



UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA



Faculté des Sciences appliquées

Département de Génie des Procédés

Mémoire

MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et Technique

Filière : Génie des Procédés

Spécialité : Génie Pétrochimie

Présenté Par :

Bokhari Med Islam & Guendafa Yacine Idir

**Thème :**

*Etude de l'effet inhibiteur de corrosion de l'huile  
essentielle de Ruta chalepensis*

**Soutenu publiquement**

**Devant le jury composé de :**

Président

M<sup>r</sup> SELLOUM Djamel

MCA (UKM Ouargla)

Examineur

M<sup>r</sup> TABCHOUCHE Ahmed

MCB (UKM Ouargla)

Encadreur

M<sup>me</sup> GHIABA Zineb

Professeur (UKM Ouargla)

**Année Universitaire : 2020/2021**

**Remerciements :**

*Notre remerciement Avant tout, louange à « ALLAH » qui nous a  
donnés la force, le courage et la patience de mettre ce modeste  
Travail.*

*Ce mémoire n'aurait pas été possible sans l'intervention, Consciente,  
d'un grand nombre de personnes.*

*Nous souhaitons ici les en remercier.*

*Nous tenons d'abord à remercier très chaleureusement Pr. Zineb  
Ghiaba*

*Qui nous a permis de bénéficier de son encadrement.*

*Les conseils qu'il nous a prodigué, la patience, la confiance qu'il  
Nous a témoignés ont été déterminants dans la réalisation de notre  
travail de recherche.*

*Tous les professeurs du département de génie des procédés, à qui l'on  
doit tout le respect.*

*Tous les membres du jury, d'avoir accepté de porter un jugement sur  
ce travail.*

*A l'élaboration de ce mémoire (CRAPC )*

## **Dédicaces :**

*Tout plein de joies que je dédie ce modeste travail à  
ceux qui m'ont été une source D'inspiration, de volonté  
et encouragement durant Toute la période des études*

*A ma très chère mère.*

*Mon exemple de vie mon très cher père*

*Je dédie également à mes chères sœurs et mes frères et  
toute ma famille.*

*À tous mes amis, Et tous mes collègues Et aussi mon  
binôme et sa famille Bokhari.*

*Et mon encadreur pour son aide. À toute personne, qui  
m'a aidé à*

*Réaliser ce travail, de près ou de loin.*

*Guendafa Yassine Idir*

## *Dédicaces :*

*Je dédie ce modeste mémoire : à ma mère qu'ont été les  
bougies allumant mon chemin vers la réussite ; pour  
leur bonté leur générosité et encouragement.*

*Aussi je dédie ce travail A Mon frère : YOUNES.*

*A Mes sœurs : RYM, NOUR EL HOUDA.*

*Et toute la famille & Mes amis*

*Mon binôme : GUENDAFI YACINE IDIR À mon  
encadreur : Pr. GHIABA Zineb En fin, à tous ceux qui  
m'aime*

*Bokhari Mohamed Islam*

**Résumé :** La corrosion est un problème industriel important et cause un grand préjudice à l'économie mondiale. L'utilisation des inhibiteurs est une des méthodes les plus fréquemment employées pour protéger les métaux contre la corrosion en particulier en milieu acide. L'utilisation des huiles essentielles comme inhibiteur de la corrosion en solution a été largement plébiscitée au cours des raisons d'écotoxicité. Dans cette optique nous nous sommes intéressés à l'application des produits Naturels non toxiques comme inhibiteurs de corrosion : Ces produits sont utilisés sous forme d'huiles essentielles. Dans le cadre de notre travail. Nous avons étudié t par la gravimétrie, le comportement de l'inhibition de la corrosion du fer en milieu acide Sulfurique 0.5 M par l'huile essentielle de *Ruta chalepensis*. Cette étude a été réalisée grâce à l'ajout de différentes concentrations d'huile essentielle. Les HE obtenues par l'entraînement à la vapeur de l'eau, avec rendement de 0.5 %. Les résultats obtenus ont montré que l'efficacité inhibitrice augmente avec l'augmentation de la concentration pour atteindre une valeur maximale de 41..74 % à 1 g/l de l'huile essentielle à 70°C.

**Mots-clés :** Huile essentielle ; *Ruta chalepensis* L, Corrosion ; Inhibiteur ; Acidesulfurique ; efficacité inhibitrice

**Abstract:** Corrosion is a major industrial problem and causes great damage to the world economy. The use of inhibitors is one of the most frequently used methods to protect metals against corrosion, particularly in acidic environments. The use of essential oils as a corrosion inhibitor in solution has been widely acclaimed for reasons of ecotoxicity. With this in mind, we are interested in the application of non-toxic Natural products as corrosion inhibitors: These products are used in the form of essential oils. As part of our work. We studied t by gravimetry the behavior of the inhibition of iron corrosion in 0.5 M sulphuric acid medium by the essential oil of *Ruta chalepensis*. this study was carried out by adding different concentrations of essential oil. the EO obtained by steam stripping the water, with a yield of 0.5%. The results obtained showed that the inhibitory efficiency increases with increasing concentration to reach a maximum value of 41..74% at 1 g / l of the essential oil at 70 ° C.

**Keywords:** Essential oil; *Ruta chalepensis* L; Corrosion; Inhibitor; Sulfuric acid; inhibitory effectiveness

**ملخص:** التآكل هو مشكلة صناعية كبرى ويسبب ضررا كبيرا للاقتصاد العالمي. يعد استخدام المثبطات أحد أكثر الطرق استخدامًا لحماية المعادن من التآكل، خاصة في البيئات الحمضية. وقد تم الإشادة على نطاق واسع باستخدام الزيوت الأساسية كمثبط للتآكل في المحلول لأسباب تتعلق بالسمية البيئية. ومع أخذ ذلك في الاعتبار، لقد اهتمنا بتطبيق المنتجات الطبيعية غير السامة كمثبطات للتآكل: تستخدم هذه المنتجات على شكل زيوت عطرية. كجزء من عملنا. درسنا بواسطة قياس فقد الكتلة سلوك تثبيط تآكل الحديد في وسط حامض الكبريتيك 0.5 مولاري بواسطة الزيت العطري لنبات *Ruta chalepensis*. أجريت هذه الدراسة بإضافة تراكيز مختلفة من الزيت العطري. يتم الحصول على زيت عن طريق البخار الماء، بمعدل 0.5%. أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أن الكفاءة المثبطة تزداد مع زيادة التركيز لتصل إلى قيمة قصوى تبلغ 41..74% عند 1 غ / لتر من الزيت العطري عند 70 درجة مئوية.

**الكلمات الرئيسية:** زيت عطري؛ *Ruta chalepensis* L ؛ تآكل؛ حمض الكبريتيك ؛ فعالية مثبطة

## Listes des titres :

<b>Tires</b>	<b>Page</b>
<b>Remerciement</b>	/
<b>Dédicaces</b>	/
<b>Résumé</b>	/
<b>Sommaire</b>	/
<b>Liste des Tableaux</b>	/
<b>Liste des figure</b>	/
<b>Chapitre : Introduction générale</b>	
<b>Introduction</b>	<b>1</b>
<b>Chapitre I : Synthèse bibliographique</b>	
<b>Partie I : Généralité sur la corrosion &amp; Lutte contre la corrosion par l'utilisation d'inhibiteur</b>	<b>3</b>
<b>I.1. Introduction</b>	<b>3</b>
<b>I.2. Généralité sur la corrosion</b>	<b>3</b>
<b>I.2.1. Définition de la corrosion</b>	<b>3</b>
<b>I.2.2. Les facteurs de corrosion</b>	<b>4</b>
<b>Effet de la température</b>	<b>4</b>
<b>Effet de l'acidité</b>	<b>4</b>
<b>Régime hydrodynamique</b>	<b>5</b>
<b>La salinité</b>	<b>5</b>
<b>I.2.3. Les formes de corrosion</b>	<b>5</b>
<b>a) Corrosion uniforme (généralisée)</b>	<b>5</b>
<b>b) Corrosion localisé</b>	<b>6</b>
<b>c) Corrosion galvanique (corrosion bimétallique)</b>	<b>6</b>
<b>d) Corrosion par piqûre</b>	<b>7</b>
<b>e) La corrosion sous contrainte</b>	<b>8</b>
<b>f) La corrosion caverneuse</b>	<b>8</b>
<b>g) la corrosion inter granulaire</b>	<b>8</b>
<b>h) la corrosion sélective</b>	<b>9</b>
<b>i) la corrosion érosion</b>	<b>9</b>
<b>Partie II : Lutte contre la corrosion par l'utilisation d'inhibiteur</b>	<b>10</b>
<b>II.1. Introduction</b>	<b>10</b>
<b>II.2. Définition</b>	<b>10</b>
<b>II.3. Propriétés des inhibiteurs</b>	<b>10</b>
<b>Les classes d'inhibiteurs</b>	<b>10</b>
<b>Structure d'inhibiteurs</b>	<b>11</b>
<b>Efficacité d'un inhibiteur</b>	<b>11</b>
<b>Domaines d'utilisations</b>	<b>12</b>

## Table des matières

Nature des molécules de l'inhibiteur	12
Les inhibiteurs organiques	12
Les inhibiteurs minéraux	12
Mode d'action d'un inhibiteur	12
<b>Chapitre II : Techniques et matériels usitées</b>	
Partie I : Extraction des huiles essentielles	13
I.1.Définition des huiles essentielles	13
I.2.Extraction des huiles essentielles	14
Méthode pondérale (méthode de la perte de poids)	15
Avantage de la méthode pondérale	16
Inconvénients de la méthode pondérale	16
Partie II : Synthèse expérimentale	17
Inhibiteurs	17
Présentation de l'espèce <i>Ruta chalepensis</i>	17
Description générale	17
Systématique de <i>Rutachalepensis</i>	18
Noms vernaculaires de l'espèce	18
Caractéristiques des différentes parties de la plante	18
Compositions des inhibiteurs	20
Produits et matériaux	21
Préparation de l'échantillon de l'acier	22
Les compositions chimiques de l'acier (X70)	21
Produits chimiques utilisés	21
Préparation des solutions utilisées	22
Les milieux corrosifs	22
Les matériaux	23
Mode opératoire	23
Préparation des surfaces	23
Polissage	23
Mesure de la masse	24
Mesure de la surface	25
<b>Chapitre III : Résultats et discussions</b>	
Méthode pondérale (méthode de la perte de poids)	26
Etape (01) sans inhibiteur	26
$t = 0 \rightarrow m_0 = 19,7997 \text{ g}$	28
Etape (02) avec inhibiteur	35
À $T = 30 \text{ °C}$ et temps = 1 heure	37
À $T = 40 \text{ °C}$	37
À $T = 50 \text{ °C}$	39

*Table des matières*

---

À T = 60 °C	41
À T = 70 °C	43
À T = 80 °C	45
<b>Chapitre IV : Conclusion générale</b>	
<b>Conclusion</b>	<b>48</b>
<b>Références Bibliographie</b>	<b>49</b>
<b>Annexes</b>	<b>51</b>



## Listes des figures :

Tires	Page
<b>Chapitre I : Synthèse bibliographique</b>	
<b>Figure I.1:</b> la corrosion uniforme	<b>5</b>
<b>Figure I.2 :</b> la corrosion galvanique	<b>6</b>
<b>Figure I.3 :</b> Représentation schématique d'une pile de corrosion	<b>6</b>
<b>Figure I.4 :</b> la corrosion par piqures	<b>7</b>
<b>Figure I.5 :</b> Amorçage (a) et propagation (b) d'une piqure	<b>7</b>
<b>Figure I.6 :</b> la corrosion sous contrainte	<b>8</b>
<b>Figure I.7 :</b> la corrosion caverneuse	<b>8</b>
<b>Figure I.8 :</b> la corrosion inter granulaire	<b>9</b>
<b>Figure I.9 :</b> la corrosion sélective	<b>9</b>
<b>Figure I.10 :</b> la corrosion érosion	<b>9</b>
<b>Figure I.11 :</b> Classement des inhibiteurs de corrosion	<b>11</b>
<b>Chapitre II : Techniques et matériels usitées</b>	
<b>Figure II.1 :</b> l'extraction des huiles essentielles par Clevenger	<b>14</b>
<b>Figure II.2 :</b> Dispositif Expérimental de la technique de masse perdue	<b>15</b>
<b>Figure II.3 :</b> Photographies de <i>Rutachalepensis</i>	<b>17</b>
<b>Figure II.4 :</b> Pourcentage des Compostions inhibiteurs	<b>20</b>
<b>Figure II.5 :</b> Echantillon de l'acier (X70)	<b>21</b>
<b>Figure II.6 :</b> solution corrosive utilisées	<b>22</b>
<b>Figure II.7 :</b> l'opération de polissage	<b>24</b>
<b>Figure II.8 :</b> Balance analytique	<b>24</b>
<b>Figure II.9 :</b> Dimensions de l'acier	<b>25</b>
<b>Figure II.10 :</b> expliquer le pied capillaire	<b>25</b>
<b>Chapitre III : Résultats et discussions</b>	
<b>Figure III.1 :</b> évaluation de perte de masse de corrosion en fonction de temps en milieu acide H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (0,5M) en absence d'inhibiteur à T 25°C	<b>27</b>
<b>Figure III.2 :</b> évaluation de perte de masse de corrosion en fonction de temps en milieu acide H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (0,5M) en absence d'inhibiteur à T 25°C.	<b>28</b>
<b>Figure III.3 :</b> évaluation de perte de masse de corrosion en fonction de Température en milieu acide H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (0,5M) en absence d'inhibiteur	<b>30</b>
<b>Figure III.4 :</b> la vitesse de corrosion d'acier (X70) en fonction du temps en milieu acide H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (0,5M) en absence d'inhibiteur	<b>31</b>

## *Table des matières*

<b>Figure III.5</b> : la vitesse de corrosion d'acier (X70) en fonction du temps en milieu acide H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (0,5M) en absence d'inhibiteur	<b>32</b>
<b>Figure III.6</b> : de la vitesse de corrosion d'acier (X70) en fonction de la température en milieu acide H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (0,5M) en absence d'inhibiteur	<b>33</b>
<b>Figure III.7</b> : évaluation de perte de masse de corrosion en fonction de concentration de l'inhibiteur en milieu acide H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (0.5 M)	<b>36</b>
<b>Figure III.8</b> : évaluation de la vitesse de corrosion en fonction de concentration de l'inhibiteur en milieu acide H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (0.5 M)	<b>36</b>
<b>Figure III.9</b> : évaluation de perte de masse de corrosion en fonction de concentration de l'inhibiteur en milieu acide H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (0.5 M)	<b>38</b>
<b>Figure III.10</b> : évaluation de la vitesse de corrosion en fonction de concentration de l'inhibiteur en milieu acide H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (0.5 M)	<b>38</b>
<b>Figure III.11</b> : évaluation de la vitesse de corrosion en fonction de concentration de l'inhibiteur en milieu acide H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (0.5 M)	<b>40</b>
<b>Figure III.12</b> : évaluation de la vitesse de corrosion en fonction de concentration de l'inhibiteur en milieu acide H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (0.5 M)	<b>40</b>
<b>Figure III.13</b> : évaluation de la vitesse de corrosion en fonction de concentration de l'inhibiteur en milieu acide H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (0.5 M)	<b>42</b>
<b>Figure III.14</b> : évaluation de la vitesse de corrosion en fonction de concentration de l'inhibiteur en milieu acide H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (0.5 M)	<b>42</b>
<b>Figure III.15</b> : évaluation de la vitesse de corrosion en fonction de concentration de l'inhibiteur en milieu acide H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (0.5 M)	<b>44</b>
<b>Figure III.16</b> : évaluation de la vitesse de corrosion en fonction de concentration de l'inhibiteur en milieu acide H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (0.5 M)	<b>44</b>
<b>Figure III.17</b> : évaluation de la vitesse de corrosion en fonction de concentration de l'inhibiteur en milieu acide H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (0.5 M)	<b>46</b>
<b>Figure III.18</b> : évaluation de la vitesse de corrosion en fonction de concentration de l'inhibiteur en milieu acide H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (0.5 M)	<b>46</b>

## Listes des Tableaux :

Tires	Page
<b>Chapitre I : Synthèse bibliographique</b>	
<b>Tableau I.1</b> : Les principaux facteurs de corrosion	<b>4</b>
<b>Chapitre II : Techniques et matériels usitées</b>	
<b>Tableau II.1</b> : Classification taxonomique de <i>Rutachalepensis</i> .	<b>18</b>
<b>Tableau II.2</b> : Principaux noms vernaculaires de <i>Rutachalepensis</i>	<b>18</b>
<b>Tableau II.3</b> : Principales caractéristiques des différentes parties de <i>Rutachalepensis</i>	<b>19</b>
<b>Tableau II.4</b> : La composition chimique de l'acier (X70)	<b>21</b>
<b>Tableau II.5</b> : les produits chimiques utilisé.	<b>22</b>
<b>Chapitre III : Résultats et discussions</b>	
<b>Tableau III.1</b> : les valeurs expérimentales de perte de masse d'acier (X70) en fonction du temps en milieu acide H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (0,5M) en absence d'inhibiteur à (T = 25°C).	<b>26</b>
<b>Tableau III.2</b> : les valeurs expérimentales de perte de masse d'acier (X70) en fonction du temps en milieu acide H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (0,5M) en absence d'inhibiteur à (T = 25°C).	<b>28</b>
<b>Tableau III.3</b> : les valeurs expérimentales des pertes de masse d'acier (X70) en fonction du temps en milieu acide H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (0,5M) en absence d'inhibiteur à T = [30,40, 50, 60, 70,80] °C.	<b>30</b>
<b>Tableau III.4</b> : les valeurs expérimentales de la vitesse de corrosion d'acier (X70) en fonction du temps en milieu acide H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (0,5M)) en absence d'inhibiteur à (T = 25°C)	<b>31</b>
<b>Tableau III.5</b> : les valeurs expérimentales de la vitesse de corrosion d'acier (X70) en fonction du temps en milieu acide H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (0,5M)) en absence d'inhibiteur à (T = 25°C).	<b>32</b>
<b>Tableau III.6</b> : les valeurs expérimentales de la vitesse de corrosion d'acier (X70) en fonction de la température en milieu acide H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (0,5M) en absence d'inhibiteur	<b>33</b>

## *Table des matières*

---

<b>Tableau III.7</b> : Les valeurs expérimentales de perte de masse et la vitesse de corrosion d'acier (X70) en milieu H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (0,5M) avec d'inhibiteur à T= 30°C.	<b>35</b>
<b>Tableau III.8</b> : Les valeurs expérimentales de perte de masse et la vitesse de corrosion d'acier (X70) en milieu acide H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (0,5M) avec d'inhibiteur à T= 40°C	<b>37</b>
<b>Tableau III.9</b> : Les valeurs expérimentales de perte de masse et la vitesse de corrosion d'acier (X70) en milieu acide H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (0,5M) avec d'inhibiteur à T 50°C	<b>39</b>
<b>Tableau III.10</b> : Les valeurs expérimentales de perte de masse et la vitesse de corrosion d'acier (X70) en milieu acide H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (0,5M) avec d'inhibiteur à T 60°C	<b>41</b>
<b>Tableau III.11</b> : Les valeurs expérimentales de perte de masse et la vitesse de corrosion d'acier (X70) en milieu acide H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (0,5M) avec d'inhibiteur à T 70°C	<b>43</b>
<b>Tableau III.12</b> : Les valeurs expérimentales de perte de masse et la vitesse de corrosion d'acier (X70) en milieu acide H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (0,5M) avec d'inhibiteur à T 80°C	<b>45</b>

**Liste des abréviations :**

<b>Codes</b>	<b>Signification</b>
<b>C</b>	<b>concentration.</b>
<b>°C</b>	<b>Degré.</b>
<b>g</b>	<b>Gramme.</b>
<b>g/MI</b>	<b>Gramme par mililtre.</b>
<b>m</b>	<b>Masse.</b>
<b>M</b>	<b>Masse molaire.</b>
<b>Mol / L</b>	<b>Moles par litre.</b>
<b>Mg</b>	<b>Milligramme.</b>
<b>MI</b>	<b>Millilitre</b>
<b>R</b>	<b>Rendement</b>
<b>T</b>	<b>Température</b>
<b>V</b>	<b>volume.</b>
<b>S</b>	<b>Surface</b>
<b>H Es</b>	<b>Les huiles essentielles</b>

**Chapitre :**

**Introduction**

## **Introduction**

Le problème de corrosion a pris de nos jours une importance considérable parce que la corrosion est un phénomène universellement connu qui entraîne chaque année des pertes matérielles considérables, directes et indirectes, Plus grave encore, la corrosion peut causer des dommages irréversibles à l'environnement, étant donnée l'utilisation des métaux et la présence quasi universelle de l'eau dans la terre.

