudre obtenue est conservée à température ambiante.



**Figure III.10** : Schéma représente les étapes de préparation de la poudre des noyaux d'olive

### III.5.2. L'extraction

#### III.5.2.1. Matériels utilisés

- ❖ Balance électronique
- ❖ Erlenmeyer
- ❖ Agitateur électronique

**❖ Filtrations**

- Fiole
- Entonnoir
- Papier filtre humide

**❖ Dispositif évaporateur rotatif (rota vapeur) :**

- 2ballon (de solution et de récupération du solvant)
- Réfrigérant
- Plaque chauffant
- Elévateur

**❖ Eprouvette graduée.****❖ Entonnoirs.****III.5.2.2. Produits utilisées**

- ❖ Poudre des noyaux d'olives
- ❖ L'éthanol

**III.5.2.3. Mode opératoire****• Extraction des principes actifs**

La macération (extraction solide-liquide) est une opération unitaire qui consiste à laisser séjourner la matière végétale (broyat) dans l'éthanol aqueux pour extraire les principes actifs (composés phénolique).

Le protocole de l'extraction de cette plante est le suivant :

**La 1<sup>ère</sup> étape : extraction solide-liquide (macération).**

- ✓ Peser 100 g de la matière végétale,
- ✓ Mettre la matière végétale dans 600 ml de solvant d'extraction (éthanol), qui a été choisie de manière à solubiliser un maximum de composés,
- ✓ Mettre en agitation pendant 24h,
- ✓ Laisser macérer pendant 24h.



**Figure III.11 :** poudre de noyaux d'olive pendant 24 h



**Figure III.12 :** Agitation du mélange

**2<sup>ème</sup> étapes :** filtration.

- ✓ Filtrer à l'aide d'un montage de filtration pour séparer la phase Solide (la poudre) de la phase liquide (éthanol + extrait de noyaux d'olive),
- ✓ Récupère le filtrat dans un flacon.



**Figure III.13 :** Montage de filtration de solution.

**3<sup>ème</sup> étapes :** évaporation du solvant d'extraction.

On place la solution obtenue après la filtration à évaporer dans le ballon 1 et le mètre ensuite sous rotation. On ouvre le robinet d'eau froide reliait au réfrigérant et on chauffe le bain d'eau à  $T=70^{\circ}\text{C}$  avec une rotation de 200 Tours par min. A la fin de distillation



On observe par l'arrêt de l'écoulement dans le ballon 2 récepteur. Une fois la distillation terminée on coupe l'eau du réfrigérant et on récupère le ballon d'évaporation.

**Figure III.14 :** Montage de l'évaporateur rotatif

#### III.5.2.4. Détermination du rendement de l'extrait

Le rendement d'une extraction se calcule par le rapport entre la masse d'extrait obtenu et la masse de matière première végétal (la poudre).

Le rendement exprimé en pourcentage est calculé par la formule suivante :

$$R(\%) = \left( \frac{m_{\text{extrait}}}{m_{\text{matière première}}} \right) \times 100$$

**R (%) :** rendement de l'extraction en %.

**$m_{\text{extrait}}$  :** la masse d'extrait en (g).

**$m_{\text{matière première}}$  :** masse de matière première végétal (la poudre) en (g).

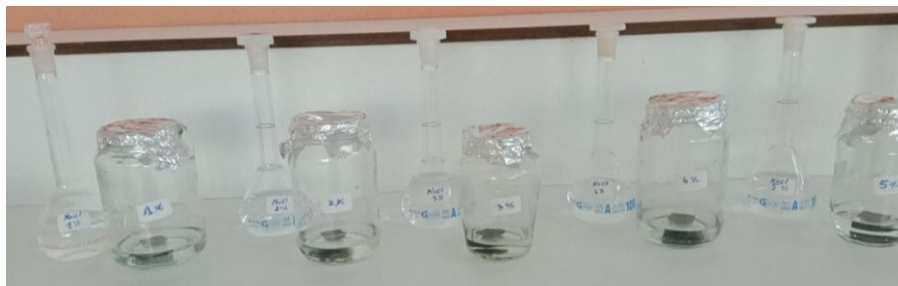
## III.6. Procédures expérimentales



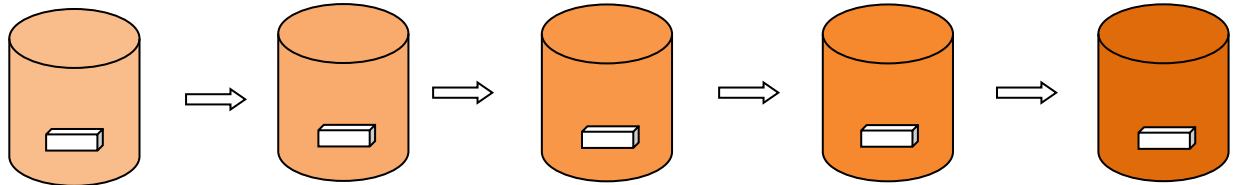
**Figure III.15 :** méthode de perte de masse (Immersion l'acier1020 dans solutions corrosifs HCl (1% ,2% ,3% ,4% ,5% en absence des différentes concentrations de l'inhibiteur à la température ambiante) .



**Figure III.16 :** méthode de perte de masse (Immersion l'acier1020 dans solutions corrosifs H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (1% ,2% ,3% ,4% ,5% en absence des différentes concentrations de l'inhibiteur à la température ambiante) .



**Figure III.17 :** méthode de perte de masse (Immersion l'acier1020 dans solutions corrosifs NaCl (1% ,2% ,3% ,4% ,5% ) en absence des différentes concentrations de l'inhibiteur à la température ambiante) .



**Figure III.18:** méthode de perte de masse (Immersion l'acier1020 dans les solutions corrosifs  $H_2SO_4$  ,HCl, NaCl en présence des différentes concentrations de l'inhibiteur à la température ambiante) .

- **Pour  $H_2SO_4$**

Nous avons aux calcule les pertes de masse dans chaque concentration de solution (1% ,2% ,3% ,4% ,5% ) avec des différents concentration de l'extrait de noyaux d'olive (1% ,2% ,3% ,4% ,5% ) pendant 3h.

- **Pour HCl**

Nous avons aux calcule les pertes de masse dans chaque concentration de solution (1% ,2% ,3% ,4% ,5% ) avec deux concentration de l'extrait de noyaux d'olive (3% et 5% ) pendant 3h.

- **Pour NaCl**

Nous avons aux calcule les pertes de masse dans chaque concentration de solution (1% ,2% ,3% ,4% ,5% ) avec deux concentration de l'extrait de noyaux d'olive (3% et 5% ) pendant 3h.



Référence bibliographique

- [1] D. LANDOLT ; Corrosion et Chimie de Surface des Métaux ; Presses Polytechniques et Universitaires Romandes ; Traité des matériaux ;1993.
- [2] A. HABCHI ; Etude de l'effet de la température sur la corrosion de l'acier XC52 en Présence du sulfarlem et leur sel correspondant dans un milieu 20% ; [en ligne] ; Thèse de Master académique en chimie appliquée ; Université de Kasdi Merbah ; Ouargla ; Disponible sur : <http://dspace.univ-ouargla.dz/jspui/handle/123456789/1532> ; 2013).
- [3] LIPHSCHITZ N., Gophna R., Hartman M., Biger G. 1991. The beginning of olive (*Olea europaea*) cultivation in the Old World: are assessments. *Journal of Archaeological Science*, 18(4): 441-453.
- [4] NIAOUNAKIS M., HALVADAKIS C. P. 2004. Olive processing waste management literature Review and patent survey. *Waste management series*, 1st ed, sl, p. 498
- [5] HENRY S. 2003. L'huile d'olive : son intérêt nutritionnel, ses utilisations en pharmacie et en cosmétique. Doctoral dissertation, UHP-Université Henri Poincaré.
- [6] GREEN P.S. 2002. A revision of *Olea L(Oleaceae)*. *Kew bulletin*, 57 (1): 91-140
- [7] GHEDIRA K, 2008. L'olivier, *Phytothérapie*. (6) : 83–89.
- [8] HANS W., KOTHE. (2007). 1000 plantes aromatiques et médicinales. Edition Toulouse, P : 221.
- [9] CLAUDE M-M., FRANÇOISE D. (2007). *Herbier méditerranéen*. Paris, P : 9.
- [10] VOSSEN V., MASHUNGWA G., MMOLOTSI R. (2007). *Olea europaea*, <http://www.crfg.org/Pubs/ff/olive.html>.
- [11] CHIAPPETTA ADRIANA., MUTOA ANTONELLA., MUZZALUPOB RITA., INNOCENZO MUZZALUPO. (2017). New rapid procedure for genetic characterization of Italian wild olive (*Olea Europaea*) and traceability of virgin olive oils by means of SSR markers. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.08.022>. *Scientia Horticulturae*. (226) :42–49.

- [12] GHANBARI R., ANWAR F., ALKHARFY KM., GILANI AH., SAARI N. (2012). Valuable Nutrients and Functional Bioactives in Different Parts of Olive (*Olea europaea* L.) –A Review. *Int. J. Mol. Sci.* (13): 3291–3340.
- [13] ALLOUM D., 1974. L'oléiculture algérienne. *Options méditerranéennes* n°24. Pp : 45-48
- [14] MENDIL M ET SEBAI A., 2006. Catalogue national des variétés de l'olivier. 100p.
- [15] NIAOUNAKIS M., HALVADAKIS C P. (2006). Olive processing waste management literature Review and patent survey. *Waste management series*, 5 (2) Elsevier.
- [16] AMOURETTIM C. ET COMET G. 2000. Le livre de l'olivier. Edisud, 191
- [17] V. MICOL, N. CATURLA, L. PEREZ-FONS, V. MAS, V. PEREZ, A. ESTEPA. The olive leaf extract exhibits antiviral activity against viral haemorrhagic septicæmia rabdo virus (VHSV), *antiviral Research*. 2005, vol.66, n°2-3, pp.36-126.
- [18] [https://agrobioheat.eu/wpcontent/uploads/2020/10/AgroBioHeat\\_factsheet\\_olive\\_stones\\_fr\\_v2.pdf](https://agrobioheat.eu/wpcontent/uploads/2020/10/AgroBioHeat_factsheet_olive_stones_fr_v2.pdf).
- [19] D. KONE ; enquête ethnobotanique de six plantes médicinales maliennes, extraction, identification d'alcaloïdes, caractérisation, quantification de poly phénols : étude de leur activité anti oxydante ; Thèse de doctorat ; Université de Bamako ; 2009
- [20] BENABDALLAH HASSIBA, Polycopié du cours : Techniques d'extraction, de purification et De conservation, Master I : Analyses biochimiques, Université Ferhat Abbas de Sétif, 2015-2016.
- [21] LANTONISA HORTENSE RAKOTONIRINA, Modélisation de l'extraction des solutés Hydrosolubles de *Salvia coccinea* (Lamiaceae), mémoire, Université d'Antananarivo, 2018, p 60.
- [22] JEAN LEYBROS, Pierre FREMEAUX, Extraction solide-liquide, *Technique de L'ingénieur, traité Génie des Procédés*, J 2780, 1990.

[23] NEJIA HERZI, Extraction et purification de substances naturelles : comparaison de L'extraction au CO<sub>2</sub>-supercritique et des techniques conventionnelles, Thèse, Université de Toulouse, 2013, p3(193)

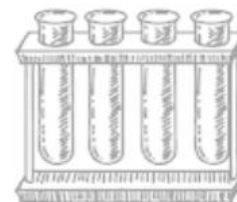
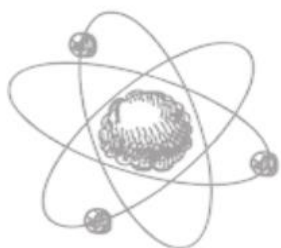
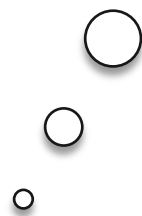
[24] BOUTHAINA BEN AMOR, Maitrise de l'aptitude technologique de la matière végétale dans Les opérations d'extraction de Principes actifs ; texturation par détente instantanée contrôlée (DIC), Thèse, Université de la Rochelle, 2008, p 3-10

[25] <https://nutrixéal-info.fr/index/extraction-vegetale/>

[26] <https://www.berkem.com/fr/expertise/extraction-vegetale>.

[27] N. DEMIRDÖVEN, C. M. Cheatum, H. S. Chung, M. Khalil, J. Knoester, A. Tokmakoff, « Two-Dimensional Infrared Spectroscopy Of Antiparallel Beta-Sheet Secondary Structure », Journal Of The American Chemical Society, Vol. 126, 2004, P. 7981.

# Chapitre IV : Résultats et discussion



## IV.1.Introduction

Dans ce chapitre, nous étudierons les résultats et les valeurs obtenus du côté expérimental, représentés par l'efficacité de l'inhibiteur organique de noyaux d'Olive sur la corrosion de l'acier C1020 en milieu différentes ( $H_2SO_4$ , NaCl et HCl).

## IV.2. Calcule du rendement de l'extraction

$$R(\%) = \frac{m_{\text{extrait}}}{m_{\text{matière première}}} \cdot 100$$

### IV.2.1. Le rendement de noyaux d'Olive

$$R(\%) = \frac{10}{100} \cdot 100$$

$$R(\%) = 10\%$$

## IV.3.Etude gravimétrique

### IV.3.1.Vitesse de la corrosion d'acier au carbone

Nous avons procédé aux calculs de la vitesse de corrosion de l'acier au carbone sans et avec l'addition de différentes concentrations de l'extrait de noyaux d'Olive, cette vitesse est calculée à partir des mesures de perte de masse avant et après un temps d'immersion de 3h dans les milieux ( $H_2SO_4$ , NaCl et HCl à 1% 2% 3% 4% 5%) par la relation :

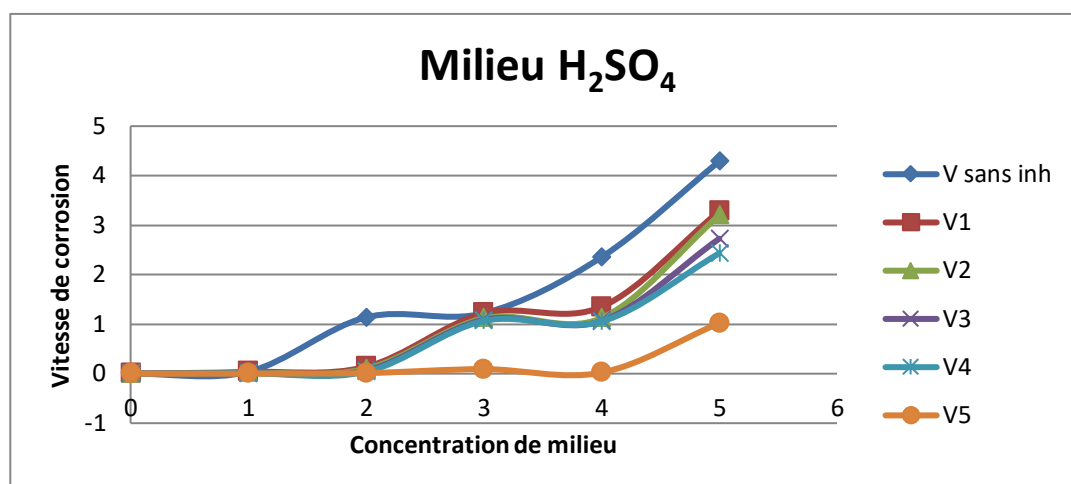
$$V_{\text{corr}} = \frac{\Delta m}{S \cdot t}$$

#### IV.3.1.1.L'inhibition de la corrosion de l'acier en milieu $H_2SO_4$

Le tableau IV.1 regroupe les valeurs de la vitesse de corrosion de l'acier à différentes concentrations de l'extrait de noyaux d'Olive dans une solution  $H_2SO_4$  à (1% 2 %3% 4% 5%) pendant 3h.

**Tableau IV.1** : Les valeurs de la vitesse de corrosion sans et avec l'inhibiteur à différents concentration et à différents concentration de milieu  $H_2SO_4$  pendant 3 h.