La corrosion est l'altération des métaux provoquée par l'action du milieu environnant et consiste plus précisément en un processus spontané d'interface de nature chimique ou électrochimique. Ces phénomènes d'altération engendrent une dégradation rapide des ouvrages métalliques. Les conséquences sont importantes dans divers domaines et en particulier dans l'industrie : arrêt de production, remplacement des pièces corrodées, accidents et risques de pollutions sont des événements fréquents avec parfois de lourdes incidences économiques [1].

Les méthodes de prévention contre la corrosion sont variées. Le choix d'une méthode appropriée doit vérifier non seulement les exigences technologiques on utilise. Ce travail est l'étude la corrosion de l'acier (X70) par l'utilisation d'inhibiteur de corrosion.

Le travail que nous présentons dans ce mémoire est subdivisé en deux chapitres principaux et une conclusion générale, le premier chapitre concerne une synthèse bibliographique, composée de trois Partie contenant respectivement :

Partie I « généralité sur la corrosion » consiste à la bibliographie de la corrosion, les facteurs provoquant de la corrosion et ces différentes formes, et les type de corrosion, Importance de la corrosion.

Partie II « Les inhibitions de corrosion » on parle dans cette partie sur les méthodes de protection contre la corrosion et le mode d'action.

Partie III « Techniques et matériels utilisées » on fait dans ce partie généralités sur Les méthodes d'évaluation de la corrosion.

Le deuxième chapitre : Synthèse expérimentale est subdivisé en deux

Partie I « Procédés expérimentaux » cette partie résumé tous les appareils, les produits chimiques (acides, ...), les inhibiteurs et toutes les conditions qui nous avons utilisée dans ce travail,

Partie II « Résultats expérimentaux et discussion » ce partie résume ce travail, et en globe tous les résultats obtenus, calculées, et leurs explications, et nous avons terminé ce chapitre par des résultats généraux.

Ce travail se termine par une conclusion générale résumant l'essentiel des résultats et les perspectives à entreprendre pour approfondir l'étude.



**Chapitre I :**

**Synthèse  
Bibliographique**

Ce chapitre a pour but de cadrer le sujet et de présenter la problématique du sujet traité.

Dans un premier temps, une brève synthèse sur les généralités de la corrosion et son inhibition est abordée, suivie de la description des méthodes de protection usuelles. En fin une bibliographie est présentée sur l'application des inhibiteurs verts dans la lutte contre la corrosion.

## **Partie I : Généralité sur la corrosion & Lutte contre la corrosion par l'utilisation d'inhibiteur**

### **I.1. Introduction :**

De nombreuses études ont été et continuent d'être menées dans différentes industries chimiques afin de mieux comprendre les mécanismes de corrosion pour mieux les protéger [1].

Parallèlement aux études de corrosion, plusieurs méthodes de protection sont applicables selon le milieu agressif qui ont tous l'objectif de ralentir la vitesse de corrosion. 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 [2].

Ce chapitre est consacré à une synthèse bibliographique sur le phénomène de corrosion et les méthodes de protection appliquées. Une revue bibliographique est également, présentée sur l'application des inhibiteurs verts dans la lutte contre la corrosion.

### **I.2. Généralité sur la corrosion :**

#### **I.2.1. Définition de la corrosion :**

La définition de la corrosion établie par la norme internationale ISO 8044 montre qu'il s'agit d'une 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 de système technique constitué par les deux facteurs [3]. Comme tous autres phénomènes, les phénomènes de corrosion obéissent à des lois thermodynamiques où le métal a tendance à retourner à son état d'origine, c'est-à-dire le retour du métal aux formes plus stables sous lesquelles il existe dans la nature [4].

Ceci provient de fait qu'à l'exception des métaux nobles (or, platine) qui se trouvent à l'état natif, la majorité des métaux se trouvent sur terre à l'état minérale des oxydes, sulfures, carbonates et silicates [5].

### I.2.2. Les facteurs de corrosion :

Les phénomènes de 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.

Facteurs du milieu Corrosif	Facteurs métallurgiques	Facteurs définissant les conditions d'emploi	Facteurs dépendant de temps
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Concentration du 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>• Procédés d'élaboration</li> <li>• Impuretés</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>• Procédés d'assemblage</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vieillessement</li> <li>• Tension mécanique</li> <li>• Modification des revêtements protecteurs</li> </ul>

La vitesse de corrosion d'un métal dans un milieu corrosif dépend à la fois des caractéristiques des deux paramètres, la température et le pH. Ils ont une influence directe sur la vitesse de corrosion, et une influence indirecte à travers la phase aqueuse (eau de condensation, eau de production). Les conditions de flux, le film formé à la surface du métal et la pression ont une influence directe à travers la pression partielle du CO<sub>2</sub> [6,7].

#### Effet de la température :

Généralement, l'augmentation de la température accélère les phénomènes de corrosion, car elle diminue les domaines de stabilité des métaux et accélère les cinétiques de réactions et de transport. L'importance de son influence diffère cependant en fonction du milieu corrosif dans laquelle se trouve le matériau [8].

#### Effet de l'acidité :

La susceptibilité du matériau à la corrosion est en fonction de pH de l'électrolyte. Une forte concentration en protons dans la solution augmente l'agressivité du milieu, ce qui modifie les équilibres des réactions chimiques et électrochimiques. La corrosion augmente avec la diminution de pH du milieu [9].

**Régime hydrodynamique :**

Le transport des réactifs vers l'interface et des produits de réaction 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 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 [10].

**La salinité :**

Les chlorures sont des ions agressifs, souvent à l'origine de corrosion localisée, leur présence en solution s'accompagne d'effets complémentaires, d'une part, leur concentration locale induit une acidification du milieu et d'autre part, la salinité une influence sur la conductivité du milieu [8].

**I.2.3. Les formes de corrosion :**

Le processus de corrosion des métaux prend quelques nombreuses formes, qui sont classées principalement selon la forme qui se manifeste à la surface corrodée.

**a) Corrosion uniforme (généralisée) :**

On parle de corrosion uniforme lorsque toute la surface du métal en contact avec la solution est attaquée de la même façon. Elle se traduit par une dissolution uniforme de la surface métallique en contact avec l'agent agressif [11]. Cette forme de corrosion du matériau se développe dans les milieux acides ou alcalins.



**Figure I.1 :** la corrosion uniforme

**b) Corrosion localisé :**

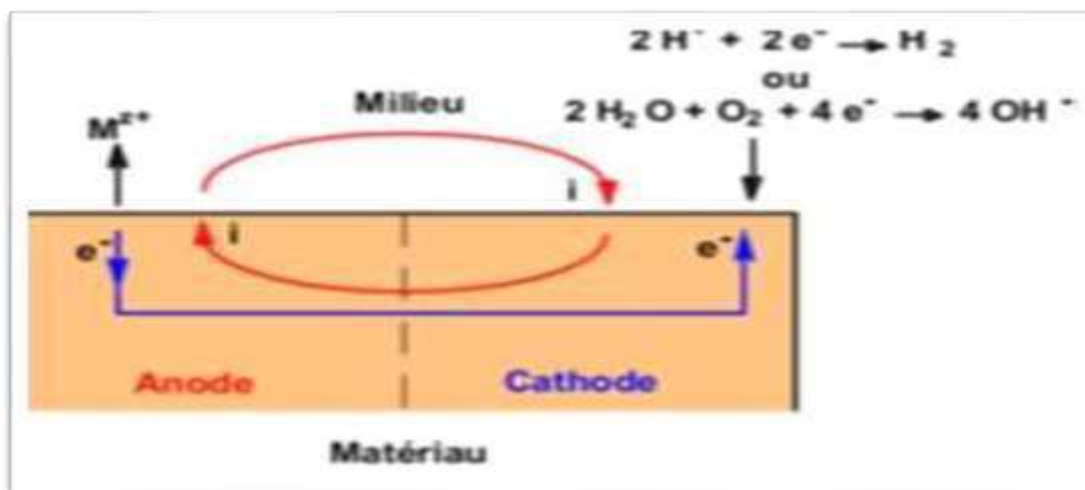
Ce phénomène survient au contraire lorsque le matériau est mis en présence d'un environnement présentant vis à vis de lui un comportement sélectif. Cette sélectivité peut avoir des origines multiples tant au niveau du matériau (alliage hétéro phase, présence d'inclusions, protection de surface localement défectueuse, matériau bimétallique...) qu'au niveau de l'environnement (variation locale de composition, de pH ou de température) [12]. Cette forme de corrosion s'effectue dans quelques points de la surface d'un matériau [13].

**c) Corrosion galvanique (corrosion bimétallique) :**

C'est l'une des formes les plus courantes de corrosion en milieu aqueux. Elle est due à la formation d'une pile électrochimique entre deux matériaux dans laquelle une des électrodes (l'anode) se consomme au bénéfice de l'autre (la cathode) qui reste intacte. Cette sélectivité des réactions est due à une hétérogénéité provenant soit du matériau, soit du milieu ou des conditions physicochimiques et thermodynamiques à l'interface [12-14].



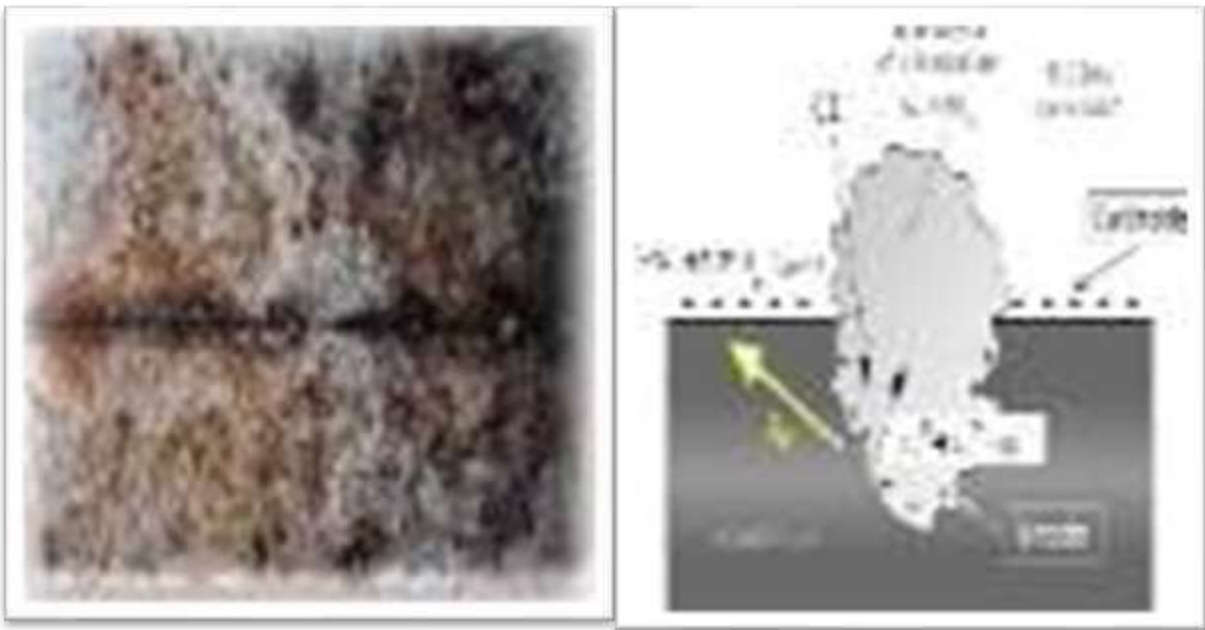
**Figure I.2 :** la corrosion galvanique.



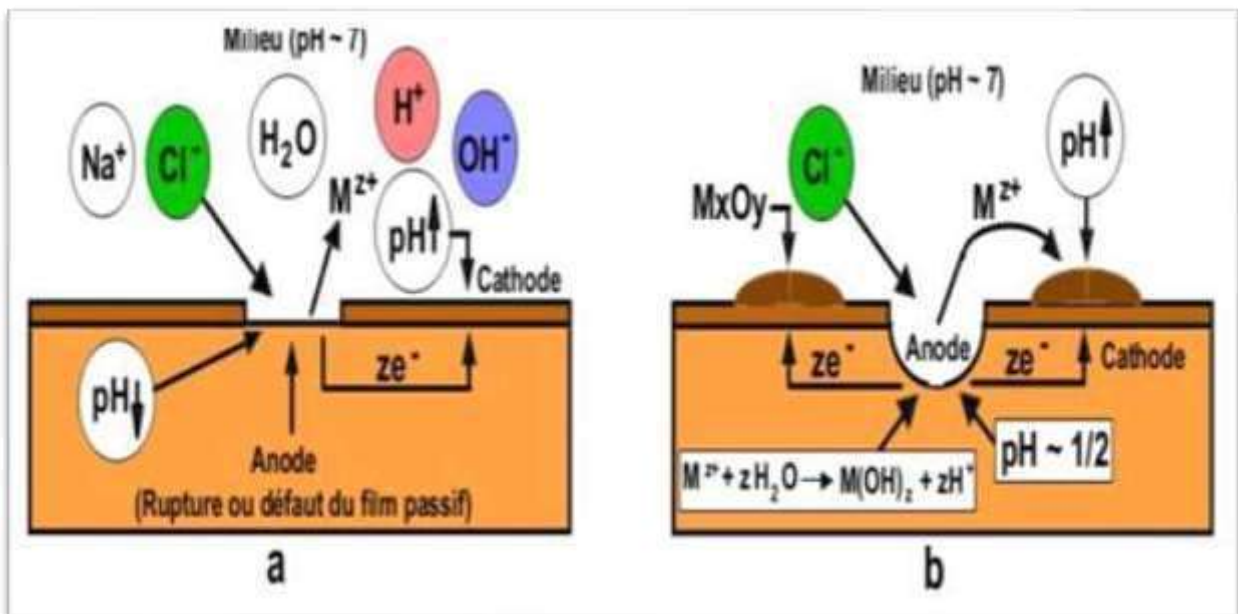
**Figure I.3 :** Représentation schématique d'une pile de corrosion.

**d) Corrosion par piqûre :**

Elle se produit quand les métaux protégés par un film d'oxyde mince comme l'aluminium et ses alliages et les aciers inoxydables sont mis en contact avec un milieu aqueux (pour un pH voisin de la neutralité) contenant les halogénures, notamment le chlorure  $Cl^-$ . La quantité de métal corrodé est très faible, elle introduit des cavités de quelques dizaines de micromètres de diamètre à l'intérieur du matériau à partir d'une ouverture de faible surface. On distingue deux étapes dans le processus de corrosion par piqûre, l'amorçage qui se produit lors de la rupture locale de la passivité et la croissance ou propagation [12, 13,15].



**Figure I.4 :** la corrosion par piqûres



**Figure I.5 :** Amorçage (a) et propagation (b) d'une piqûre [12].



**e) La corrosion sous contrainte :**

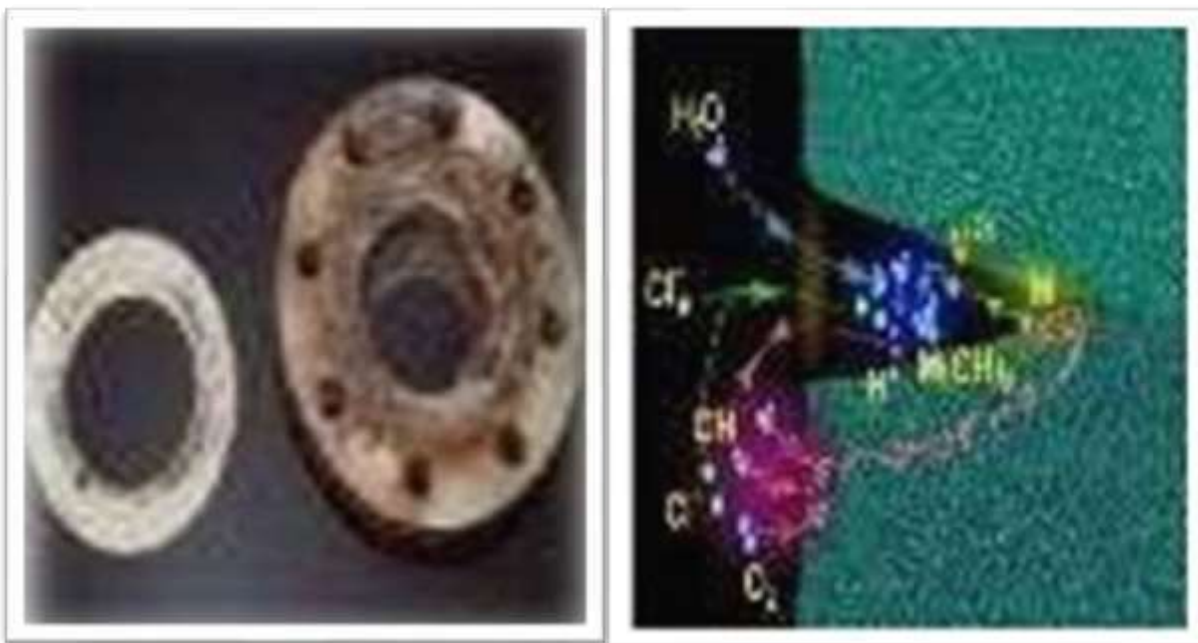
Cette forme est une fissuration du métal qui résulte de l'action commune d'une contrainte mécanique et d'une réaction électrochimique.



**Figure I.6 :** la corrosion sous contrainte

**f) La corrosion caverneuse :**

La corrosion caverneuse qui est observée lorsqu'il y a infiltration d'une solution entre deux parties d'un assemblage.



**Figure I.7 :** la corrosion caverneuse

**g) la corrosion inter granulaire :**

Est une attaque sélective aux joints de grains. Souvent, il s'agit de phases qui ont précipité lors d'un traitement thermique.

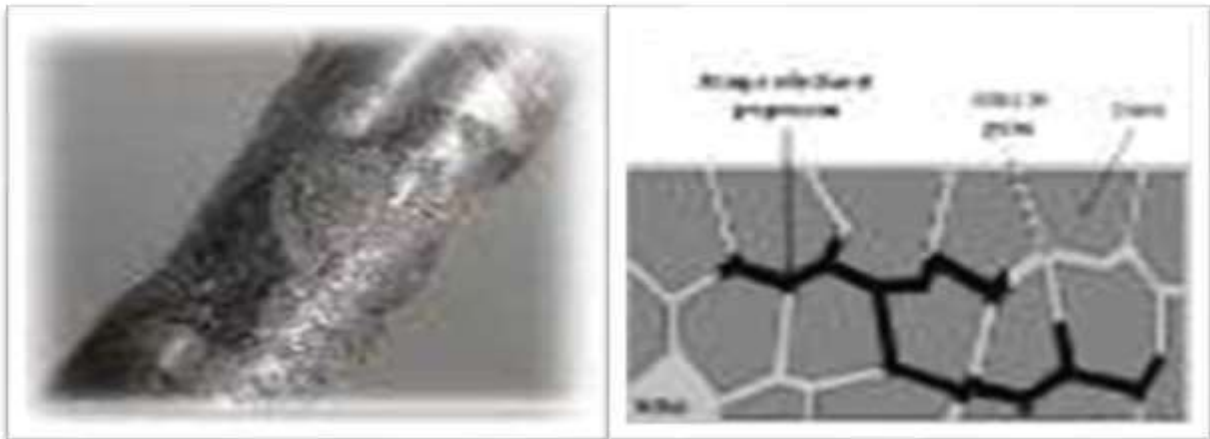


Figure I.8 : la corrosion inter granulaire

**h) la corrosion sélective :**

Est l'oxydation d'un composant de l'alliage, conduisant à la formation d'une structure métallique poreuse.

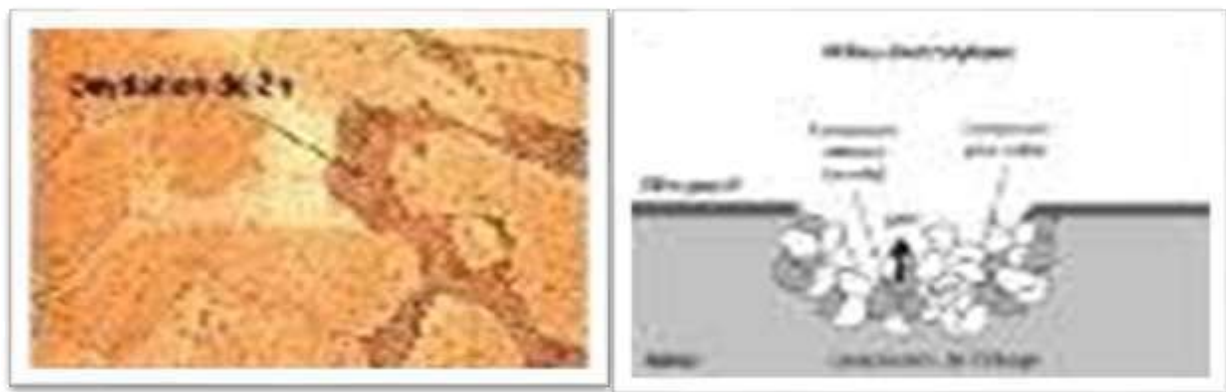


Figure I.9 : la corrosion sélective

**i) la corrosion 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 d'un fluide.

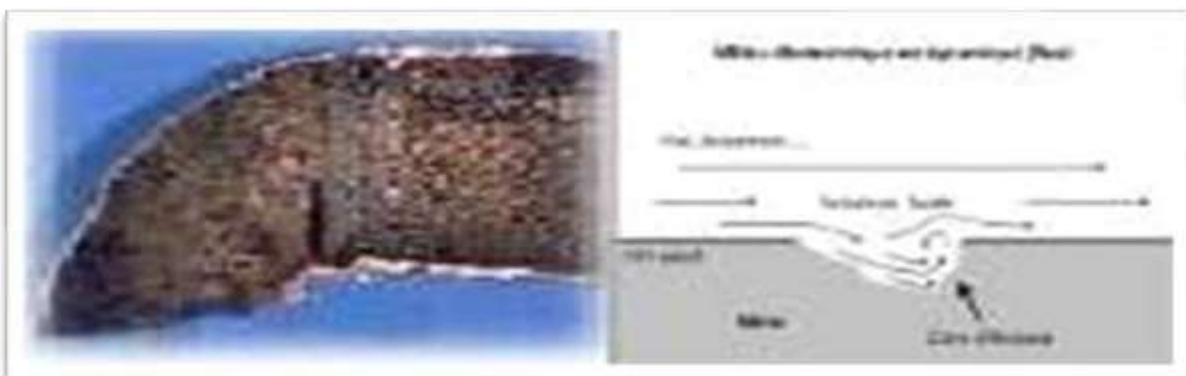


Figure I.10 : la corrosion érosion



## **Partie II : Lutte contre la corrosion par l'utilisation d'inhibiteur**

### **II.1. Introduction :**

En matière de protection contre la corrosion, il est possible d'agir sur le matériau lui-même, sur la surface du matériau ou sur l'environnement avec lequel le matériau est en contact (inhibiteurs de corrosion). 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 [16].

### **II.2. Définition :**

Un inhibiteur de corrosion est un composé chimique qui, ajouté à faible concentration au milieu corrosif ralentit ou stoppe le processus de corrosion d'un métal placé au contact de ce milieu [17].

### **II.3. Propriétés des inhibiteurs :**

Un inhibiteur de corrosion doit être :

- ✓ Non toxique.
- ✓ Stable et ne subit pas modifications au cours de l'exploitation.
- ✓ Efficace à faible concentration.

### **Les classes d'inhibiteurs :**

On peut classer les inhibiteurs de différentes façons (**Figure I.11**) :

- ✓ Par domaine d'application.
- ✓ Par réaction partielle.
- ✓ Par mécanisme réactionnel.

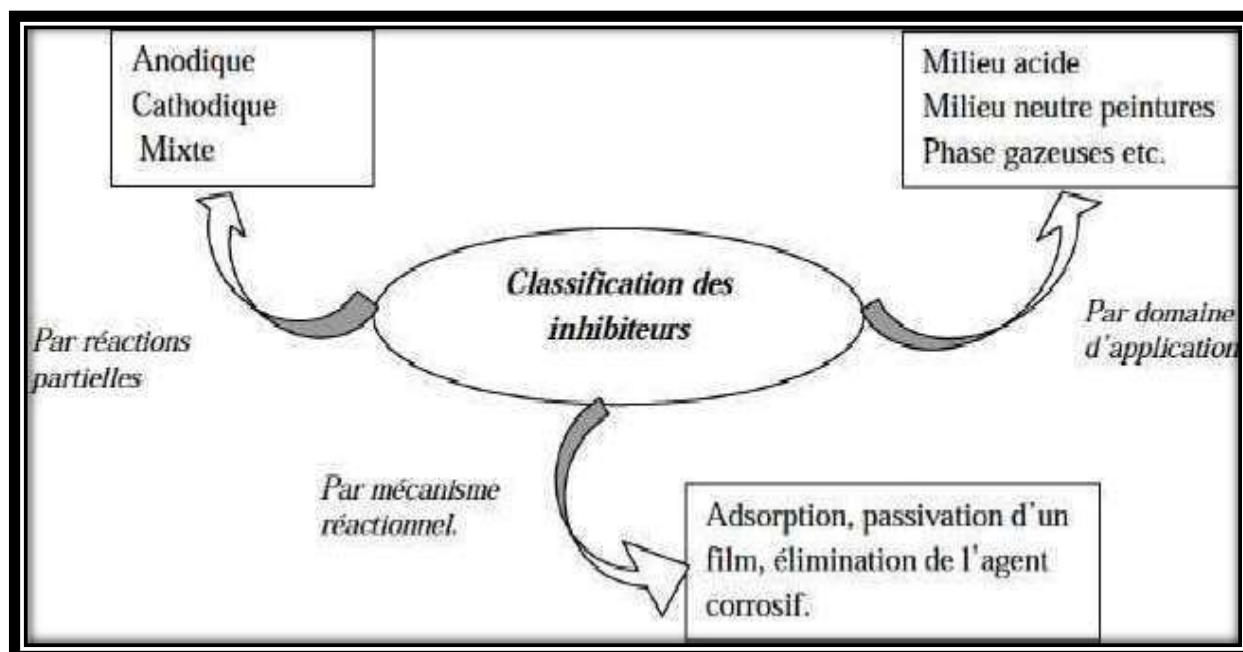


Figure I.11 : Classement des inhibiteurs de corrosion

- Soit à partir de la formulation des produits (inhibiteurs organiques ou minéraux).
- Soit à partir de leur mécanisme d'action électrochimique (inhibiteurs cathodiques, anodiques ou mixtes).
- Soit à partir de leurs mécanismes d'interface et principes d'action (adsorption à la surface du métal et/ou formation d'un film protecteur) [18].

### Structure d'inhibiteurs :

Pour qu'une espèce chimique quelconque puisse être susceptible d'avoir des caractéristiques inhibitrices en un milieu corrosif donné, elle doit contenir dans sa structure moléculaire une partie polaire (hydrophile) et une partie non polaire (hydrophobe). La partie polaire d'une structure d'un inhibiteur constituée d'un ou plusieurs hétéroatomes à une paire d'électrons libre tel qu'oxygène, azote, soufre, phosphore, ...etc. La partie non polaire doit être volumineuse, constituée principalement d'atomes de carbone et d'hydrogène.

### Efficacité d'un inhibiteur :

Un inhibiteur est efficace si son degré d'inhibiteur  $R$  (rendement d'inhibiteur) qui caractérise le ralentissement de la corrosion dû à la présence d'un inhibiteur est maximal.

$$R = (V_0 - V) / V_0$$

Où  $V_0$  et  $V$  désignent respectivement les vitesses de corrosion en absence et en présence de l'inhibiteur.

**Domaines d'utilisations :**

Les inhibiteurs ont plusieurs domaines traditionnels d'application : Le traitement des eaux (eaux sanitaires, eaux des procédés industriels, eaux de chaudières, etc.). L'industrie du pétrole : forage, extraction, raffinage, stockage et transport, etc... Les peintures où les inhibiteurs de corrosion sont des additifs assurant la protection anticorrosion des métaux [17].

**Nature des molécules de l'inhibiteur :****Les inhibiteurs organiques :**

Les molécules organiques sont promises à un développement plus que certain en termes d'inhibiteur de corrosion : leur utilisation est actuellement préférée à celle d'inhibiteurs inorganiques pour des raisons d'écotoxicité essentiellement. Les inhibiteurs organiques sont généralement constitués de sous-produits de l'industrie pétrolière.

Ils possèdent au moins un centre actif susceptible d'échanger des électrons avec le métal, tel l'azote, l'oxygène, le phosphore ou le soufre. Les groupes fonctionnels usuels, permettant leur fixation sur le métal, sont :

- ✓ Le radical amine(-NH<sub>2</sub>),
- ✓ Le radical mercaptan(-SH),
- ✓ Le radical hydroxyle(-OH),
- ✓ Le radical carboxyle(-COOH).

**Les inhibiteurs minéraux :**

Les molécules minérales sont utilisées le plus souvent en milieu proche de la neutralité, voire en milieu alcalin, et plus rarement en milieu acide. Les produits se dissocient en solutionnent ce sont leurs produits de dissociation qui assurent les phénomènes d'inhibition (anions ou cations). Les principaux anions inhibiteurs sont les oxo-anions de type XO<sub>4</sub><sup>n-</sup> tels les chromates, molybdates, phosphates, silicates, ... Les cations sont essentiellement Ca<sup>2+</sup> et Zn<sup>2+</sup> et ceux qui forment des sels insolubles avec certains anions tels que l'hydroxyle OH<sup>-</sup>. Le nombre de molécules en usage a l'heure actuelle va en se restreignant, car la plupart des produits efficaces présentent un côté néfaste pour l'environnement [17].

**Mode d'action d'un inhibiteur :**

D'une façon générale un inhibiteur protège la surface d'un métal contre la corrosion par la formation d'une couche protectrice. La nature et la composition de cette couche dépendent du milieu corrosif et du métal à protéger. Généralement d'inhibiteur se lie à la surface de métal par son groupement qui porte l'hétéroatome, alors que sa partie non polaire bloque partiellement la surface active de métal. Ce phénomène s'applique surtout dans solution acide.

# **Chapitre II :**

## **Techniques et matériels utilisés**

## **Partie I : Extraction des huiles essentielles :**

### **I.1. Définition des huiles essentielles :**

Ce sont des extraits volatiles et odorants que l'on extrait de certains végétaux par distillation à la vapeur d'eau, pressage ou incision des végétaux qui les contiennent. Elles se forment dans un grand nombre de plantes comme sous-produits du métabolisme secondaire. Les huiles essentielles sont des composés liquides très complexes. Elles ont des propriétés et des modes d'utilisation particuliers et ont donné naissance à une branche nouvelle de la phytothérapie qui est Paromathérapie (Benayad, 2008).

Au point de vue chimique, il s'agit de mélanges extrêmement complexes. Les Huiles essentielles (HIE) sont constituées de différents composants comme les terpènes, esters, cétones, phénols, et d'autres éléments (Benayad, 2008).

Les HE doivent leur nom à ce qu'elles sont très réfringentes, hydrophobes et lipophiles. Elles ne sont que très peu solubles ou pas du tout dans l'eau et on les retrouve dans le protoplasme sous forme d'émulsion plus ou moins stable qui tend à se collecter en gouttelettes de grosse taille. Par contre, elles sont solubles dans les solvants (acétone, sulfure de carbone, chloroforme, etc.) des lipides et, à l'inverse des glycérides, dans l'alcool (Benayad, 2008).

Mais à ces caractères de solubilité se limite la ressemblance avec les huiles grasses. Si les HIE forment une tache transparente sur le papier, celle-ci disparaît rapidement car les essences végétales sont très volatiles (contrairement aux résines qui, habituellement dissoutes dans les essences, laissent un résidu visqueux ou solide après évaporation des essences). Grâce à cette propriété, les essences végétales diffusent rapidement au travers des épidermes, même au travers des cuticules épaisses et se répandent dans l'atmosphère. Ce caractère, 20 associés à la propriété qu'ont la plupart des essences végétales de posséder une odeur très prononcée, et souvent agréable, les rend responsables de l'odeur caractéristique de nombreux végétaux odoriférants (Benayad, 2008).

**I.2. Extraction des huiles essentielles :**

L'extraction d'huile essentielle a été réalisée au niveau de laboratoire de biologie à l'université OUREGLA, Par l'appareil d'extraction des H.E Clevenger (**Figure II.1**).



**Figure II.1** : l'extraction des huiles essentielles par Clevenger.

Le montage Clevenger est désigné par le nom de son inventeur, Joseph Franklin Clevenger, qui l'a publié en 1928. Quelques modèles existent. Le plus commun (figure II.2) est une pièce de verrerie modifiée, celle que l'on voit au-dessus du ballon. Le ballon, de taille variable, contient de l'eau que l'on fait bouillir et la plante à extraire. La vapeur monte dans le montage jusqu'à un condensateur (hors de la photo), et le condensat retombe dans la petite burette que l'on voit à droite. L'huile flotte sur l'eau, qui est pour sa part progressivement renvoyée dans le ballon chauffé par le conduit en diagonale. Après 2 h d'extraction, on peut mesurer directement dans la burette le volume d'huile recueilli.

Parfois, le montage de type Clevenger fournit des rendements plus élevés que l'hydrodiffusion. Plusieurs facteurs peuvent l'expliquer. Notamment, la disposition de la matière végétale dans la colonne d'hydrodiffusion crée parfois des poches mal exposées à la vapeur, et donc peu extraites. En outre, le montage de type Clevenger a recours à la cohobation

: l'hydrolat n'est pas récupéré ici, il est plutôt renvoyé dans l'extracteur. De ce fait, les composés en solution dans l'eau sont de nouveau distillés, et lorsque l'eau est saturée, ils commencent à s'accumuler dans la phase d'huile essentielle. L'extraction par Clevenger est donc considérée comme la plus représentative du rendement « absolu » en composés volatils.

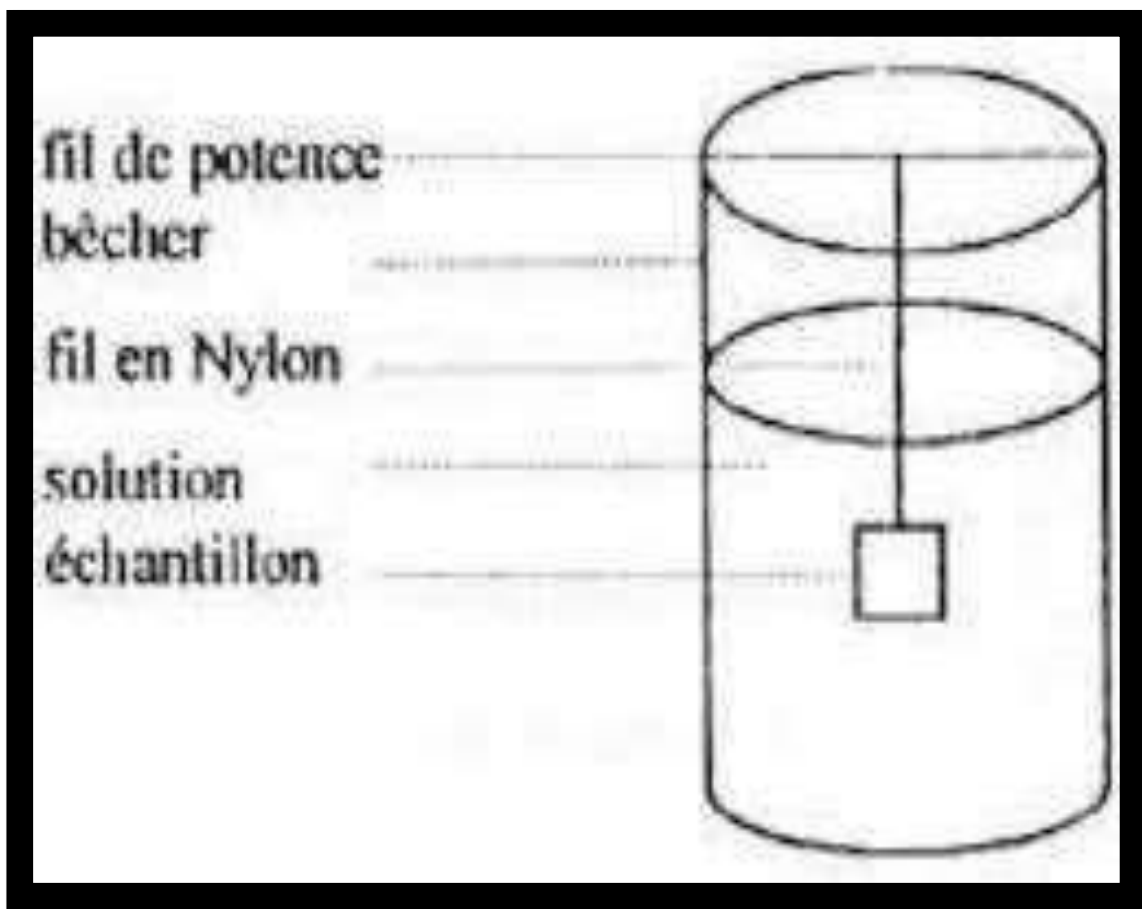
Pour déterminer la vitesse de corrosion en milieu liquide, Il existe deux types de méthode expérimentale :

- ✓ Méthode pondérale (perte de poids).
- ✓ Méthode électrochimique.