La vitesse de corrosion						
Concentration $H_2SO_4$	La concentration de l'inhibiteur					
	0%	1%	2%	3%	4%	5%
1%	0.0378	0.036	0.0198	0.0089	0.0074	0.0006
2%	1.1383	0.137	0.098	0.064	0.0388	0.0125
3%	1.2205	1.219	1.121	1.089	1.0654	0.0921
4%	2.3534	1.3511	1.124	1.0645	1.0543	0.0213
5%	4.2892	3.2801	3.2003	2.7268	2.4324	1.021



**Figure IV.1** : Evolution de la vitesse de corrosion à différents concentration d'inhibiteurs en fonction de concentration de milieu  $H_2SO_4$  pendant 3 h.

#### IV.3.1.2.L'évaluation de l'efficacité de l'inhibiteur en fonction de concentration de milieu $H_2SO_4$

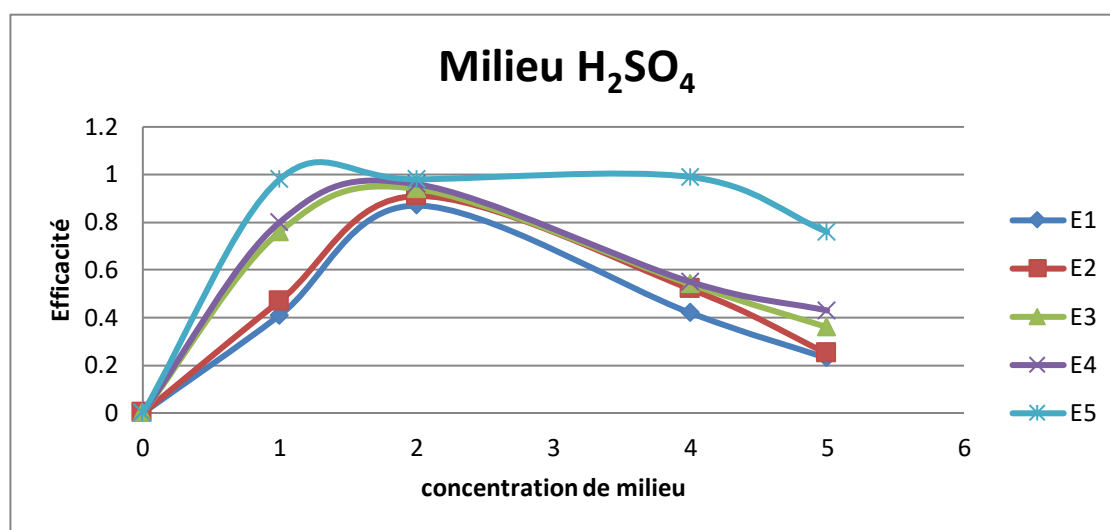
Nous avons procédé aux calculs de l'efficacité sur l'acier au carbone et avec l'addition de différentes concentrations de l'extrait de noyaux d'Olive, cette efficacité est calculée à partir de la vitesse inhibitrice et corrosive avant et après un 3h dans le milieu  $H_2SO_4$  par la relation :

$$E (\%) = \left( \frac{V_{corr} - v_{corr,inh}}{V_{corr}} \right) \times 100$$

Le tableau IV.2 regroupe les valeurs de l'efficacité de l'inhibiteur de corrosion E(%) à différentes concentrations de l'extrait de noyaux d'Olive pendant 3h en fonction de différentes concentrations de milieu  $H_2SO_4$ .

**Tableau IV.2 :** Evolution d'Efficacité de l'inhibiteur en E(%) à différents concentration d'inhibiteurs en fonction de différents concentration de  $H_2SO_4$  pendant 3 h.

Efficacité de l'inhibiteur en (%)					
Concentration $H_2SO_4$	la concentration de l'inhibiteur				
	1%	2%	3%	4%	5%
1%	41.76%	47.61%	76.45%	80.4%	98%
2%	87.96%	91.3%	94.3%	96.5%	98.1%
4%	42.58%	52.23%	54.76%	55.2%	99.09%
5%	23.52%	25.38%	36.42%	43.29%	76.19%



**Figure IV.2 :** Evolution de l'efficacité à différents concentration de l'inhibiteur de noyaux d'Olive en milieu  $H_2SO_4$ .

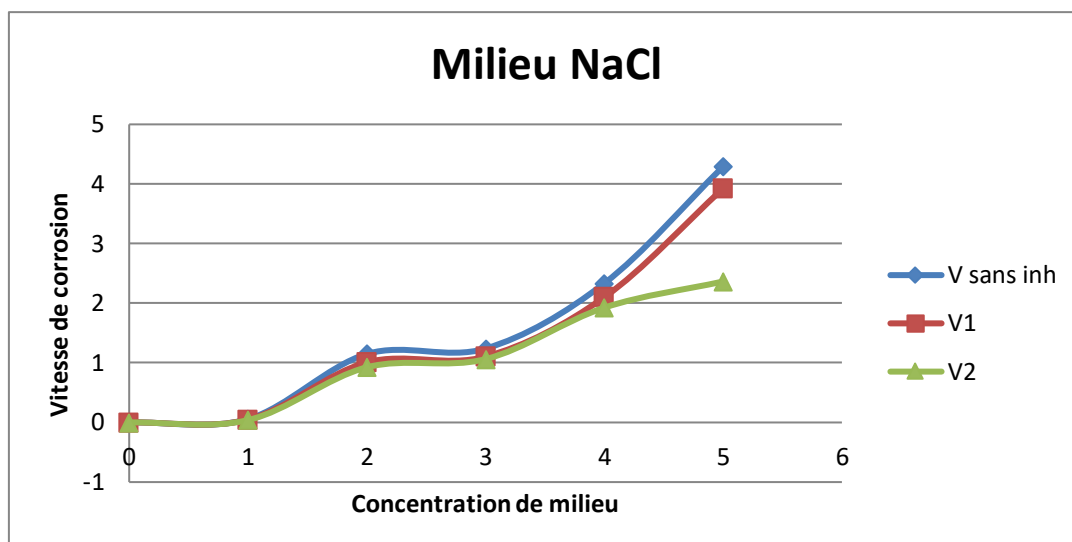
#### IV.4.L'inhibition de la corrosion de l'acier en milieu NaCl

##### IV.4.1.Vitesse de la corrosion d'acier au carbone

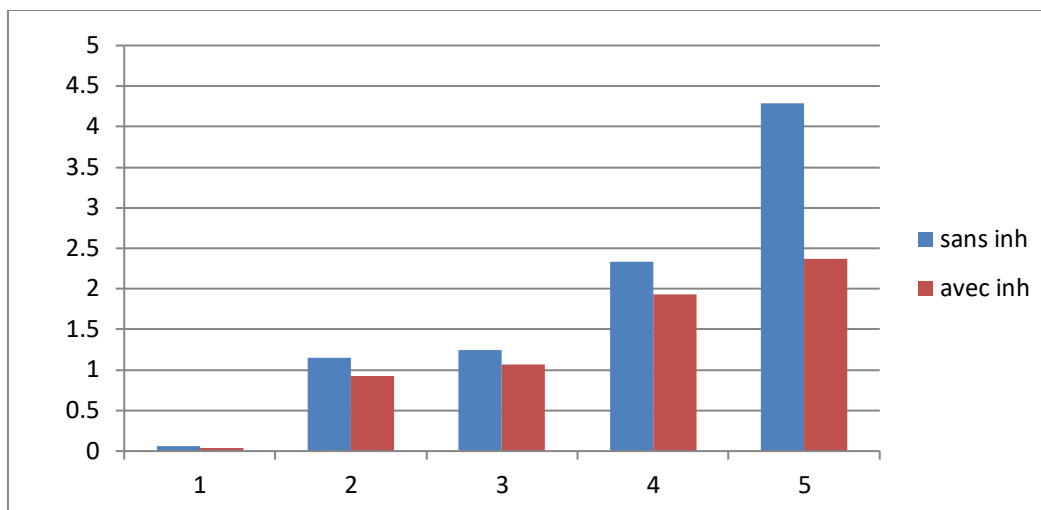
Le tableau IV.1 regroupe les valeurs de la vitesse de corrosion de l'acier à différentes concentrations de l'extrait du dans une solution NaCl à (1% 2%3% 4% 5%) pendant 3h.