Dans notre étude on utilise la méthode pondérale (perte de masse).

#### **Méthode pondérale (méthode de la perte de poids) :**

Cette méthode est basée sur la mesure de la perte de poids d'un échantillon après un temps d'exposition défini à un milieu corrosif. Elle ne donne pas de renseignements quant au processus de corrosion mais elle permet de juger de l'importance de phénomène.



**Figure II.2 :** Dispositif Expérimental de la technique de masse perdue

L'utilité de mesure de la masse perdue consiste en l'évaluation du taux de corrosion qui se définit comme une perte de poids par unité de surface et pendant le temps  $t$  d'immersion dans une solution corrosive maintenue à température constante ( $25\text{C}^\circ$ ) et est exprimé en  $(\text{g}/\text{cm}^2 \times \text{an})$ . Le taux de corrosion (vitesse de corrosion) se définit comme une perte de poids par unité de surface et de temps. Ce taux s'exprime par la relation suivante :

$$\tau_{\text{corr}} = 365V_{\text{corr}} = \Delta m / (s \times t)$$

Avec :

- $\Delta m = m_i - m_f$
- **$m_i$**  : masse de l'échantillon avant l'essai en (g).
- **$m_f$**  : masse de l'échantillon après l'essai en (g).
- **$s$**  : surface de l'échantillon en ( $\text{cm}^2$ ).
- **$t$**  : temps de l'expérience en jours.

#### Avantage de la méthode pondérale :

- ✓ Elle Fournit les évidences physiques les plus fiables possibles.
- ✓ Elle donne des informations sur le taux moyen de la perte de masse due à la corrosion.
- ✓ Elle donne l'ampleur et la distribution de la corrosion localisée.
- ✓ Elle peut aussi fournir des informations sur la nature de corrosion à travers l'analyse de ses produits de corrosion.

#### Inconvénients de la méthode pondérale :

- ✓ Elle exige un temps considérablement long pour avoir une différence de poids mesurable.
- ✓ Elle utilise un grand nombre des échantillons métallique destiné aux tests de corrosion et une grande quantité du milieu corrosif.
- ✓ Elle ne peut pas être appliquée lorsque l'échantillon métallique est une pipe dans une grande installation.



## **Partie II : Synthèse expérimentale :**

Les méthodes de prévention contre la corrosion sont variées. Nous avons choisi la méthode pour lutter de ce problème doit vérifier non seulement les exigences technologiques, mais aussi celle économiques, dans ce qui suit nous allons donner un aperçu sur ces méthodesde protection.

### **Inhibiteurs :**

Dans notre étude nous avons utilisé un inhibiteur de corrosion (Rutachalepensis).

### **Présentation de l'espèce *Ruta chalepensis* :**

#### **Description générale :**

Rutachalepensisest une plante spontanée, largement répandue en Afrique du nord et plus particulièrement en Algérie (**Figure II.3**). On la rencontre fréquemment dans les rocailles, les pelouses et les coteaux secs. En Algérie, cette plante est aussi cultivée dans les jardins.

On la retrouve également en Europe du sud et dans les pays subtropicaux de manière générale. Cette plante est adaptée aux secteurs qui sont situées à environ 1000m au-dessus du niveau de la mer avec précipitations et lumière du soleil modérées.



**Figure II.3 :** Photographies de *Rutachalepensis*

**Systématique de *Rutachalepensis* :****Tableau II.1 :** Classification taxonomique de *Rutachalepensis*.

Rang taxonomique	Nomenclature
Règne	Plantae
Embranchement	Angiospermes
Classe	Dicotylédones
Sous-classe	Rosidaeae
Ordre	Sapindales
Famille	Rutaceae
Genre	Ruta
Espèce	Rutachalepensis





**Noms vernaculaires de l'espèce :****Tableau II.2 :** Principaux noms vernaculaires de *Rutachalepensis*

Langue	Nom	Référence
Français	Rue de chalep	(Bock, 2011)
Berbère	Aourmi	(Lamnauer et Batanouny, 2005)
Arabe	Fijel	(Lamnauer et
Anglais	Fringed Rue	Batanouny, 2005)
Espagnole	Ruda	(Bock, 2011)
Italien	Rutad'Aleppo	(Bock, 2011)

**Caractéristiques des différentes parties de la plante :**

Les principaux caractères, qui distinguent cette espèce des autres, résident dans les lobes de la capsule rapprochés et non séparés ainsi que dans les pétales dentées et ciliées à leurs bords.

Tableau II.3 : Principales caractéristiques des différentes parties de *Rutachalepensis*

Organe	Nom	Référence
Tiges 	Tiges droites, rameuses, cylindriques, dures, glabres, hautes de trois à quatre pieds, d'un verre glauque. Egalement non glanduleuses.	<b>Lamark, J.P. (1804). Encyclopédie méthodique.</b>
Feuilles 	Feuilles amples de six (06) millimètres de larges, à folioles ovales-oblongues, Cunéiformes, glauques et parfois presque linéaires. Les folioles inférieures en forme de stipules sont pétiolulées. De couleur verte-bleuâtre, de goût amère et d'odeur forte relativement désagréable Portent des glandes à huiles de type schisolysigènes.	<b>Bock, B. (2011). Ruta chalepensis L. BDNFF, Tela Botanica.</b>
Fleurs 	Il s'agit de fleurs jaunes, grandes, bractées, ovales ou lancéolées, souvent en cœur à la base et beaucoup plus larges que le rameau ou le pédoncule qui les porte. Leur taille avoisine les uns (01) centimètre de diamètre. Disposés en corymbes à l'extrémité des tiges et des rameaux ; leur calice est court, glabre, ovale et à cinq divisions ; la corole est jaune à cinq pétales concaves, ondulées, denticulées, et ciliées à leurs bords. Elles portent huit à dix (8 à 10) étamines ainsi qu'un ovaire supérieur.	<b>Bock, B. (2011). Ruta chalepensis L. BDNFF, Tela Botanica. Lamark, J.P. (1804). Encyclopédie méthodique.</b>
Fruits 	Les fruits sont des follicules à graines noires. Ils se présentent sous forme de capsule globuleuse d'environ six (6) à neuf (9) millimètres de diamètre.	<b>Bock, B. (2011). Ruta chalepensis L. BDNFF, Tela Botanica.</b>

Compositions des inhibiteurs :

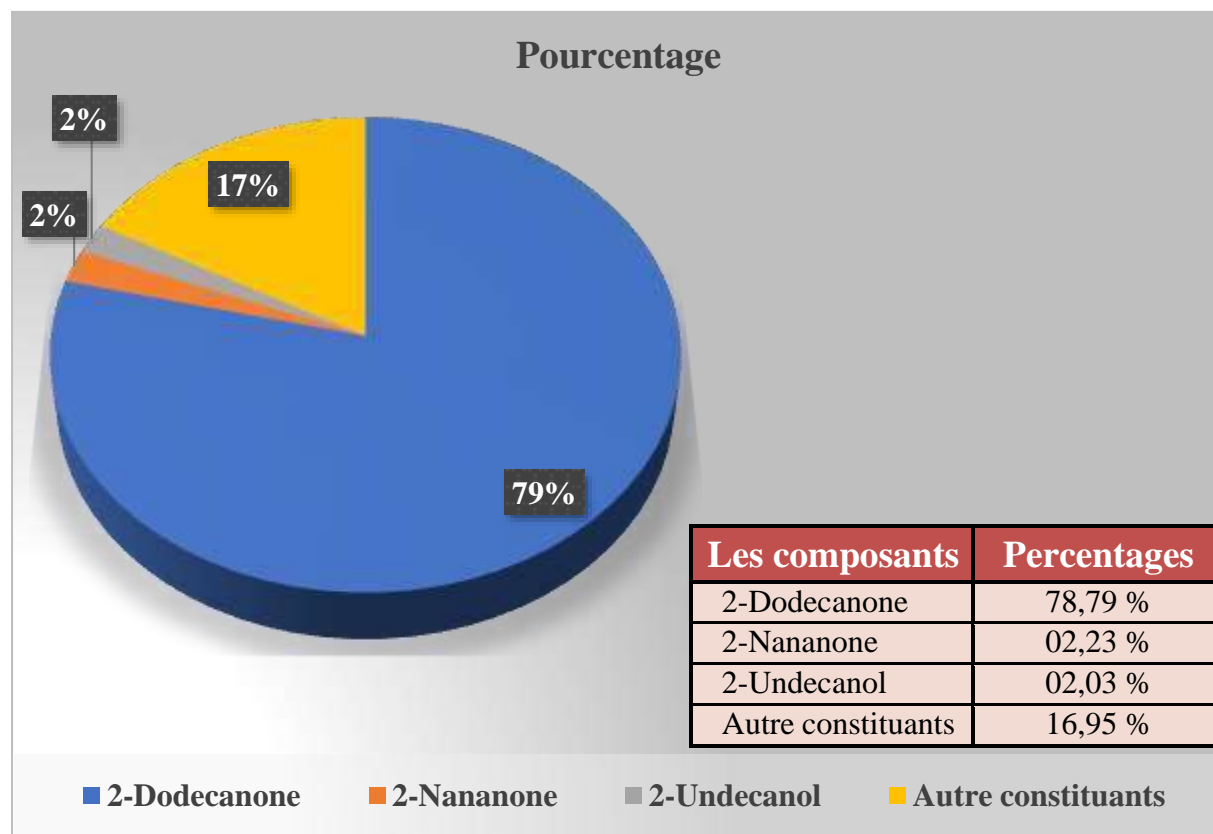
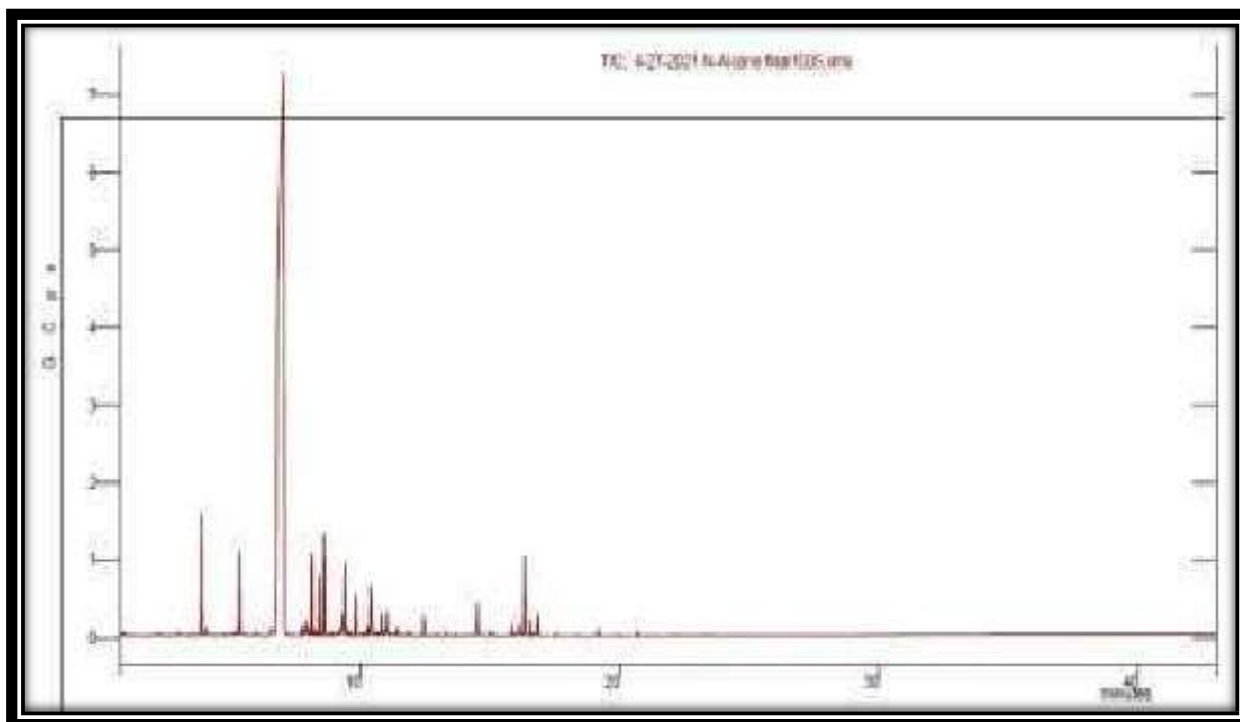


Figure II.4 : Pourcentage des Compositions inhibiteurs



**Produits et matériaux :****Préparation de l'échantillon de l'acier :**

Un échantillon d'acier (X70) de la composition chimique mentionnée dans le tableau II.4 a été utilisé pour préparer l'électrode de travail. L'acier (X70).



**Figure II.5 :** Echantillon de l'acier (X70).

**Les compositions chimiques de l'acier (X70) :**

**Tableau II.4 :** La composition chimique de l'acier (X70)

<b>ANALYSE CHIMIQUE X 10<sup>-3</sup></b>									
	<b>C</b>	<b>s</b>	<b>p</b>	<b>SI</b>	<b>Mn</b>	<b>Al</b>	<b>Nb</b>	<b>V</b>	<b>Ti</b>
<b>%Maxi sur produit</b>	0,12	0,015	0,025	0,45	1,7	0,05	0,06	0,1	0,06
<b>valeur</b>	65	13	6	355	1627	47	66	5	16
	<b>Cr</b>	<b>Mo</b>	<b>B</b>	<b>Nb+V+Ti</b>			<b>CEpcm</b>		
<b>%Maxi sur produit</b>	0,3	0,1	5	150			2		
<b>valeur</b>	41	5	0,4	87			164		

**Produits chimiques utilisés :**

Dans notre étude nous avons utilisé les produits chimiques suivant, leurs propriétés physicochimiques sont récapitulées dans le tableau.

**Tableau II.5 :** les produits chimiques utilisés.

Produit	La formule	Degré de pureté%	densité	Masse molaire	Point d'ébullition	Point de fusion
Acide sulfurique	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	98	1.94	98.08	337	10
Acétone	CH <sub>3</sub> CO	Pure	/	46	56	-95
L'eau distillée	H <sub>2</sub> O	Sans sels	1	18	100	/

**Préparation des solutions utilisées :****Les milieux corrosifs :**

Le milieu corrosif utilisé est constitué d'une solution aqueuse d'acide sulfurique à la concentration (0.5 M de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), préparé à partir d'une solution commerciale d'acide sulfurique (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) a été obtenue en dilution V=27.19 ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (pureté p= 96-98% ; densité d= 1.94 g/cm<sup>3</sup> la masse molaire M= 98.08g/mol) dans un litre d'eau distillée. La concentration de solution corrosive C<sub>s</sub> = 0.5 mol/l Le volume de solution corrosif V<sub>s</sub> = 1 l =1000 ml La concentration de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, C (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) = (10×d×p) / M = (10×1.94×98) / 98.08 = 19.384 mol/l Le volume de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentré prélevé V (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) = (C<sub>s</sub> × V<sub>s</sub>) / C (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) = (0.5×1000) / 19.384 = 27.19 ml. C : concentration de produit(H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). V : volume de produit (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>).

**Figure II.6 :** solution corrosive utilisées

**Les matériaux :**

Dans le montage (expérience), nous avons besoin du matériel suivant : Dans le 1er montage (expérience), nous avons besoin du matériel suivant :

- ✓ Echantillons (X 70).
- ✓ Bêchers.
- ✓ Balance analytique.
- ✓ Fil de potence.
- ✓ Fil simple
- ✓ Pied capillaire

**Mode opératoire :**

Les mesures de pertes de masse sont une première approche de l'étude de l'inhibition de la corrosion d'un métal dans une solution électrolytique Cette méthode présente l'avantage d'être une mise en œuvre simple, de ne pas nécessiter un appareillage important, mais ne permet pas l'approche des mécanismes mis en jeu lors de la corrosion. Son principe repose sur la mesure de la perte de poids  $M$  ( $\text{mg.cm}^{-2}.\text{h}^{-1}$ ) subie par un échantillon de surface  $S$ , pendant le temps  $t$  d'immersion dans une solution corrosive maintenue à température déférent. Afin de réaliser les mesures gravimétriques.

**Préparation des surfaces :**

Puisque la corrosion est un phénomène interfacial 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.

**Polissage :**

L'opération de polissage a été effectuée avec du papier abrasif de différentes granulométries : 80,100, 220, 320, 400, 1200, et 2000 afin d'obtenir un état de surface adéquat. Ensuite, les échantillons ont été lavés avec l'eau distillée. Une fois séchés, ils ont été de nouveau rincés avec de l'acétone.