**Tableau IV.3** Les valeurs de la vitesse de corrosion sans et avec l'inhibiteur à différents concentration et à différents concentration de milieu NaCl pendant 3 h.

La vitesse de la corrosion			
Concentration NaCl	La concentration de l'inhibiteur		
	0%	3%	5%
1%	0.0568	0.0478	0.0398
2%	1.1484	1.008	0.9256
3%	1.2398	1.1034	1.0625
4%	2.3338	2.1006	1.9263
5%	4.2917	3.9253	2.3648



**Figure IV.3 :** Evolution de la vitesse de corrosion à différents concentration d'inhibiteurs en fonction de concentration de milieu NaCl pendant 3 h.



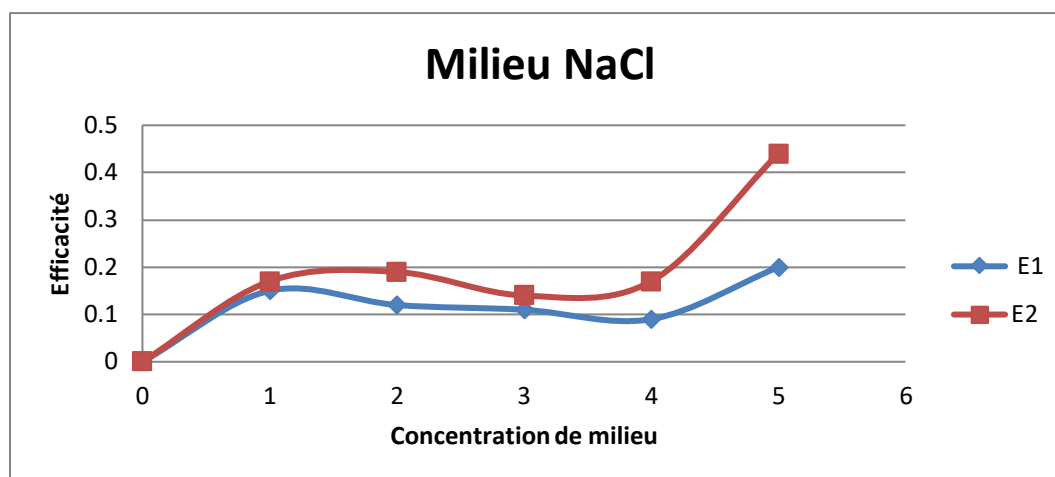
**Figure IV.4** : La variation de la vitesse de corrosion à 5% d'inhibiteurs en fonction de concentration de milieu NaCl pendant 3 h.

#### IV.4.2. L'évaluation de l'efficacité de l'inhibiteur en fonction de différentes concentrations

Le tableau IV.4 regroupe les valeurs de l'efficacité de l'inhibiteur de corrosion à différentes concentrations de l'extrait noyau d'Olive dans pendant 3h en fonction de différentes concentrations de NaCl.

**Tableau IV.4** : Les valeurs de l'efficacité de l'inhibiteur à différentes concentration et à différentes concentrations de NaCl pendant 3h.

Efficacité de l'inhibiteur(%)		
Concentration NaCl	La concentration de l'inhibiteur	
	3%	5%
1%	15.84%	17.01%
2%	12.22%	19.4%
3%	11%	14.3%
4%	9.99%	17.46%
5%	20.2%	44.89%



**Figure IV.5 :** Evolution de l'efficacité à différentes concentrations de l'inhibiteur du noyau d'Olive en milieu NaCl.

## IV.5. L'inhibition de la corrosion de l'acier en milieu HCl

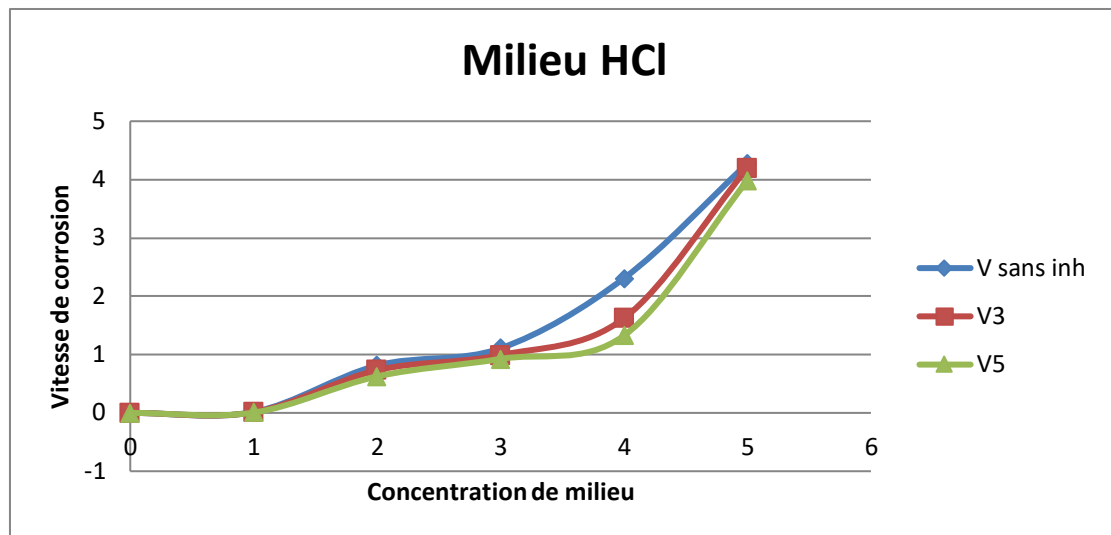
### IV.5.1. Vitesse de la corrosion d'acier au carbone

Nous avons procédé aux calculs de la vitesse de corrosion de l'acier au carbone sans et avec l'addition de l'extrait (5%) de noyaux d'Olive, cette vitesse est calculée à partir des mesures de perte de masse avant et après 3h dans un milieu acide HCl.

Le tableau IV.5 regroupe les valeurs de la vitesse de corrosion de l'acier à concentrations (3% et 5%) de l'extrait du noyau d'Olive dans une solution.

**Tableau IV.5 :** Les valeurs de la vitesse de corrosion sans et avec inhibiteur pendant 3h dans HCl.

La vitesse de corrosion			
Concentration HCl	La concentration de l'inhibiteur		
	0%	3%	5%
1%	0.0153	0.0142	0.0134
2%	0.813	0.81	0.8001
3%	1.1076	1.0145	1.0098
4%	2.3083	2.3002	2.2921
5%	4.2760	4.2732	4.2702



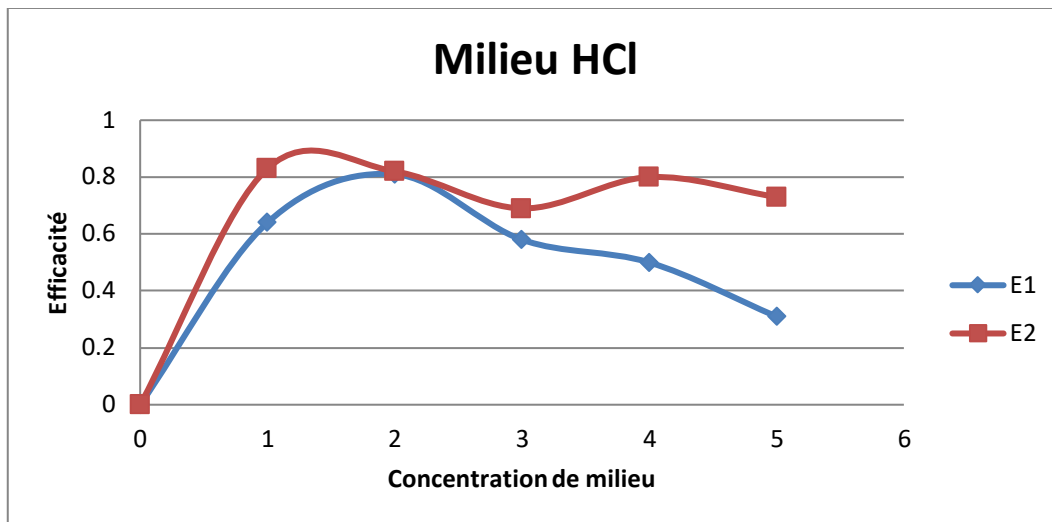
**Figure IV.6 :** Evolution de la vitesse de corrosion sans et avec l'addition de l'extrait en fonction de différentes concentrations de HCl pendant 3h.