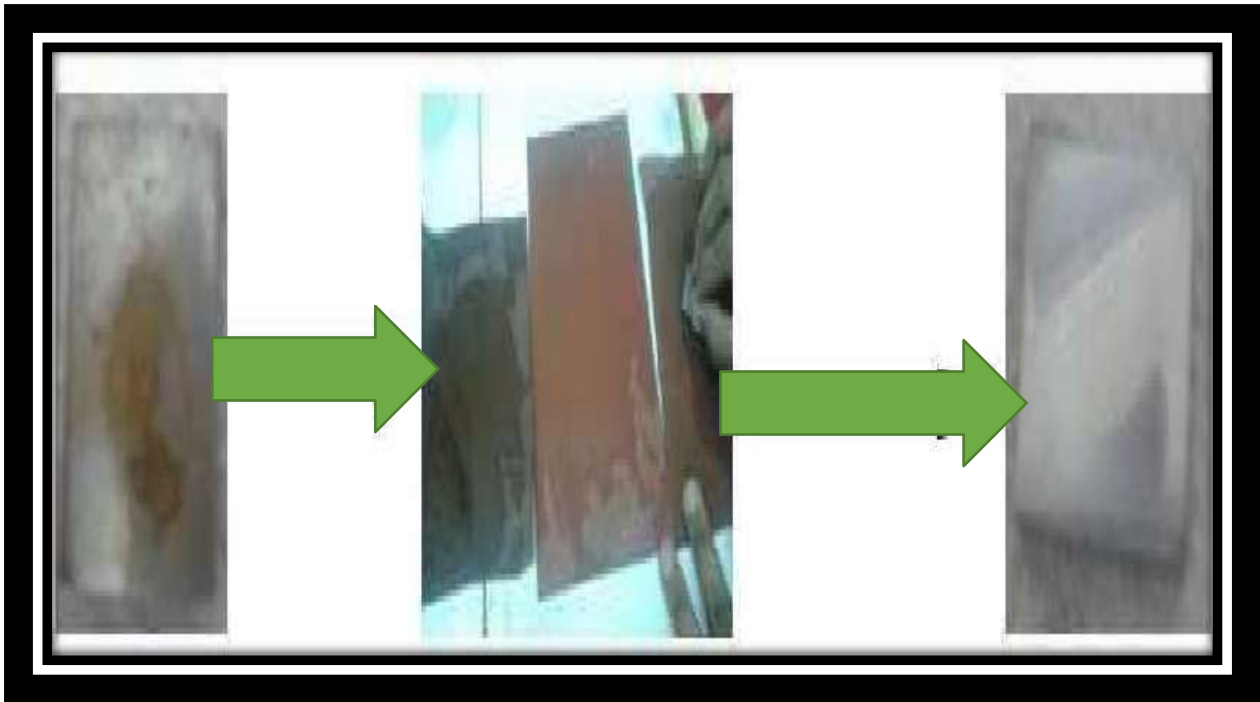


Figure II.7 : l'opération de polissage

**Mesure de la masse :**

Après l'opération de polissage, Il faut mesure la masse d'échantillon en utilisant la balance de marque « RADWAG » de type (AS 220 R2). Avant et après l'immersion d'échantillon dans la solution corrosif.



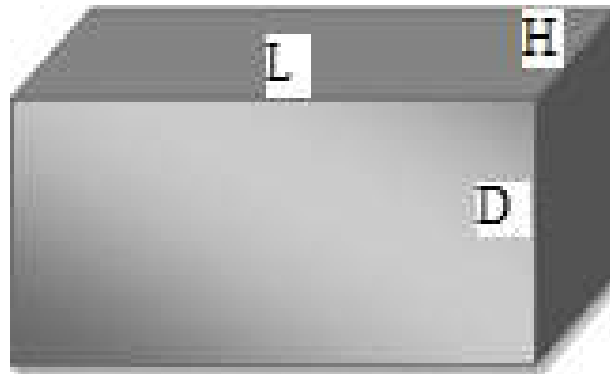
Figure II.8 : Balance analytique



**Mesure de la surface :**

Dimensions de l'acier sont mesurées par pied capillaire marque «ineco» et ce sont les dimensions de longueur(L), largeur(D) et épaisseur(H).en utilise cette relation :

$$S = 2* ((L.D) + (L.H) + (D.H))$$



**Figure II.9 :** Dimensions de l'acier



**Figure II.10 :** expliquer le pied capillaire

# **Chapitre III :**

## **Résultats et discussions**

### Méthode pondérale (méthode de la perte de poids) :

Cette méthode est basée sur la mesure de la perte de poids d'un échantillon après un temps d'exposition défini à un milieu corrosif.

#### **Etape (01) sans inhibiteur :**

Dans un premier temps, nous avons mesuré la masse ( $m_0$ ) d'acier (X70) au temps initial  $t = 0$ .

Dans un second temps, nous avons inséré à l'intérieur d'un bécher l'acier (X70) dans une solution corrosive d'acide H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (0,5 M), puis introduit ce même bécher dans un incubateur à une température constante de 25°C.

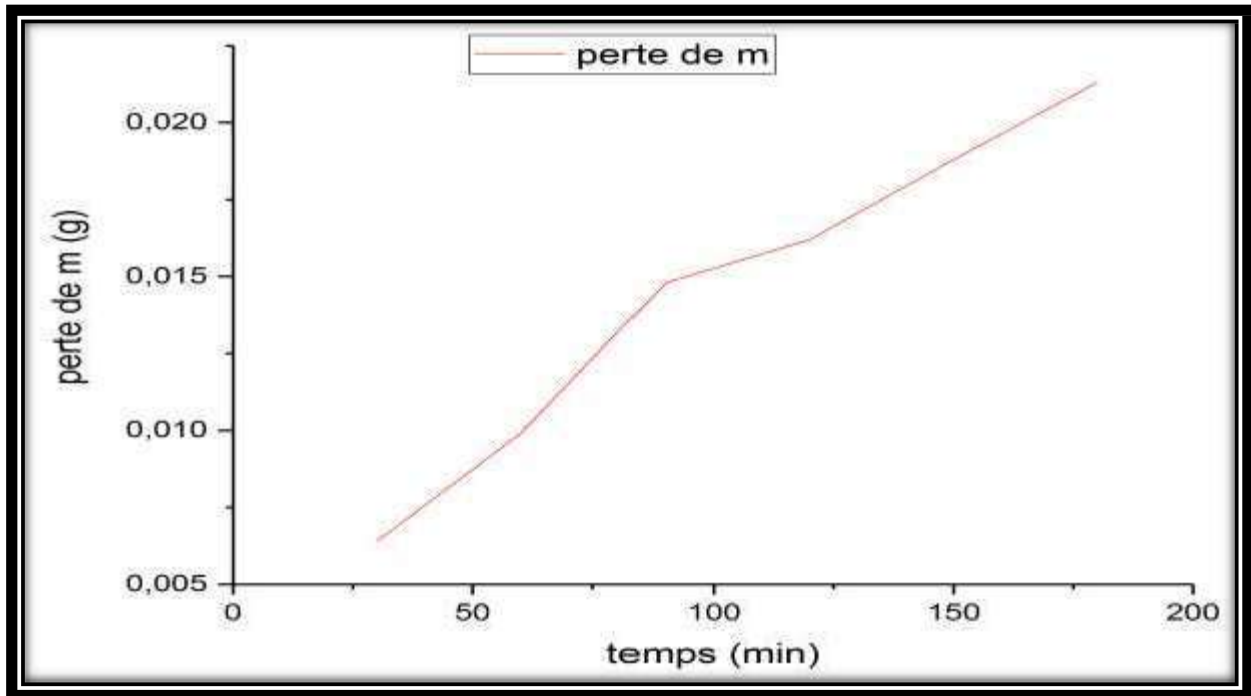
Après chaque 30 min., on retire l'acier du bécher, puis on l'essuie avec de l'acétone et le pesons sur une balance « RADWAG » de type (AS 220 R2) afin d'obtenir sa masse  $m_1$ , ce qui nous permettra de déterminer la perte de masse de l'acier (X70).

Nous avons fait le choix de répéter six fois (06) cette expérience et toutes les 30 min. Comme indiqué ci-dessous, nous donnant les résultats suivants :

$$\text{Pour } t = 0 \rightarrow m_0 = 21,2985 \text{ g}$$

**Tableau III.1 :** les valeurs expérimentales de perte de masse d'acier (X70) en fonction du temps en milieu acide H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (0,5M) en absence d'inhibiteur à (T = 25°C).

Temps (min)	30	60	90	120	150	180
$m_1$	21,2921	21,2886	21,2837	21,2823	21,2797	21,2772
Perte de masse(g)	0,0064	0,0099	0,0148	0,0162	0,0188	0,0213



**Figure III.1** : évaluation de perte de masse de corrosion en fonction de temps en milieu acide  $H_2SO_4$  (0,5M) en absence d'inhibiteur à T 25°C.

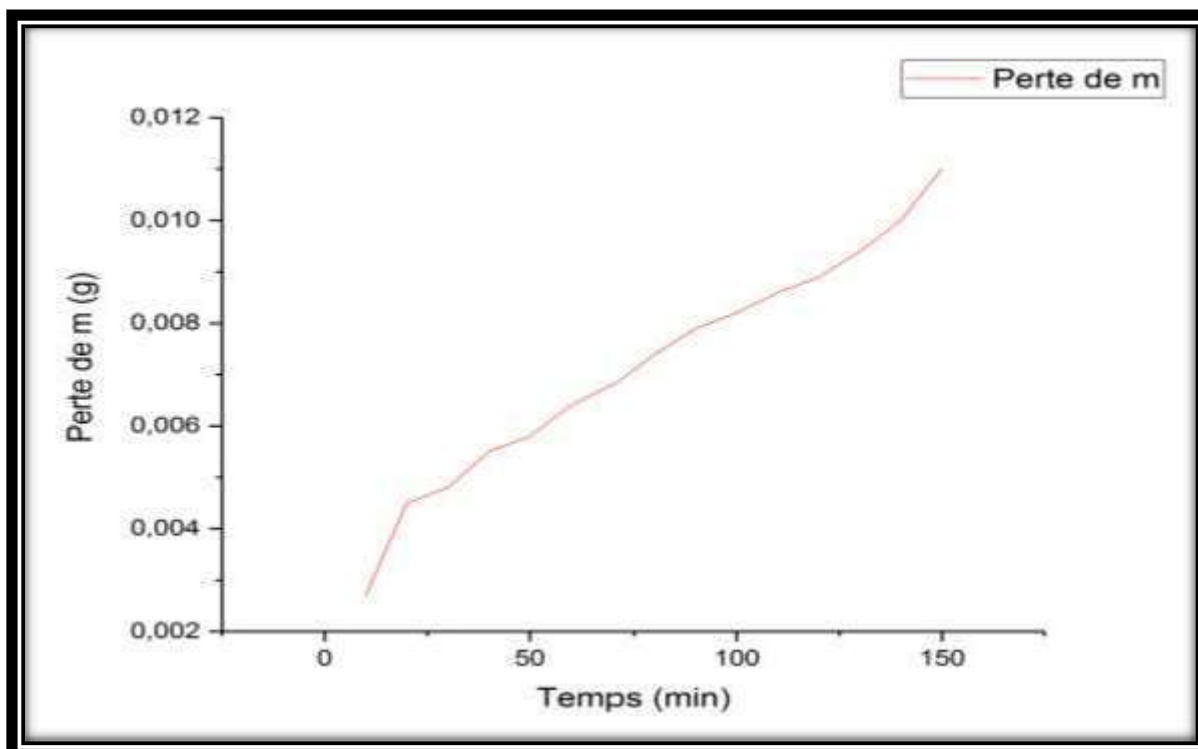
- ❖ Dans un second temps, nous avons mesuré la masse ( $m_0$ ) d'acier (X70) au temps initial  $t = 0$  et utilisé les mêmes étapes que dans l'expérience du Chapitre précédent, mais en changeant la fréquence du temps ( $t$ ), qui deviendra de 10 mn en lieu et place de 30 min.

Nous avons fait le choix de répéter quinze fois (15) cette expérience et toutes les 10 min. comme indiqué ci-dessous, nous donnant les résultats suivants :

$$t = 0 \rightarrow m_0 = 19,7997 \text{ g}$$

**Tableau III.2 :** les valeurs expérimentales de perte de masse d'acier (X70) en fonction du temps en milieu acide H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (0,5M) en absence d'inhibiteur à (T = 25°C).

Temps (min)	10	20	30	40	50	60
$m_1$	19,797	19,7952	19,7949	19,7942	19,7939	19,7933
Perte de masse(g)	0,0027	0,0045	0,0048	0,0055	0,0058	0,0064
Temps (min)	80	90	100	110	120	130
$m_1$	19,7923	19,7918	19,7915	19,7911	19,7908	17,7903
Perte de masse(g)	0,0074	0,0079	0,0082	0,0086	0,0089	0,0094
Temps (min)	150					
$m_1$	19,7887					
Perte de masse(g)	0,011					



**Figure III.2 :** évaluation de perte de masse de corrosion en fonction de temps en milieu acide H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (0,5M) en absence d'inhibiteur à T 25°C.

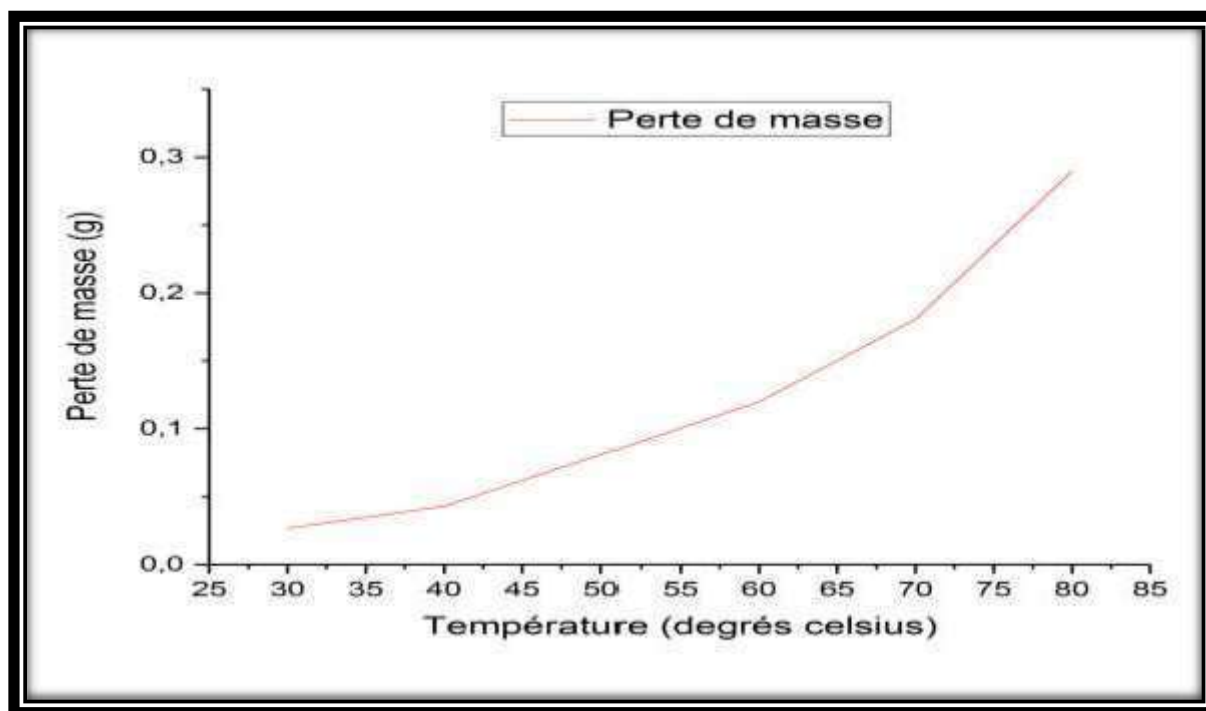
Pour cette expérience, nous avons utilisé six (06) morceaux d'acier (X70) qu'on a pesé dans un premier temps avant le début de cette expérience ( $t = 0$ ). Il faudrait également retenir que chaque acier sera expérimenté au départ avec sa masse initiale  $m_0$ .

Après chaque heure, on vide l'incubateur, puis nous le reprogrammons pour une autre température supérieure de 10 C0. Ensuite, une fois l'incubateur ayant atteint la température souhaitée, nous avons introduit dans l'appareil (incubateur) un nouveau morceau d'acier (donc non utilisé auparavant) que nous avons laissé s'effriter progressivement pendant une heure à la température programmée. Au bout de cette heure, nous avons retiré de l'incubateur le morceau d'acier avec une masse  $m_1$  légèrement inférieure à la masse initiale  $m_0$ .

Nous avons réalisé cette expérience pour les cinq températures restantes, soit de 40 C0 à 80 C0, ce qui nous a permis de constater que la perte de masse augmente progressivement devant une élévation de la température.

**Tableau III.3** : les valeurs expérimentales des pertes de masse d'acier (X70) en fonction du temps en milieu acide H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (0,5M) en absence d'inhibiteur à T = [30,40, 50, 60, 70,80] °C.

Temperature	m0	Temps	m1	Pert de masse(g)
30	19,8334	1 heure	19,8066	0,0268
40	19,7667	1 heure	19,7237	0,043
50	19,6828	1 heure	19,6018	0,081
60	19,5649	1 heure	19 ,4449	0,12
70	19,3744	1 heure	19,1939	0.1805
80	20,1712	1 heure	19,8816	0,2896

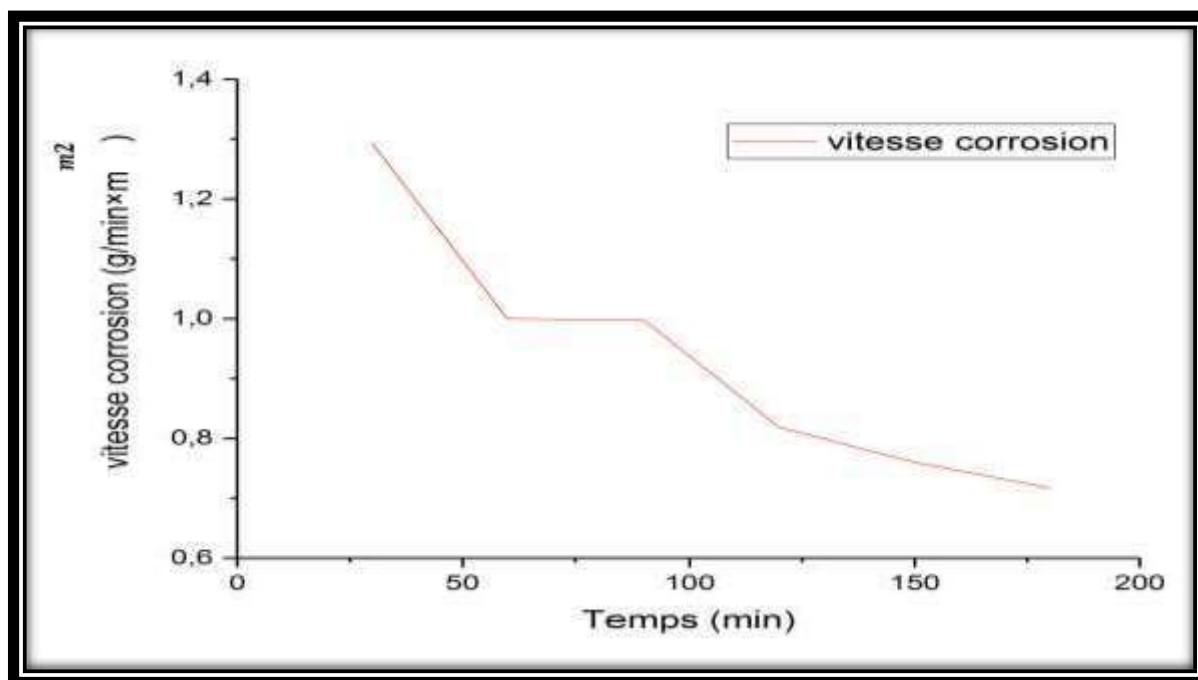


**Figure III.3** : évaluation de perte de masse de corrosion en fonction de Température en milieu acide H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (0,5M) en absence d'inhibiteur

- ❖ Les valeurs expérimentales de la vitesse de corrosion d'acier (X70) en fonction du temps en milieu acide H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (0,5M) en absence d'inhibiteur r à (T = 25°C).