#### IV.5.2.L'évaluation de l'efficacité de l'inhibiteur en fonction de différents concentration de HCl

Le tableau IV.6 regroupe les valeurs de l'efficacité de l'inhibiteur de corrosion  $E$  (%) à concentrations (3% et 5%) de l'extrait de noyaux d'Olive en fonction de différentes concentrations de HCl.

**Tableau IV.6 :** Les valeurs de l'efficacité de l'inhibiteur à différentes concentrations de milieu HCl pendant 3h.

Efficacité de l'inhibiteur(%)		
Concentration HCl	La concentration de l'inhibiteur	
	3%	5%
1%	64.15%	83.05%
2%	81.24%	82.7%
3%	58.22%	69.52%
4%	50,27%	80.5%
5%	31.75%	73.41%



**Figure IV.7:** Evolution de l'efficacité à différents concentration de l'inhibiteur de noyaux d'Olive en milieu HCl.

## IV.6. Interprétation des différents résultats

Compte tenu l'importance de ce paramètre, nous avons tracé la courbe de la vitesse de corrosion en fonction de la concentration de milieu. Le choix de la concentration (1% 2% 3% 4% 5%) des inhibiteurs sont justifiés par le fait qu'à cette concentration, la valeur de l'efficacité est maximale.

### IV.6.1. Vitesse de la corrosion d'acier au carbone

Nous observons que la vitesse de corrosion de l'acier C1020 en absence l'extrait de noyaux d'Olive augmente en fonction de la concentration de milieu corrosive, pour un temps d'immersion 3h. elle est plus grande qui avec inhibiteur.

#### 1) Pour la solution $H_2SO_4$ :

- Nous remarquons que la vitesse de corrosion de l'acier C1020 en présence l'extrait de noyaux d'Olive diminuée en fonction l'augmentation de concentration de l'inhibiteur.
- Nous constatons que la vitesse de corrosion est maximale à la concentration 5% d'inhibiteur.

**2) Pour la solution  $NaCl$  :**

- Les résultats obtenus dans la (figure IV.3) montrent que la vitesse de corrosion diminuée avec l'augmentation de la concentration de l'extrait de noyaux d'Olive en fonction de l'augmentation de la concentration de milieu  $NaCl$ .
- Nous constatons que la vitesse de corrosion est maximale à la concentration 5% d'inhibiteur.

**3) Pour la solution  $HCl$  :**

- Nous remarquons que la vitesse de corrosion de l'acier C1020 en présence l'extrait de noyaux d'Olive diminuée en fonction l'augmentation de concentration d'inhibiteur.
- Nous constatons que la vitesse de corrosion est maximale à la concentration 5% d'inhibiteur.

**IV.6.2.Efficacité de l'inhibiteur de noyaux d'Olive****1) Pour la solution  $H_2SO_4$ :**

- Nous remarquons que l'extrait de noyaux d'Olive possède d'excellentes propriétés inhibitrices (99.09%) de la corrosion de l'acier en milieu  $H_2SO_4$  5%, ce qui explique que l'extrait s'adsorbe beaucoup mieux ou une grande quantité se fixe sur la surface de l'acier et empêchant la dissolution de l'acier.

**2) Pour la solution  $NaCl$  :**

- Nous constatons que l'efficacité est maximale à la concentration 5% d'inhibiteur.

**3) Pour la solution  $HCl$  :**

- Nous observons l'efficacité inhibitrices augmente avec l'augmentation de la concentration d'inhibiteur.

**IV.7.Isotherme d'adsorption:**

Les isothermes d'adsorption sont très importantes pour déterminer le mécanisme d'adsorption et L'efficacité d'inhibition dépend :

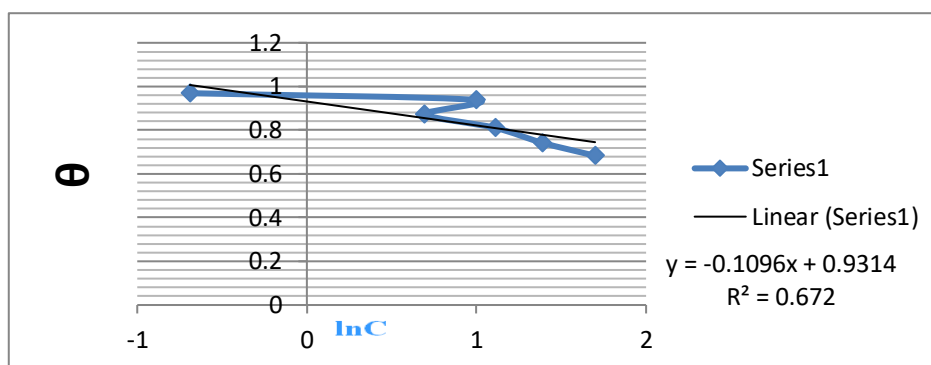
- Du taux de recouvrement de la surface métallique par les molécules d'inhibiteur.
- De la fixation de la molécule d'inhibiteur sur le métal.
- De la stabilité du complexe qui dépend de la planéité de la molécule.

❖ **Les isothermes d'adsorption pour le milieu H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 5M.**

**a) Isotherme d'adsorption de Temkin**

**Tableau IV.7:** Paramètre d'isotherme de Temkin pendant un temps d'immersion 3h en milieu H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> à 25°C.

C	Θ	LnC
0,5	0,9695597	-0,69
1	0,9380548	1
2	0,8744887	0,693
3	0,8107249	1,098
4	0,7427052	1,3869
5	0,6831991	1,699

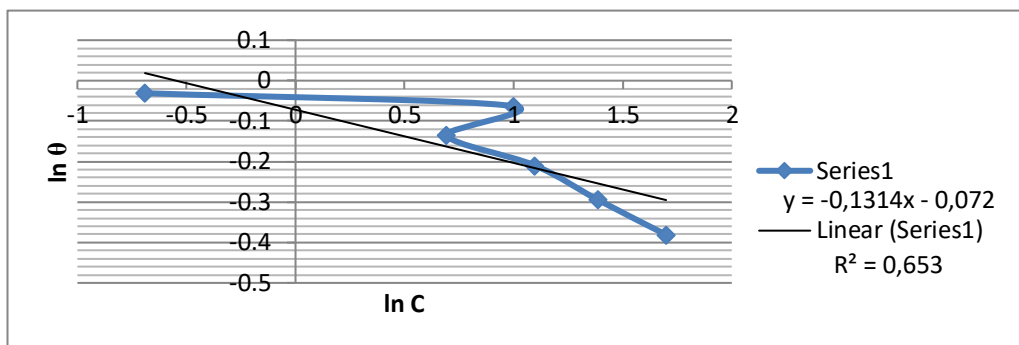


**Figure IV.8 :** Isotherme d'adsorption de Temkin de l'acier C1020 dans H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 5 M en présence de l'extrait de noyaux d'Olive.

### b) Isotherme d'adsorption de Freundlich

**Tableau IV.8:** Paramètre d'isotherme de Temkin pendant un temps d'immersion 3h en milieu  $H_2SO_4$  à 25°C.

C	Ln $\theta$	Ln C
0,5	-0,030913	-0,69
1	-0,063144	1
2	-0,131411	0,693
3	-0,209872	1,098
4	-0,029456	1,38629
5	-0,380961	1,699



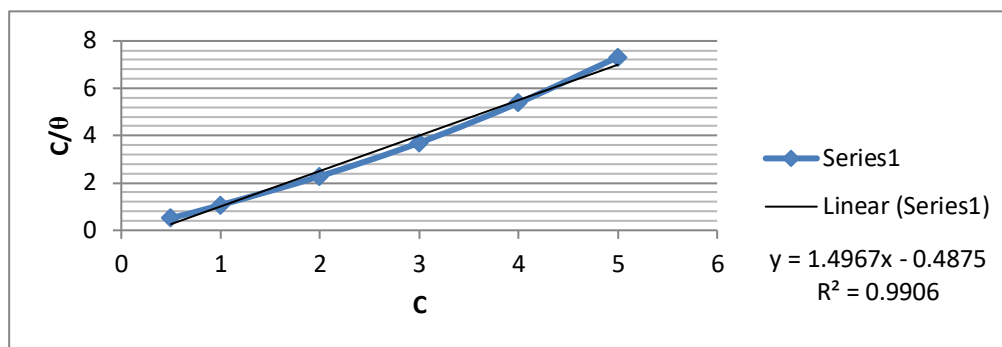
**Figure IV.9:** Isotherme d'adsorption de Freundlich de l'acier C1020 dans  $H_2SO_4$  M en présence de l'extrait de noyaux d'Olive.

### c) Isotherme d'adsorption de Langmuir

**Tableau IV.9:** Paramètre d'isotherme de Langmuir pendant un temps d'immersion 3h en milieu  $H_2SO_4$  à 25°C.

C	$\theta$	C/ $\theta$
0,5	0,9695591	0,515698
1	0,9380544	1,066036
2	0,8744887	2,2870507
3	0,8107249	3,7003920

4	0,7427052	5,3857169
5	0,6831991	7,31851081



**Figure IV.10:** Isotherme d’adsorption de Langmuir de l’acier C1020 dans H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 5 M en présence de l’extrait de noyaux d’Olive.

❖ **Discussion**

Les valeurs de  $\theta$  sont présentées graphiquement selon l’isotherme d’adsorption convenable. Seule la courbe  $C_{inh}/\theta$  en fonction de la concentration est linéaire dans tout le domaine, on constate que les coefficients de corrélation linéaires sont proches de 1, cela montre que l’adsorption de l’extrait des noyaux d’Olive sur la surface de l’acier en milieu sulfurique obéit à l’isotherme d’adsorption de Langmuir.

Les coefficients de corrélation ( $R^2$ ) ont été utilisés pour choisir l’isotherme la plus représentative (tableau VI.4).

**Tableau IV.10 :** Les valeurs de coefficient de corrélation ( $R^2$ ) obtenus par les isothermes de Langmuir, Temkin et Freundlich.

Température (°C)	Isotherme de Langmuir	Isotherme de Temkin	Isotherme de Freundlich
25°C	0.990	0.672	0.653

Dans notre travail, nous avons choisi le modèle adsorption le plus adéquat (Langmuir). Langmuir suppose l’existence à la surface d’un nombre fixe de site énergiquement identique, chaque site ne peut adsorber qu’une seule particule. Le taux de

recouvrement ( $\Theta$ ) pour différentes concentrations est déterminé à partir des mesures gravimétriques par l'équation suivante :

$$\theta = (m_0 - m_{inh}) / (m_0 - m_m)$$

Le réaménagement de cette relation donnée :

$$C_{inh} / \theta = 1/K + C_{inh}$$

La constante d'adsorption  $K$  est liée à l'énergie libre standard d'adsorption ( $\Delta G_{ads}$ ) par l'équation de van'thoff [8] :

$$K = 1 / (55,5) \exp(-\Delta G_{ads}/RT)$$

$K$  : désigné le coefficient d'adsorption.

$C_{inh}$  : la concentration de l'inhibiteur dans la solution.

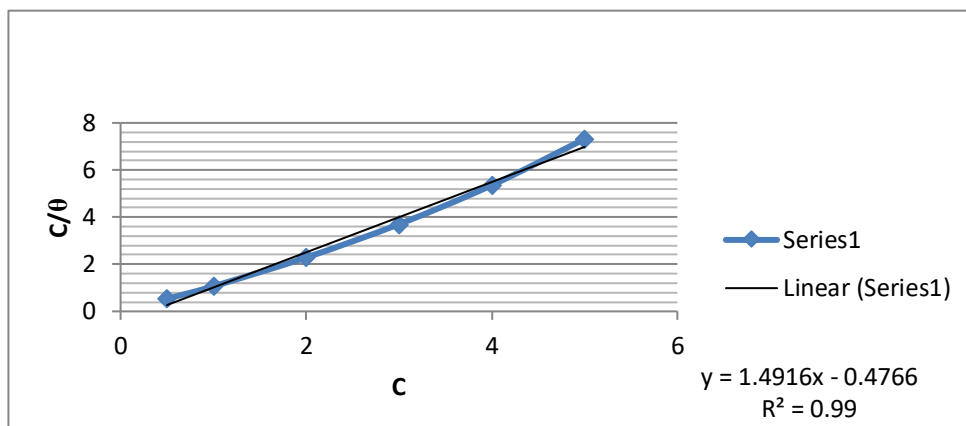
$R$  : la constante de gaz parfait en ( $J. mol^{-1}. K^{-1}$ ).

$55,5$  est la concentration de l'eau en solution ( $mol. L^{-1}$ ).

$T$  : la température en (K).

**Tableau IV.11** : Paramètre d'isotherme de Langmuir pendant un temps d'immersion 3h en milieu  $H_2SO_4$  3M à 25°C.

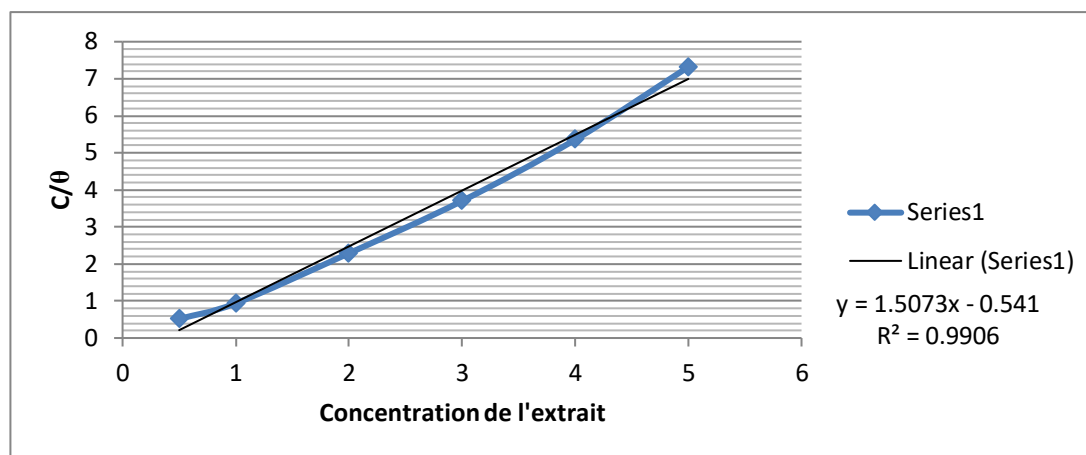
C	$\Theta$	C/ $\theta$
0.5	0.9693551	0.532280
1	0.9379946	1.066104
2	0.8744514	2.287148
3	0.81066806	3.700651
4	0.7469315	5.3552434
5	0.6831642	7.318884



**Figure IV.11** : Isotherme d'adsorption de Langmuir de l'acier C1020 dans  $H_2SO_4$  3M en présence de l'extrait de noyaux d'Olive.

**Tableau IV.12** : Paramètre d'isotherme de Langmuir pendant un temps d'immersion 3h en milieu  $H_2SO_4$  1M à 25°C.

C	$\Theta$	C/ $\Theta$
0.5	0.96923551	0.515856
1	0.937611	0.9376119
2	0.874256	2.287659
3	0.8106637	3.7006714
4	0.7468838	5.355584
5	0.6831468	7.319071



**Figure IV.12** : Isotherme d'adsorption de Langmuir de l'acier C1020 dans  $H_2SO_4$  1M en présence de l'extrait de noyaux d'Olive.

#### ❖ Discussions :

Le tracé  $C_{inh}/\Theta$  en fonction de la concentration de l'extrait de noyaux d'Olive pour les temps d'immersion (3h) à 25°C en milieu  $H_2SO_4$  (1%, 3% et 5%) donne des droites linéaires. Cela montre que l'adsorption de l'extrait de noyaux d'Olive sur la surface de l'acier en milieu  $H_2SO_4$  obéit à l'isotherme d'adsorption de Langmuir. À cet effet, nous pouvons dire que l'adsorption de l'extrait sur la surface de l'acier est monocouche, limitant forcément l'infiltration de l'électrolyte vers le substrat.