**Tableau III.4 :** les valeurs expérimentales de la vitesse de corrosion d'acier (X70) en fonction du temps en milieu acide H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (0,5M) en absence d'inhibiteur à (T = 25°C)

Surface ( S )	1650 mm <sup>2</sup>					
Temps(min)	30	60	90	120	150	180
V (g/min×mm <sup>2</sup> ) × 10 <sup>-7</sup>	1,293	1	0,997	0,818	0,76	0,717



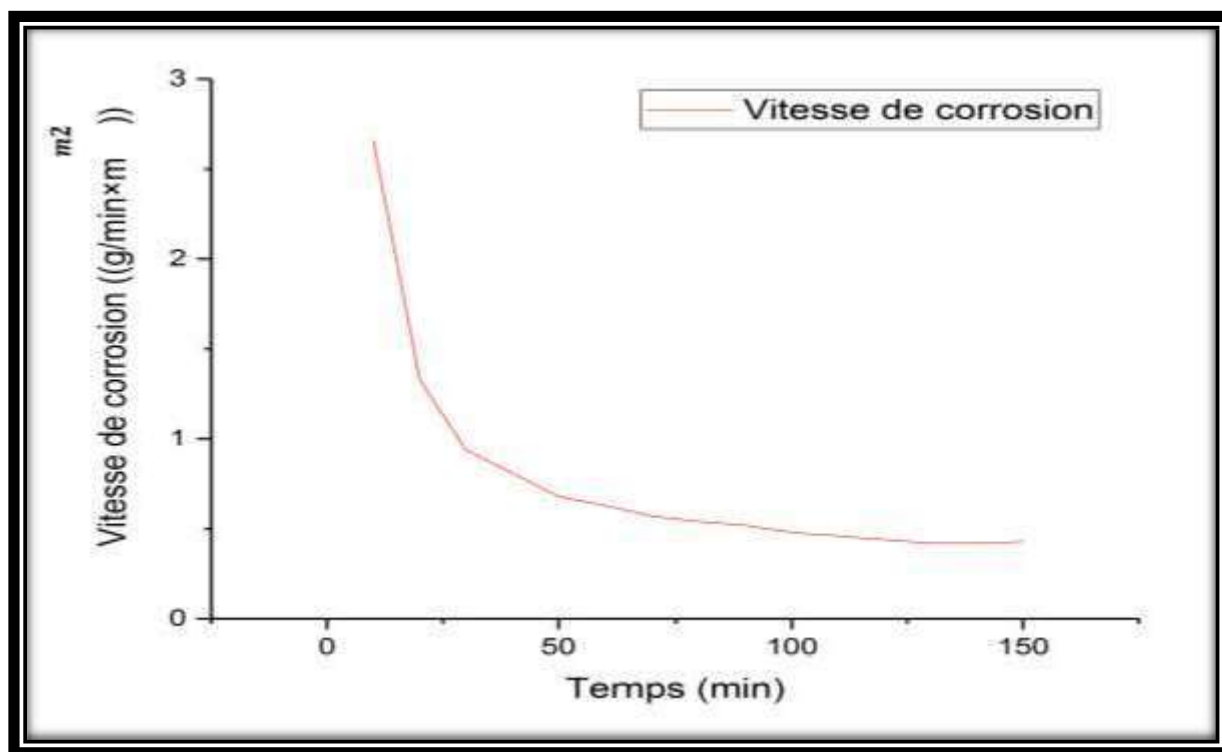
**Figure III.4 :** la vitesse de corrosion d'acier (X70) en fonction du temps en milieu acide H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (0,5M) en absence d'inhibiteur

- ❖ Les valeurs expérimentales de la vitesse de corrosion d'acier (X70) en fonction du temps en milieu acide H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (0,5M) en absence d'inhibiteur à (T = 25°C).



**Tableau III.5** : les valeurs expérimentales de la vitesse de corrosion d'acier (X70) en fonction du temps en milieu acide H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (0,5M) en absence d'inhibiteur à (T = 25°C).

Surface (S)	1650 mm <sup>2</sup>							
Temps(min)	10	20	30	40	50	60	70	80
V (g/min×mm <sup>2</sup> ) × 10 <sup>-7</sup>	2,66	1,33	0,94	0,81	0,68	0,63	0,57	0,54
Temps(min)	90	100	110	120	130	140	150	
V (g/min×mm <sup>2</sup> ) × 10 <sup>-7</sup>	0,52	0,48	0,46	0,44	0,42	0,42	0,43	

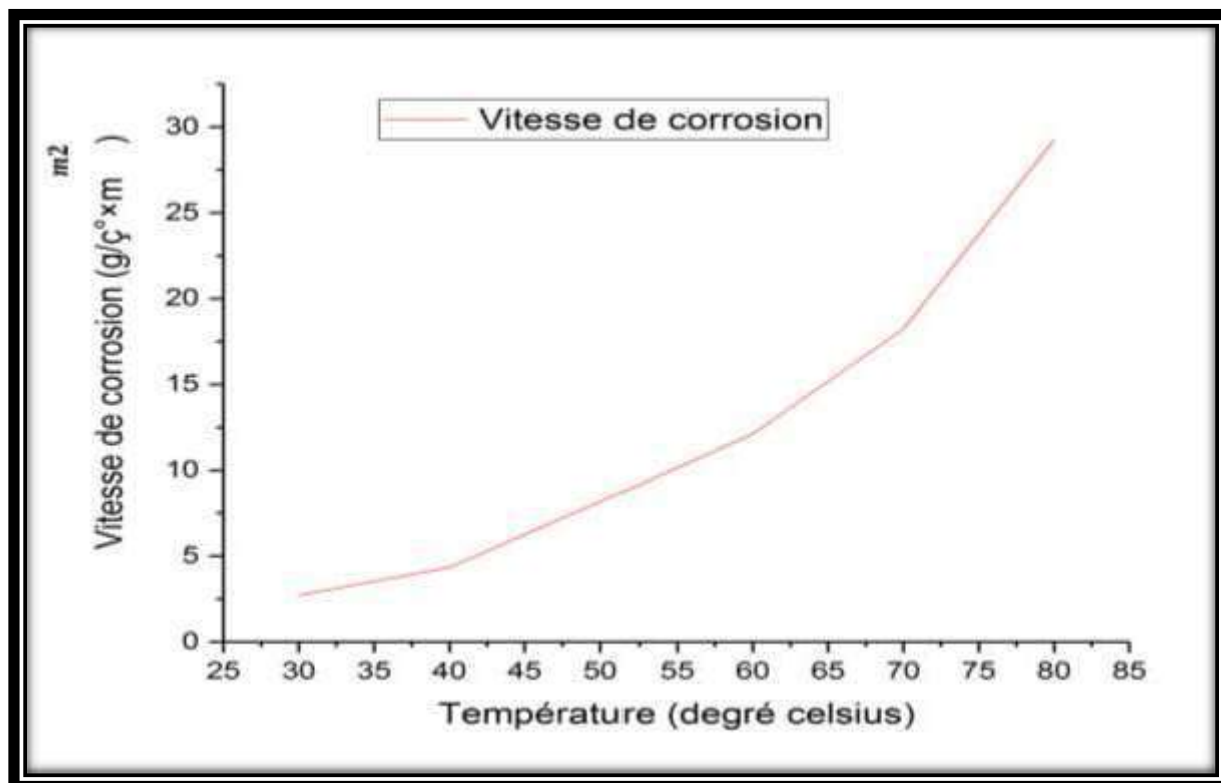


**Figure III.5** : la vitesse de corrosion d'acier (X70) en fonction du temps en milieu acide H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (0,5M) en absence d'inhibiteur

- ❖ Les valeurs expérimentales de la vitesse de corrosion d'acier (X70) en fonction de la température en milieu acide H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (0,5M) en absence d'inhibiteur r à (temps = 1 heure).

**Tableau III.6 :** les valeurs expérimentales de la vitesse de corrosion d'acier (X70) en fonction de la température en milieu acide H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (0,5M) en absence d'inhibiteur

Surface (S)	1650 mm <sup>2</sup>					
Température	30	40	50	60	70	80
$V(g/\zeta^{\circ} \times mm^2) \times 10^{-7}$	2,71	4,34	8,18	12,12	18,23	29,25



**Figure III.6 :** de la vitesse de corrosion d'acier (X70) en fonction de la température en milieu acide H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (0,5M) en absence d'inhibiteur.

- ❖ D'après les résultats obtenus par la méthode pondérale (méthode de la perte de poids) dans le milieu corrosive (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> sans inhibiteur) à T = 25°C, nous pouvons conclure que :
  - La perte de masse évoluer en fonction de temps dans les tableaux (III.1 ET III.2). Mais l'augmentation dans le tableau III.1 est plus grande que tableau III.2
  - La vitesse de corrosion diminue en le milieu corrosive H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> en fonction de temps, mais dans la Figure III.5 on remarque que la vitesse de corrosion a une certaine stabilité à l'intervalle de temps [120 ; 150].

- ❖ D'après les résultats obtenus par la méthode pondérale (méthode de la perte de poids) dans le milieu corrosive (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> sans inhibiteur) à T = [30 °C, 40 °C, 50 °C, 60 °C, 70 °C, 80 °C] et a temp = 1 heure :
- À chaque augmentation de température le milieu (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> sans inhibiteur) devient plus corrosif donc La perte de masse plus élevé.
- La Vitesse de corrosion augmente en fonction de l'augmentation de température.

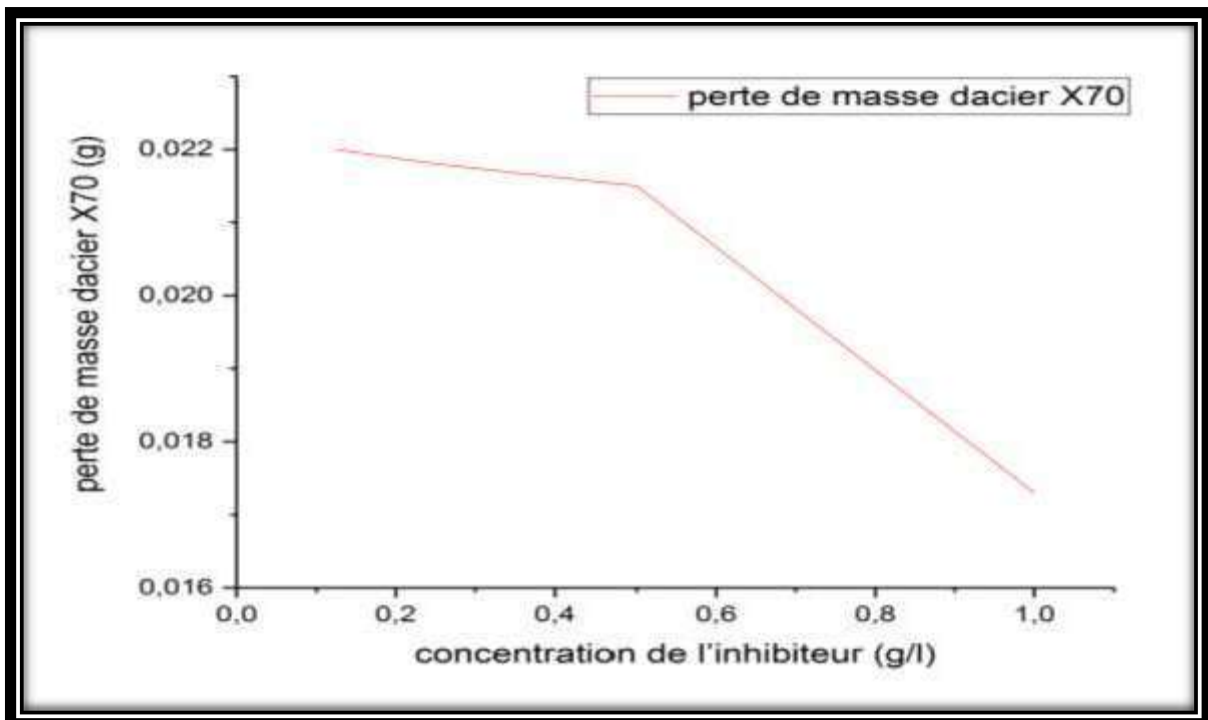
**Etape (02) avec inhibiteur :**

Les valeurs expérimentales de perte de masse et la vitesse de corrosion d'acier (X70) en milieu acide H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (0,5M) avec d'inhibiteur sont résumées dans le tableau suivant :

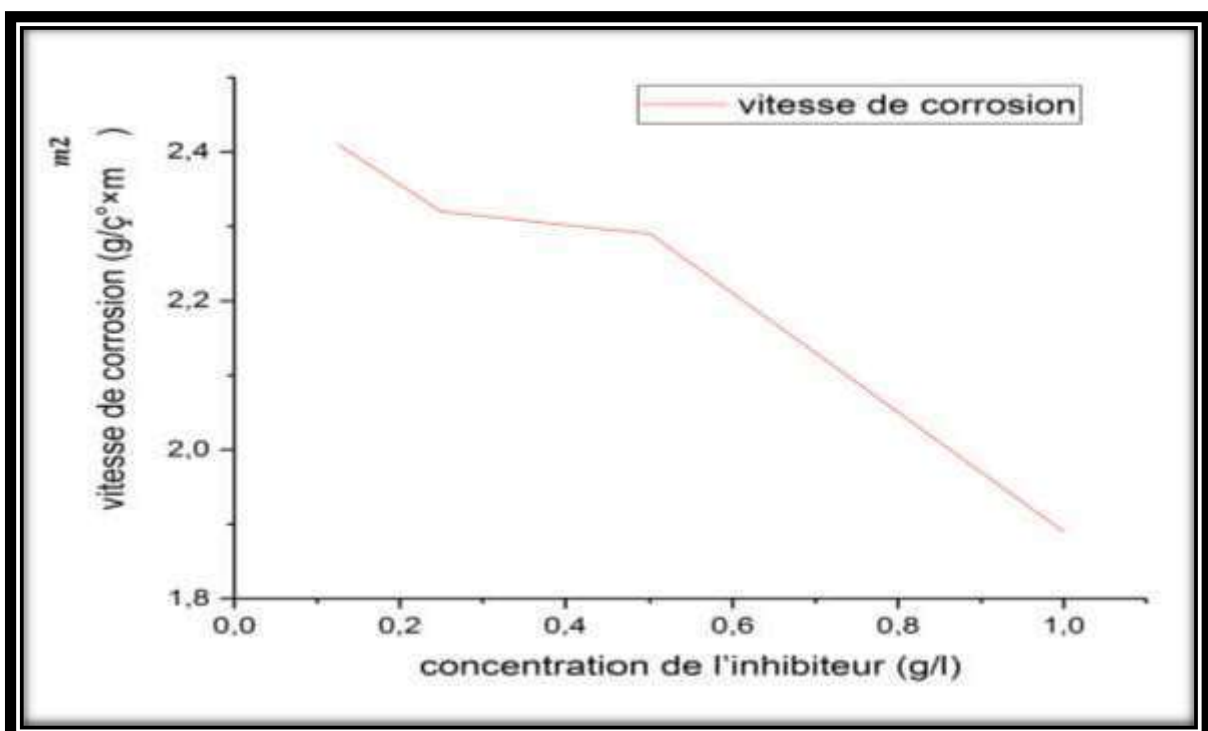
**À T = 30 °C et temps = 1 heure**

**Tableau III.7 :** Les valeurs expérimentales de perte de masse et la vitesse de corrosion d'acier (X70) en milieu H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (0,5M) avec d'inhibiteur à T= 30°C.

Concentration (g/l)	L	D	H	S	$m_0$	$m_1$	$\Delta m$
0.125	31	10,5	10,5	1522,5	18,1439	18,1219	0,022
0.25	32	10,5	10,5	1564,5	19,3301	19,3083	0,0218
0.5	32	10,5	10,5	1564,5	18,3047	18,2832	0,0215
1	31	10,5	10,5	1522,5	18,0018	17,9845	0,0173
<b>V de corro <math>\times 10^{-7}</math></b>				<b>Efficacité inhibitrice (%)</b>			
2,41				11,07			
2,32				14,39			
2,29				15,49			
1,89				30,26			



**Figure III.7 :** évaluation de perte de masse de corrosion en fonction de concentration de l'inhibiteur en milieu acide H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (0.5 M)

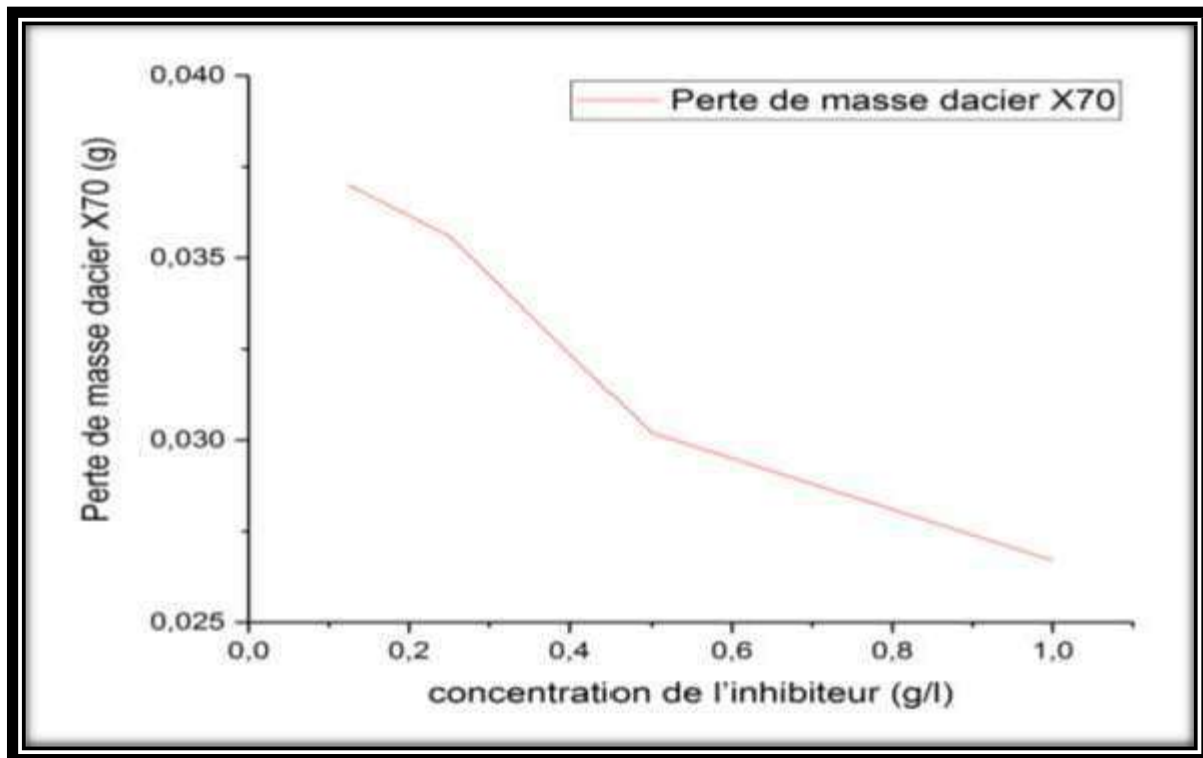


**Figure III.8 :** évaluation de la vitesse de corrosion en fonction de concentration de l'inhibiteur en milieu acide H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (0.5 M)