Le coefficient de corrélation ( $R^2$ ) a été utilisé pour choisir convenable notre modèle, on constate que les coefficients de corrélation linéaire sont proche de 1.

L'ordonnée à l'origine de cette droite donne la valeur  $1/K$  et à partir de cette valeur, on déduit les valeurs de  $K$ .

Les valeurs de  $K\Delta G^0_{ads}$  sont résumées dans le tableau suivant :

**Tableau IV.13** : Paramètre thermodynamique de l'adsorption de l'extrait de noyaux d'Olive sur la surface de l'acier à différentes concentrations en fonction du concentration de milieu  $H_2SO_4$  (1,3 et 5)M  $25^\circ C$  pendant 3h.

Concentration de milieu	$K(l/g)$	$-\Delta G^0_{ads} (kJ.mol^{-1})$
1	10.43	13.03
3	8.67	15.74
5	7.53	17.9

#### ❖ Discussions :

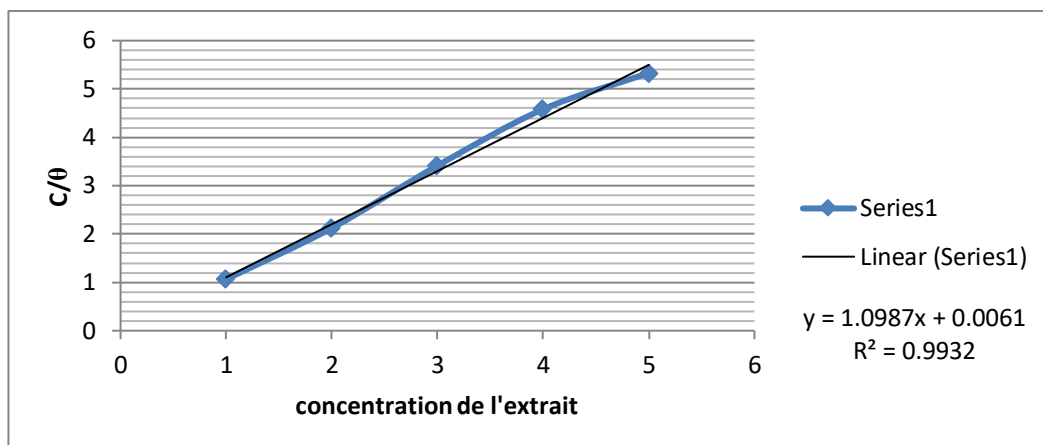
Les valeurs négatives de  $\Delta G^0_{ads}$  indiquent la spontanéité du processus d'adsorption et la stabilité de la monocouche adsorbée à la surface métallique.

Généralement les valeurs absolues de  $\Delta G^0_{ad}$ , voisines de  $20 \text{ KJ.mol}^{-1}$  ou inférieures, sont liées à des interactions électrostatiques entre les molécules chargées et le métal chargé (physisorption), alors que celle proches de  $40 \text{ KJ.mol}^{-1}$  ou supérieures impliquent un transfert de charges entre les molécules organiques et la surface métallique (chimisorption). Alors les valeurs de  $\Delta G^0_{ad}$  calculées dans notre étude, sont inférieures à  $20 \text{ KJ.mol}^{-1}$  ce qui, indiquent que l'adsorption la plus dominante de l'extrait des FO sur la surface de l'acier est de type physique.

## ❖ Isotherme d'adsorption pour le milieu NaCl :

**Tableau IV.14 :** Paramètre d'isotherme de Langmuir pendant un temps d'immersion 3h en milieu NaCl 3M à 25°C.

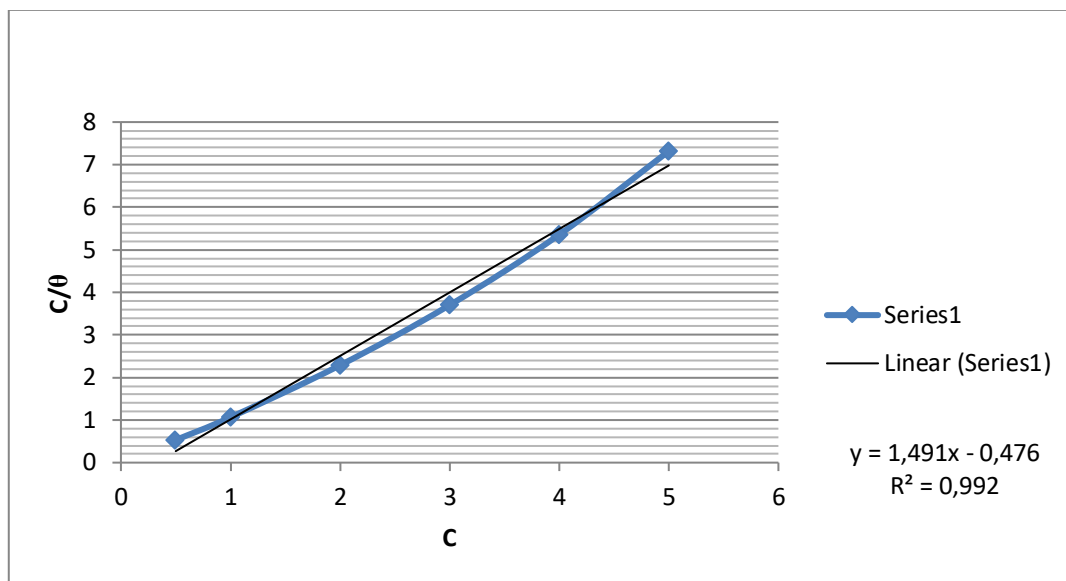
C	$\theta$	C/ $\theta$
1	0.9399388	1.0638990
2	0.9417207	2.1237719
3	0.8787824	3.4140421
4	0.8731689	4.5810151
5	0.938275	5.3289280



**Figure IV.14:** Isotherme d'adsorption de Langmuir de l'acier C1020 dans NaCl 3M en présence de l'extrait de noyaux d'Olive.

**Tableau IV.15** : Paramètre d'isotherme de Langmuir pendant un temps d'immersion 3h en milieu NaCl 5M à 25°C.

C	$\theta$	C/ $\theta$
1	0.9453204	1.05784239
2	0.8780948	2.27765840
3	0.81453301	3.6830919
4	0.7509418	5.326644
5	0.6872968	7.274877



**Figure IV.15** : Isotherme d'adsorption de Langmuir de l'acier C1020 dans NaCl 5M en présence de l'extrait de noyaux d'Olive.

#### ❖ Discussion :

L'adsorption de l'extrait des FO sur la surface de l'acier en milieu NaCl obéit l'isotherme d'adsorption de Langmuir. A cet effet, nous pouvons dire que l'adsorption de l'extrait sur la surface de l'acier est monocouche, limitant forcément l'infiltration de l'électrolyte vers le substrat.

Les valeurs de  $K$  et  $\Delta G^0_{ads}$  sont résumée dans le tableau suivant :

**Tableau IV.16:** Paramètre thermodynamique de l'adsorption de l'extrait de noyaux d'Olive sur la surface de l'acier à différentes concentrations en fonction de la concentration de milieu NaCl (3 et 5)M à 25°C pendant 3h.

Concentration de milieu	K (l/g)	$-\Delta G^0_{ads}$ (kJ.mol <sup>-1</sup> )
3	3.81	10.98
5	2.94	10.27

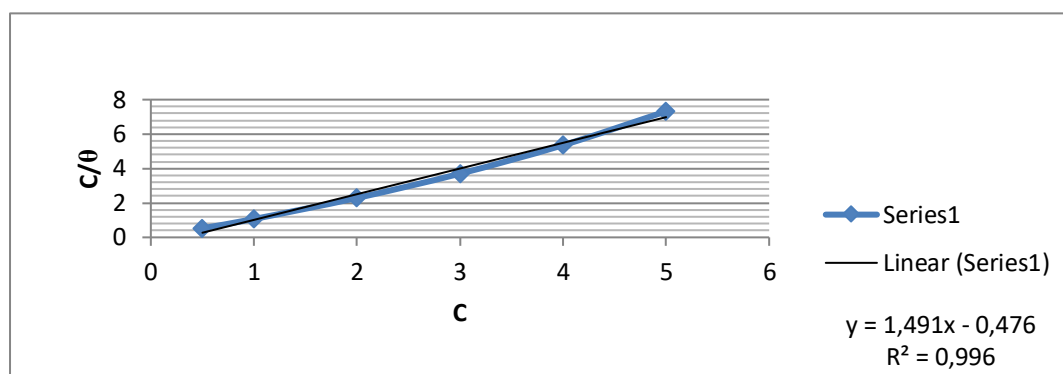
❖ **Discussion :**

Les valeurs de  $\Delta G^0_{ad}$  calculées dans notre étude, sont inférieures à **20 KJ.mol<sup>-1</sup>** ce qui, indique que l'adsorption la plus dominante de l'extrait de noyaux d'Olive sur la surface de l'acier est de type physique.