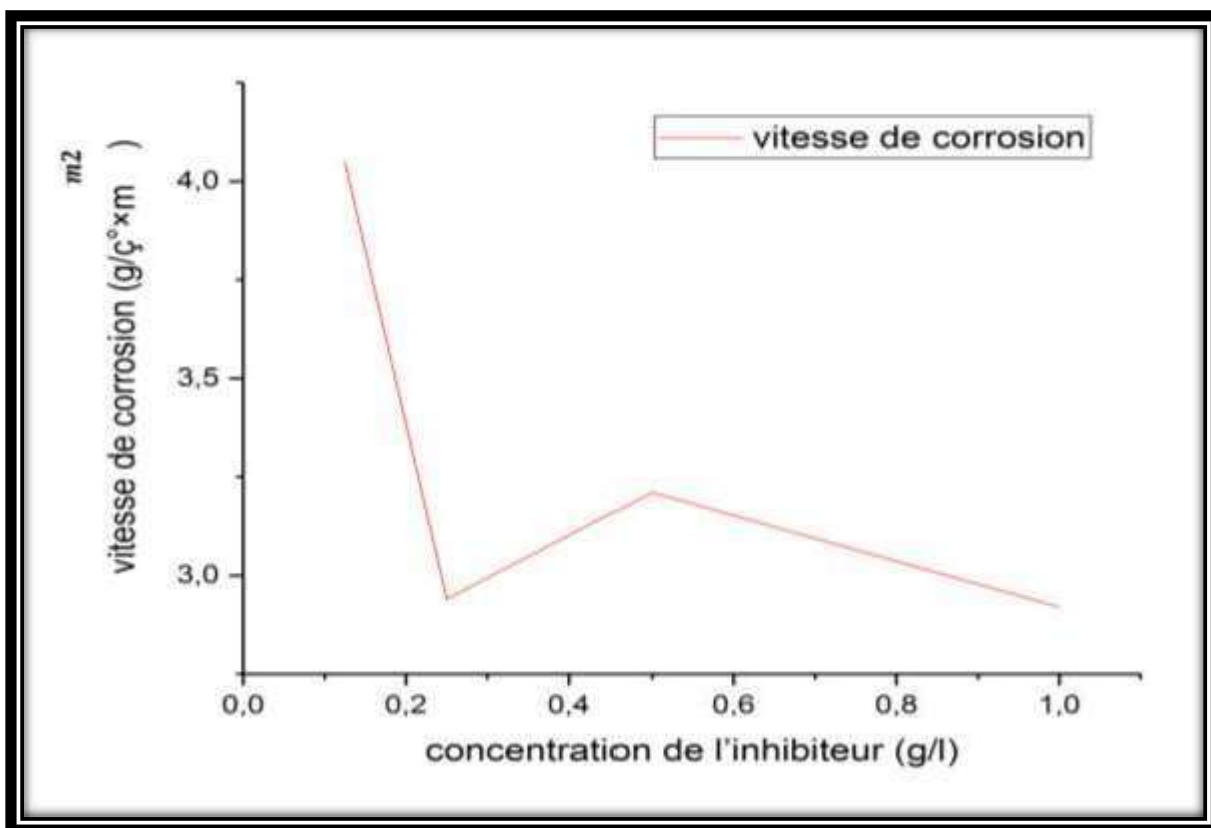
À T = 40 °C

**Tableau III.8 :** Les valeurs expérimentales de perte de masse et la vitesse de corrosion d'acier (X70) en milieu acide H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (0,5M) avec d'inhibiteur à T= 40°C

Concentration (g/l)	L	D	H	S	$m_0$	$m_1$	$\Delta m$
0.125	31	10,5	10,5	1522,5	17,9797	17,9427	0,037
0.25	32	10,5	10,5	1564,5	19,2487	19,2131	0,0356
0.5	32	10,5	10,5	1564,5	18,2152	18,1850	0,0302
1	31	10,5	10,5	1522,5	17,8895	17,8628	0,0267
V de corro $\times 10^{-7}$				Efficacité inhibitrice (%)			
4,05				6,68			
2,94				32,25			
3,21				26			
2,92				32,71			



**Figure III.9 :** évaluation de perte de masse de corrosion en fonction de concentration de l'inhibiteur en milieu acide H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (0.5 M)



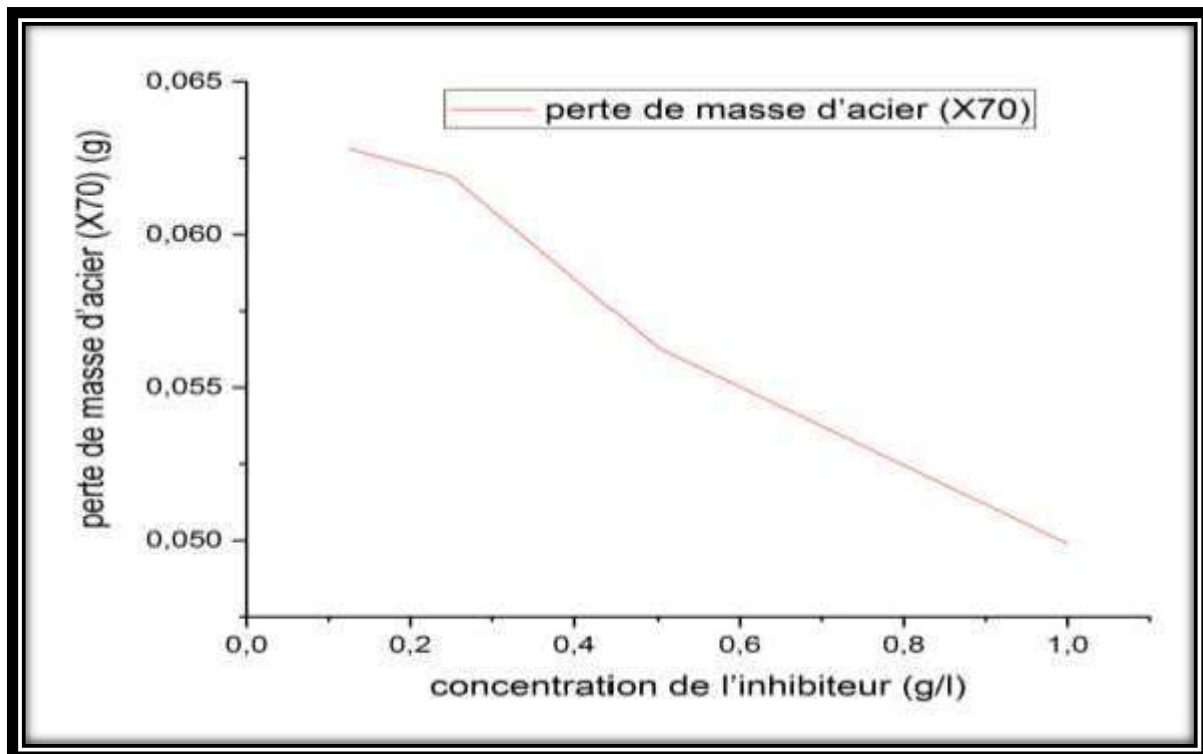
**Figure III.10 :** évaluation de la vitesse de corrosion en fonction de concentration de l'inhibiteur en milieu acide H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (0.5 M)

À T = 50 °C

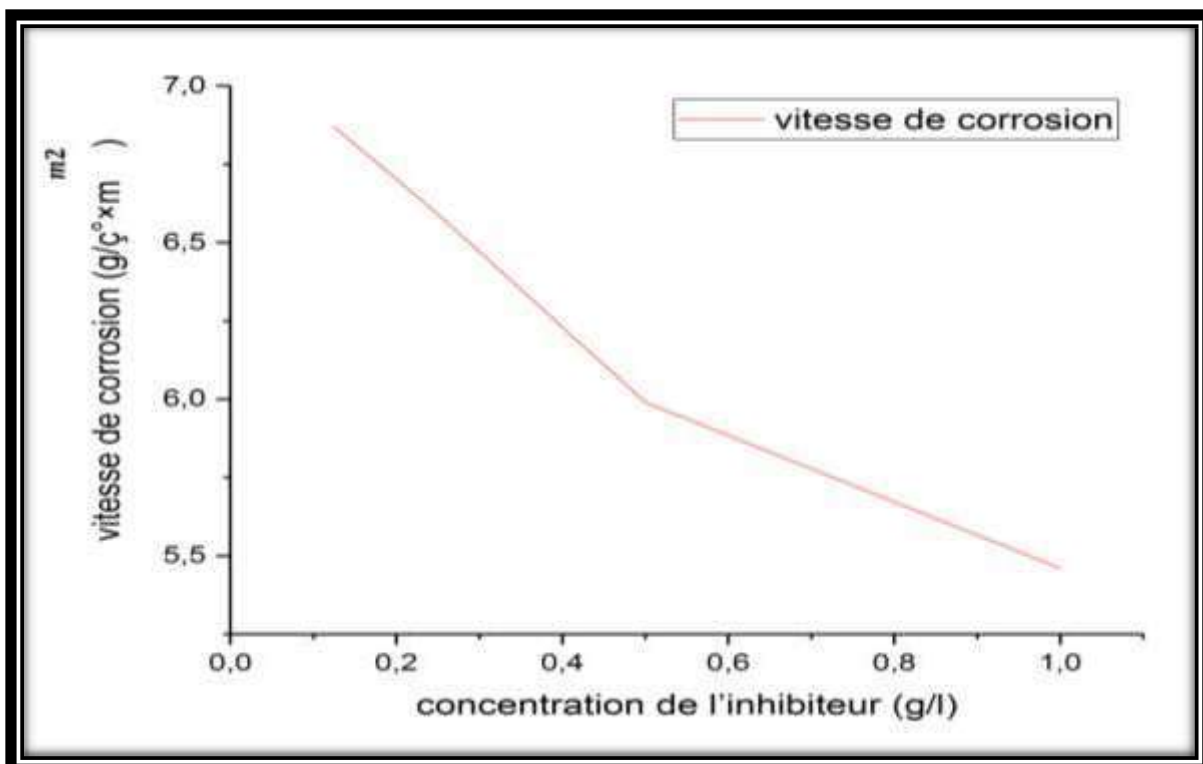
**Tableau III.9 :** Les valeurs expérimentales de perte de masse et la vitesse de corrosion d'acier (X70) en milieu acide H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (0,5M) avec d'inhibiteur à T 50°C

Concentration (g/l)	L	D	H	S	$m_0$	$m_1$	$\Delta m$
0.125	31	10,5	10,5	1522,5	17,9056	17,8428	0,0628
0.25	32	10,5	10,5	1564,5	19 ,1879	19,126	0,0619
0.5	32	10,5	10,5	1564,5	18,1697	18,1134	0,0563
1	31	10,5	10,5	1522,5	17,8503	17,8004	0,0499
V de corro $\times 10^{-7}$				Efficacité inhibitrice (%)			
6,87				16,01			
6,59				19,44			
5,99				26,77			
5,46				33,25			





**Figure III.11** : évaluation de la vitesse de corrosion en fonction de concentration de l'inhibiteur en milieu acide H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (0.5 M)



**Figure III.12** : évaluation de la vitesse de corrosion en fonction de concentration de l'inhibiteur en milieu acide H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (0.5 M)

À T = 60 °C

**Tableau III.10 :** Les valeurs expérimentales de perte de masse et la vitesse de corrosion d'acier (X70) en milieu acide H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (0,5M) avec d'inhibiteur à T 60°C

Concentration (g/l)	L	D	H	S	$m_0$	$m_1$	$\Delta m$
0.125	31	10,5	10,5	1522,5	17,7743	17,6895	0,0848
0.25	32	10,5	10,5	1564,5	19,0600	18,9679	0,0921
0.5	32	10,5	10,5	1564,5	18,0889	18,0077	0,0812
1	31	10,5	10,5	1522,5	17,7679	17,6907	0,0772
V de corro $\times 10^{-7}$				Efficacité inhibitrice (%)			
9,28				23,43			
9,81				19,05			
8,65				28,63			
8,45				30,28			

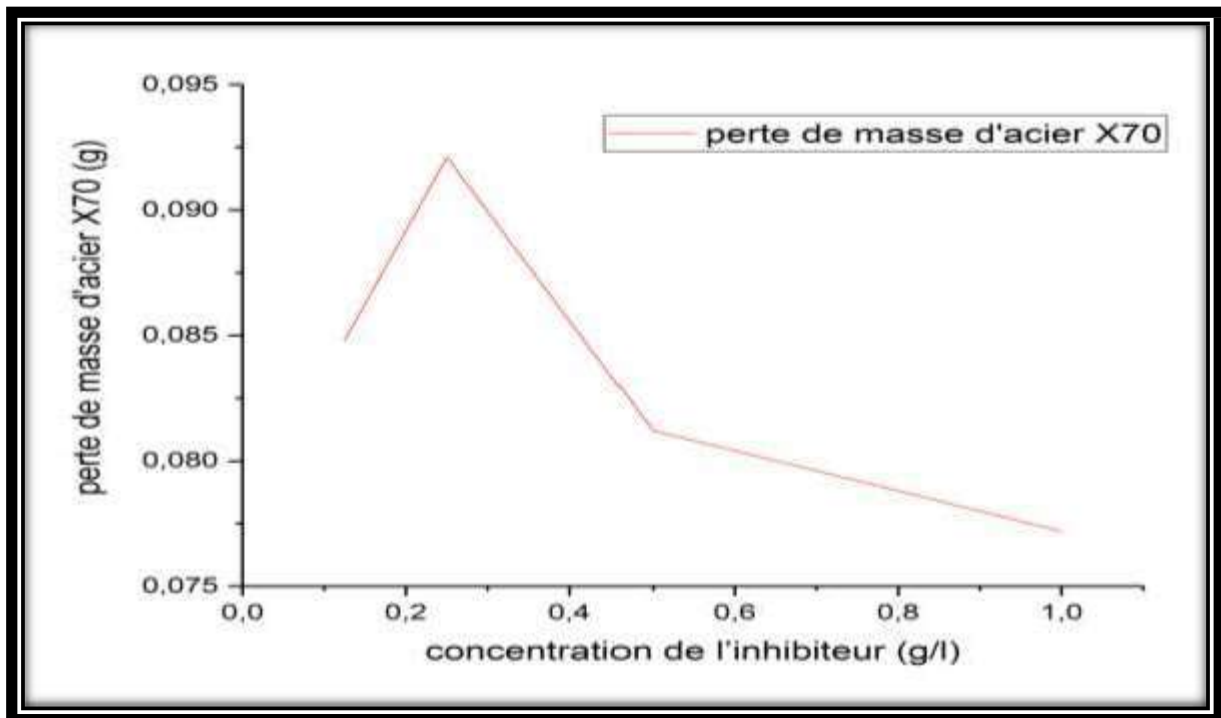


Figure III.13 : évaluation de la vitesse de corrosion en fonction de concentration de l'inhibiteur en milieu acide H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (0.5 M)

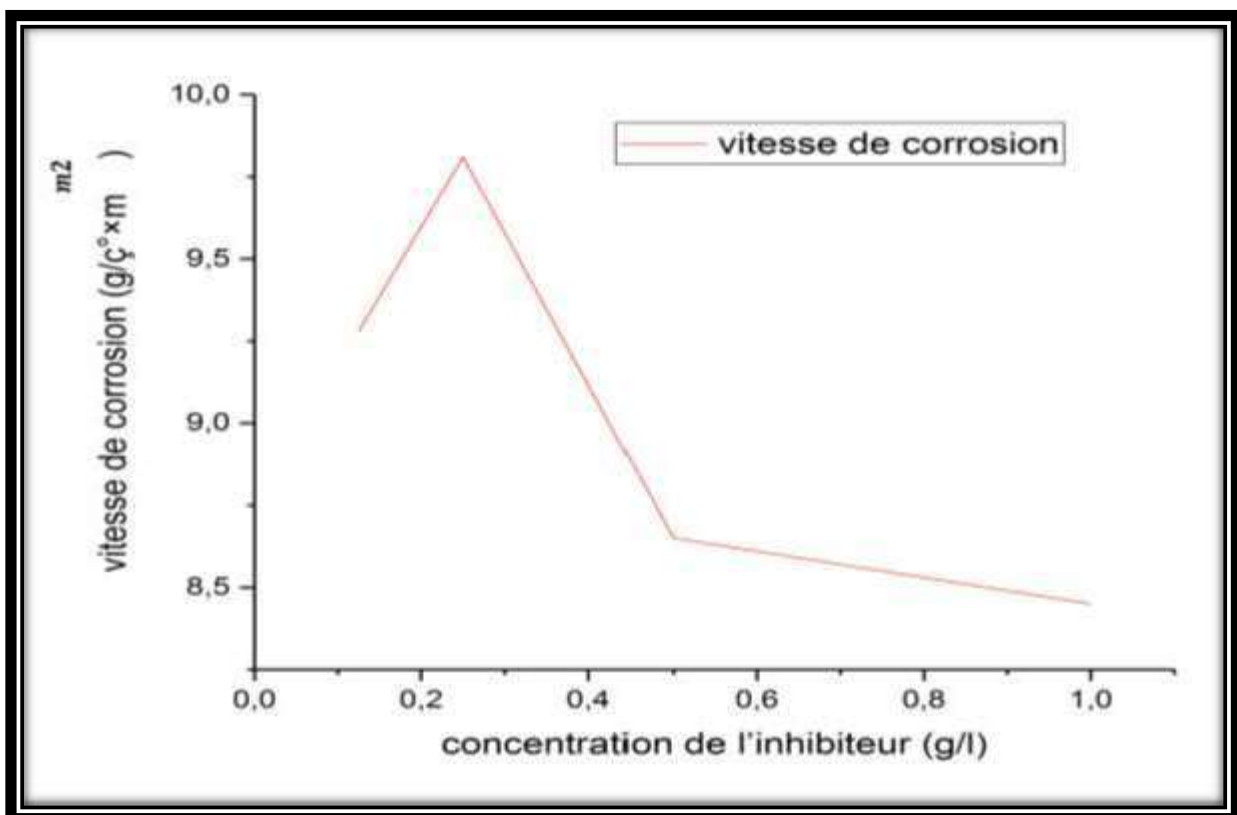
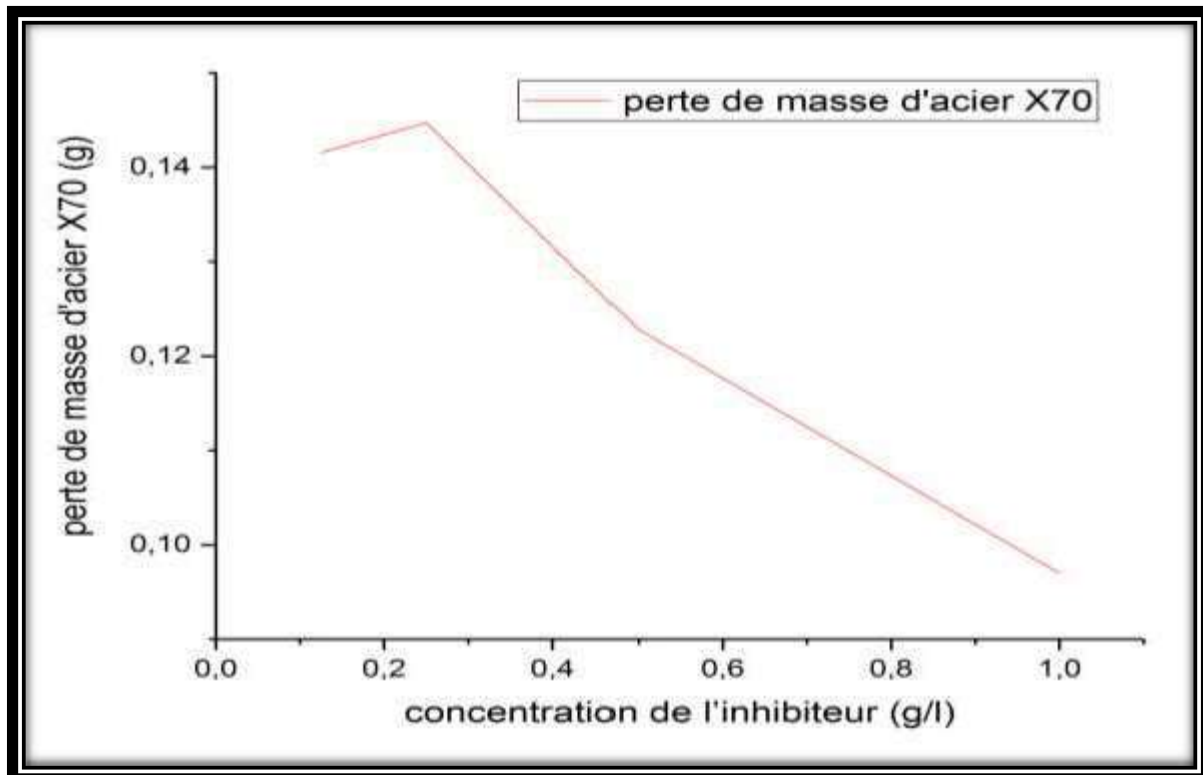