❖ **Isotherme d'adsorption pour le milieu HCl :**

**Tableau IV.17 :** Paramètre d'isotherme de Langmuir pendant un temps d'immersion 3h en milieu HCl 3M à 25°C.

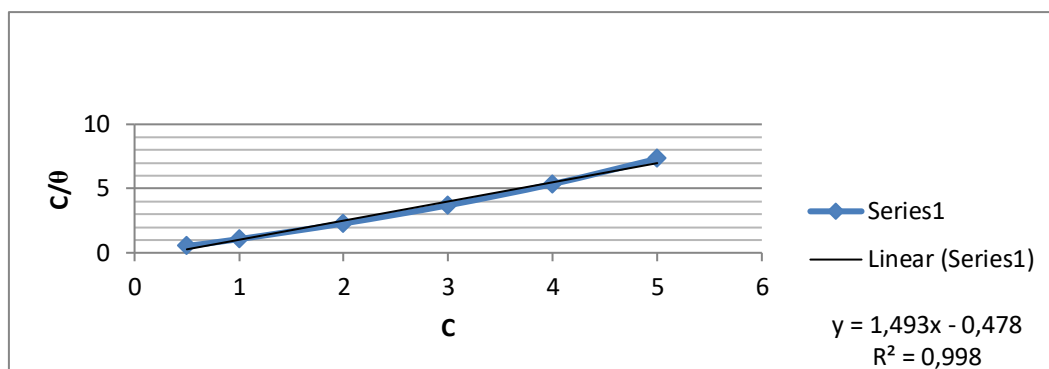
C	$\theta$	C/ $\theta$
1	0.9458935	1.05720147
2	0.9024531	2.21618164
3	0.8836254	3.39510385
4	0.8007265	4.09544663
5	0.7856234	6.36405986



**Figure IV.16:** Isotherme d'adsorption de Langmuir de l'acier C1020 dans HCl 3M en présence de l'extrait de noyaux d'Olive.

**Tableau IV.18 :** Paramètre d'isotherme de Langmuir pendant un temps d'immersion 3h en milieu HCl 5M à 25°C.

C	$\Theta$	C/ $\Theta$
1	0.9863214	1.0138668
2	0.8256823	2.4222391
3	0.8065258	3.7196578
4	0.7985653	5.0089829
5	0.6898666	7.2496696



**Figure IV.17 :** Isotherme d'adsorption de Langmuir de l'acier C1020 dans HCl 5M en présence de l'extrait de noyaux d'Olive.

#### ❖ Discussion :

L'adsorption de l'extrait de noyaux d'Olive sur la surface de l'acier en milieu HCl obéit l'isotherme d'adsorption de Langmuir. A cet effet, nous pouvons dire que l'adsorption de l'extrait sur la surface de l'acier est monocouche, limitant forcément l'infiltration de l'électrolyte vers le substrat.

Les valeurs de  $K$  et  $\Delta G_{ads}^0$  sont résumée dans le tableau suivant :

**Tableau IV.19:** Paramètre thermodynamique de l'adsorption de l'extrait de noyaux d'Olive sur la surface de l'acier à différentes concentrations en fonction du concentration de milieu HCl (3 et 5)M 25°C pendant 3h.

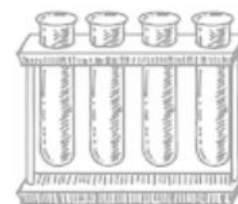
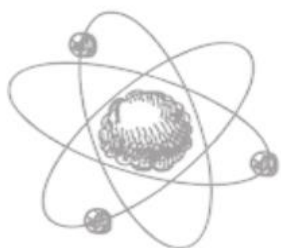
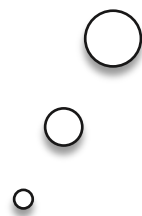
Concentration de milieu	K(l/g)	$-\Delta G^0_{ads}$ (kJ.mol <sup>-1</sup> )
3	11.41	15.94
5	8.45	13.89

❖ **Discussions :**

Les valeurs négatives de  $\Delta G^0_{ads}$  indiquent la spontanéité du processus d'adsorption et la stabilité de la monocouche adsorbée à la surface métallique.

Généralement les valeurs absolues de  $\Delta G^0_{ad}$ , voisines de **20 KJ.mol<sup>-1</sup>** ou inférieures, sont liées à des interactions électrostatiques entre les molécules chargées et le métal chargé (physisorption), alors que celle proches de **40 KJ.mol<sup>-1</sup>** ou supérieures impliquent un transfert de charges entre les molécules organiques et la surface métallique (chimisorption). Alors les valeurs de  $\Delta G^0_{ad}$  calculées dans notre étude, sont inférieures à **20 KJ.mol<sup>-1</sup>** ce qui, indiquent que l'adsorption la plus dominante de l'extrait de noyaux d'Olive sur la surface de l'acier est de type physique.

# Conclusion générale



## **Conclusion général**

Le présent travail a été consacré à l'étude de l'inhibition de la corrosion de l'acier C1020 dans l'acide chlorhydrique, Acide Sulfurique et Chlorure de sodium à différentes concentrations : 1%, 2%, 3%, 4%, 5% par l'extrait de noyaux d'Olive.

La démarche pour étudier les propriétés inhibitrices de l'extrait de noyaux d'Olive est basée sur l'utilisation de plusieurs méthodes telles que : l'étude gravimétrique et l'isotherme d'adsorption. L'étude de l'influence de différentes concentrations sur les performances inhibitrices de l'inhibiteur vert a été réalisée par la technique gravimétrique.

L'étude sur le comportement du phénomène de corrosion sur l'acier C1020, les tests de corrosion effectués dans les différents milieux (NaCl, HCl, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> à 1% 2% 3% 4% 5%) pendant 3h ont montrés que l'acier se corrode à des proportions variables.

Les résultats obtenus ont montré que l'augmentation de la concentration de l'extrait affecte l'efficacité inhibitrice.

En milieu H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, les résultats obtenus ont montré que ces extraits inhibent de manière satisfaisante. En effet, le suivi de la perte de masse de l'acier en fonction du différentes concentrations a révélé que l'ajout de l'extrait de noyaux d'Olive, dans les solutions corrosives de (NaCl, HCl, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) pendant 3h fait varier l'efficacité inhibitrice.

Ce phénomène peut être interprété par l'augmentation de l'efficacité inhibitrice de l'extrait de noyaux d'Olive et que ce comportement pourrait être attribué à la forte interaction des inhibiteurs avec la surface du métal.

L'étude gravimétrique a montré que la présence de l'extrait de la plante de noyaux d'Olive dans les milieux de (NaCl, HCl, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) à différentes concentrations fait augmenté l'efficacité inhibitrice en augmentons la concentration de l'extrait.

Ce résultat nous laisse penser que l'extrait de noyaux d'Olive dans le milieu acide et salin à 1% ,2, 3%,4% ,5% est efficace.

La technique gravimétrique a révélé aussi une efficacité importante pour la protection de l'acier C1020 par notre inhibiteur.

Une étude isotherme d'adsorption pour l'efficacité de l'extrait : pour les trois milieux a donné que, l'efficacité de l'inhibiteur augmentent avec la concentration et dépend avec les milieux de différentes concentrations.

L'application d'étude isotherme indique que le type d'adsorption est adsorption physique grâce à l'isotherme de Langmuir.

Cette étude de l'isotherme d'adsorption a complété l'étude expérimentale ce qui nous a permis de trouver l'efficacité optimale et l'efficacité inhibitrice est améliorée, ces résultats est également confirmé par une étude expérimentale.