Figure III.14 : évaluation de la vitesse de corrosion en fonction de concentration de l'inhibiteur en milieu acide H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (0.5 M)

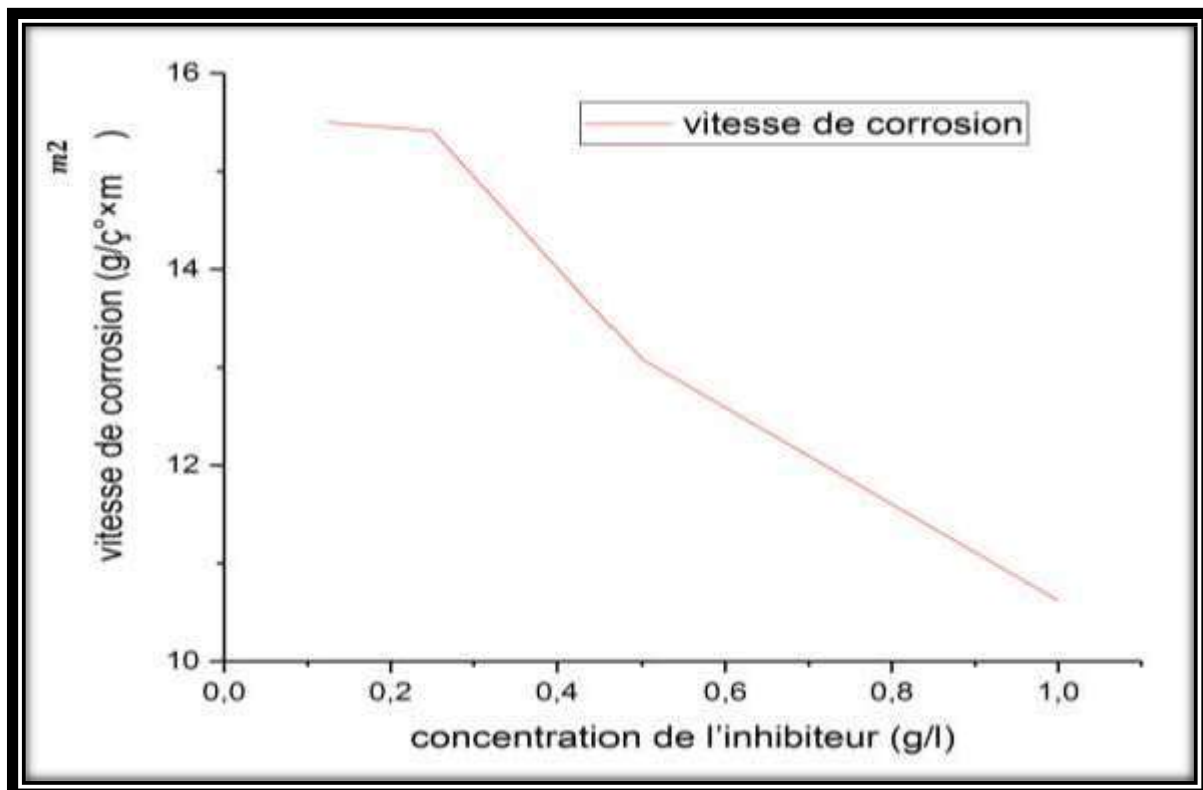
À T = 70 °C

**Tableau III.11** : Les valeurs expérimentales de perte de masse et la vitesse de corrosion d'acier (X70) en milieu acide H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (0,5M) avec d'inhibiteur à T 70°C

Concentration (g/l)	L	D	H	S	$m_0$	$m_1$	$\Delta m$
0.125	31	10,5	10,5	1522,5	17,6187	17,4771	0,1416
0.25	32	10,5	10,5	1564,5	18,9268	18,7821	0,1447
0.5	32	10,5	10,5	1564,5	17,9551	17,8323	0,1228
1	31	10,5	10,5	1522,5	17,6592	17,5622	0,097
V de corro $\times 10^{-7}$				Efficacité inhibitrice (%)			
15,5				14,97			
15,41				15,47			
13,08				28,83			
10,62				41,74			



**Figure III.15** : évaluation de la vitesse de corrosion en fonction de concentration de l'inhibiteur en milieu acide H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (0.5 M)

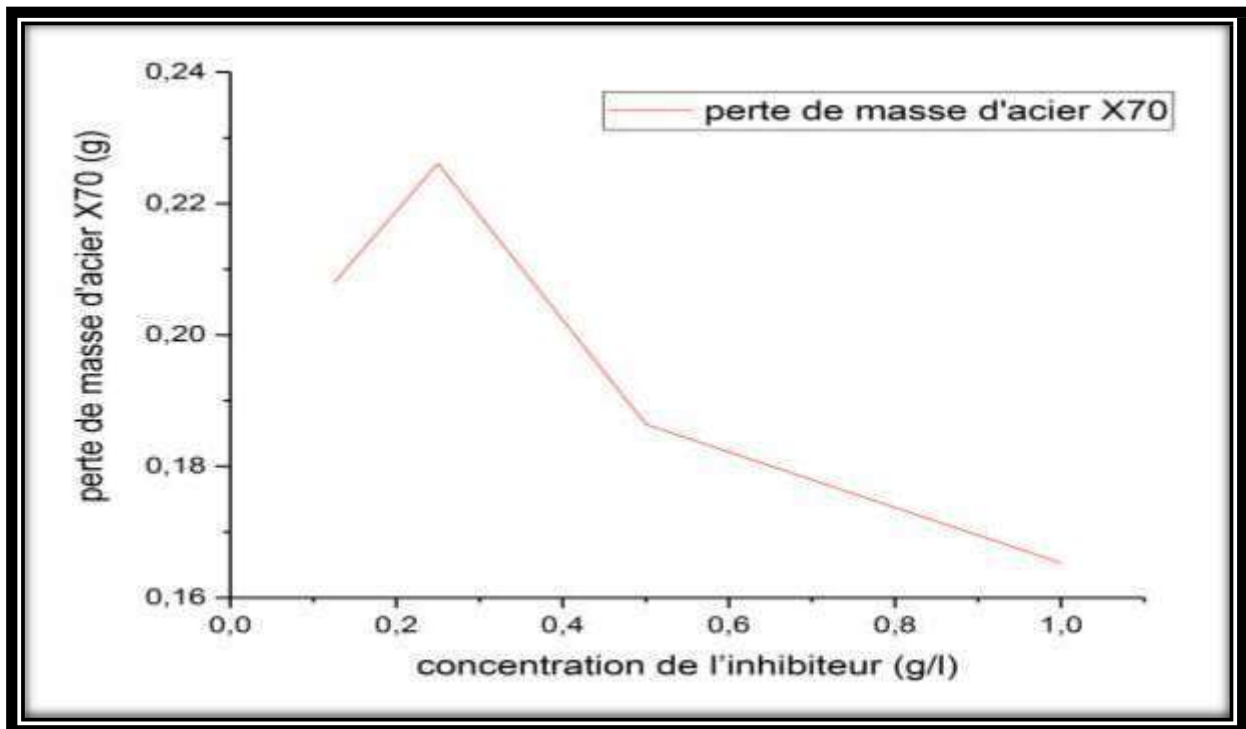


**Figure III.16** : évaluation de la vitesse de corrosion en fonction de concentration de l'inhibiteur en milieu acide H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (0.5 M)

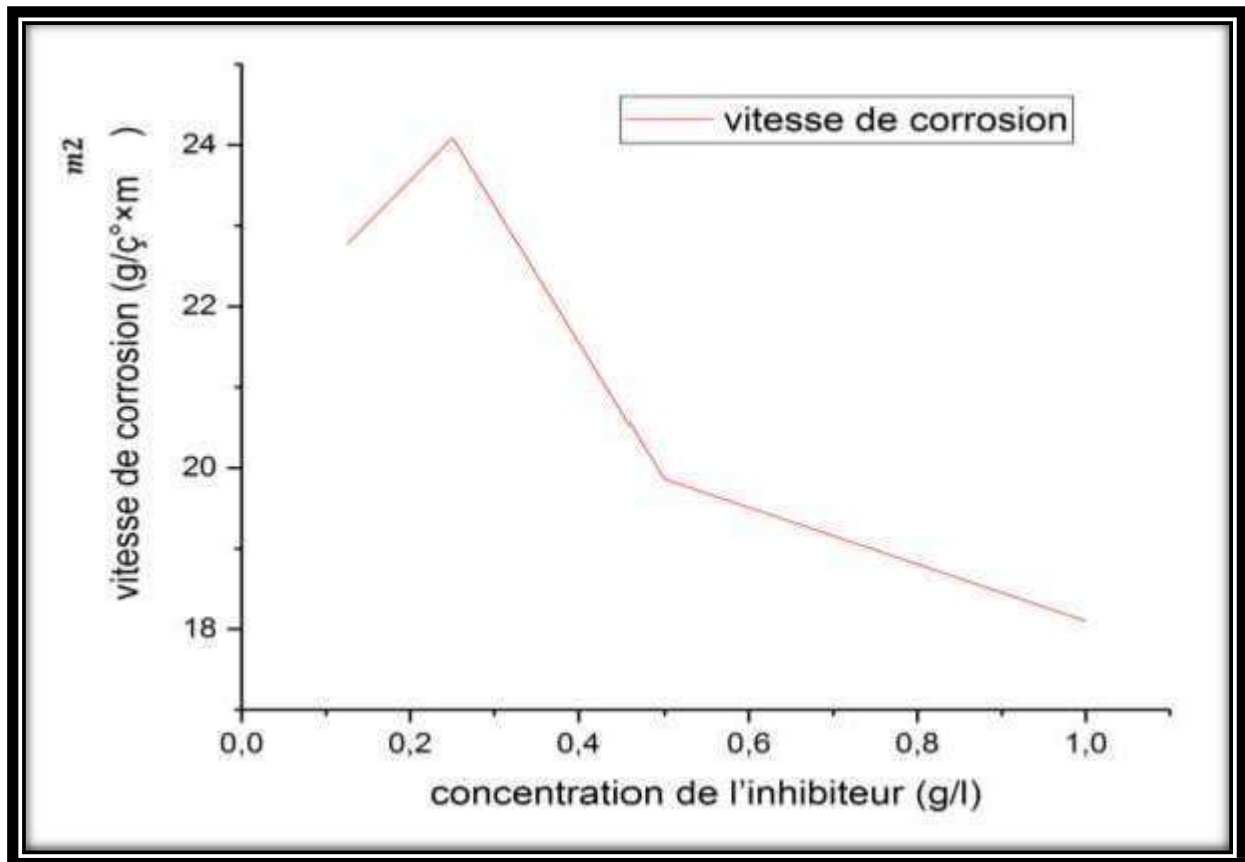
À T = 80 °C

**Tableau III.12 :** Les valeurs expérimentales de perte de masse et la vitesse de corrosion d'acier (X70) en milieu acide H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (0,5M) avec d'inhibiteur à T 80°C

Concentration (g/l)	L	D	H	S	$m_0$	$m_1$	$\Delta m$
0.125	31	10,5	10,5	1522,5	18,4262	18,2182	0,208
0.25	32	10,5	10,5	1564,5	19,5963	19,3702	0,2261
0.5	32	10,5	10,5	1564,5	18,5401	18,3537	0,1864
1	31	10,5	10,5	1522,5	18,2003	18,0350	0,1653
V de corro $\times 10^{-7}$				Efficacité inhibitrice (%)			
22,77				22,15			
24,09				17,64			
19,86				32,10			
18,1				38,12			



**Figure III.17** : évaluation de la vitesse de corrosion en fonction de concentration de l'inhibiteur en milieu acide H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (0.5 M)



**Figure III.18** : évaluation de la vitesse de corrosion en fonction de concentration de l'inhibiteur en milieu acide H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (0.5 M)

- ❖ D'après les résultats obtenus par la méthode pondérale (méthode de la perte de poids) dans le milieu corrosive H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> avec inhibiteur (*Ruta chalepensis*), nous pouvons conclure que :
  - La vitesse de corrosion est inversement proportionnelle à la concentration d'inhibiteur, chaque augmentation de concentration d'inhibiteur la vitesse de corrosion diminue. ( il s'avère qu'il a un défaut dans certaines valeurs ).
  - Si on compare les résultats des pertes de masse dans les milieux corrosive H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> avec inhibiteur et son inhibiteur, la perte de masse a diminué quand on a ajouté l'inhibiteur (*Ruta chalepensis*) il a ralenti la corrosion.
  - L'inhibiteur (*Ruta chalepensis*) s'influence pas par la température



**Chapitre IV :**

**Conclusion  
générale**

### **Conclusion**

Le présent travail a été consacré à l'étude de l'inhibition de la corrosion dans l'acide sulfurique  $H_2SO_4$  à différentes concentrations : 0,125M, 0,25M et 0,5M et 1M par l'extrait de la plante *Ruta chalepensis* et respectueuse de l'environnement.

La démarche pour étudier les propriétés inhibitrices de l'extrait de la plante Ruta Gravelons est basée sur l'utilisation de plusieurs méthodes d'extraction dans ce travail on fait l'extraction par la méthode de Clevenger.

De manière générale, l'extraction des huiles essentielles préalable à l'analyse chimique et physique se compose de deux étapes : l'extraction et l'analyse. Alors que l'étape analytique requiert en général quelques minutes, l'étape d'extraction nécessite plusieurs heures. C'est le cas de la méthode de Clevenger.

Dans ce mémoire est axé sur l'application de méthodes : méthode pondérale (méthode de la perte de poids), pour étudier inhibitrice de corrosion en milieu aqueux.

Cette méthode, appelée concerne la mesure de perte de masse et la vitesse de corrosion sans et avec inhibiteur.

## **Liste des Références bibliographiques**

- [1] H.H. Ulich, R.W. Revie « Corrosion and Corrosion Control » 3th ed, New York: John Wiley&Sons Ltd. (1985).
- [2] D. Landolt « corrosion et chimie de surface des métaux» presse polytechnique et UniversitairesRomandes, Lausanne (1993).
- [3] F. Bentiss, « hétérocycles pentaatomiques : synthèses organiques, études des propriétés inhibitrices de la corrosion et des propriétés complexantes », Habilitation à diriger des recherches(HDR), Université de Lille, France (2006).
- [4] AFNOR «Corrosion des métaux et alliages : terme principaux et définition »NF EN ISO 8044,Paris, AFNOR(2000) 78.
- [5] C.VARGEL «le comportement de l'aluminium et de ses alliages» DUNOD Technique (1979)25-105.
- [6] M. POURBAIX « Leçons de corrosion électrochimique » ed. Cebelcor (1976).
- [7] L. N. Putilova, S. A.Balezin, V. P Barranki «Métallic corrosion inhibitors», Pergamon Press,New-York, USA (1960) 196.
- [8] I. A Ammar, F. M El Khorafi, Werkst., Corrosion, 24 (1973) 702.
- [9] S. Payan, « Comportement à la corrosion galvanique de matériaux composites à matrice d'alliage d'aluminium renforcée par des fibres de carbone haut-module », Thèse de doctorat,Université de Bordeaux, France (2001).
- [10] E. S. Ivanov, «Inhibitors for Métal Corrosion in Acid Media, Metallurgy», Mscow, (Russia),(1986).

- [11] A. Popova, E. Sokolova, S. Raicheva, M. Christov, « AC and DC study of the temperature effect on mild steel corrosion in acid media in the presence of benzimidazole derivatives » *Corros.Sci.* 45(2003) 33.
- [12] S. Kherraf, « comportement électrochimique de l'acier A105 dans différents milieux. Influence de quelques inhibiteurs », Mémoire de magister, Université de Skikda, Algérie, (2008).
- [13] A. Habchi, «Etude de l'effet de la température sur la corrosion de l'acier xc52 en présence dusulfarlem et leur sel correspondent dans un milieu H2SO4 20% », Mémoire Master, Université deKasdi Merbah Ouargla, Algérie, (2013).
- [14] H. Elbakouri, « Etude de l'inhibition de la corrosion de l'acier doux au carbone en milieu acideorthophosphorique par un antibiotique organique », Mémoire pour l'obtention du Diplôme d'étudesupérieures en enseignement supérieur, Université Mohammed 1 – Oujda Maroc, (2000).
- [15] C. Defontaine, « Mécanismes de corrosion, systèmes de protection et vieillissement accéléré »,Journée thématique du 24 mars 2011.
- [16] C. Grabielli et M. Keddou, *Electrochim Acta*, 19, (1974) 335.
- [17] : NASRI. K et MAGRAOUI. S (Etude du pouvoir inhibiteur d'un composé organique synthétisé (Quinoxaline) vis-à-vis de la corrosion acide de l'acier) Mémoire de master, UniversitéDjilali Bounaâma de Khemis Miliana, 2017.
- [18] : Saouli. Z et Hadjadj. S (Etude d'effet inhibitrice de corrosion d'une série de ligand dérive duSalicylé aldéhyde) Mémoire de master, université kasdi Merbah Ouargla,2017

**Liste des Annexes**



**Annexe 1**



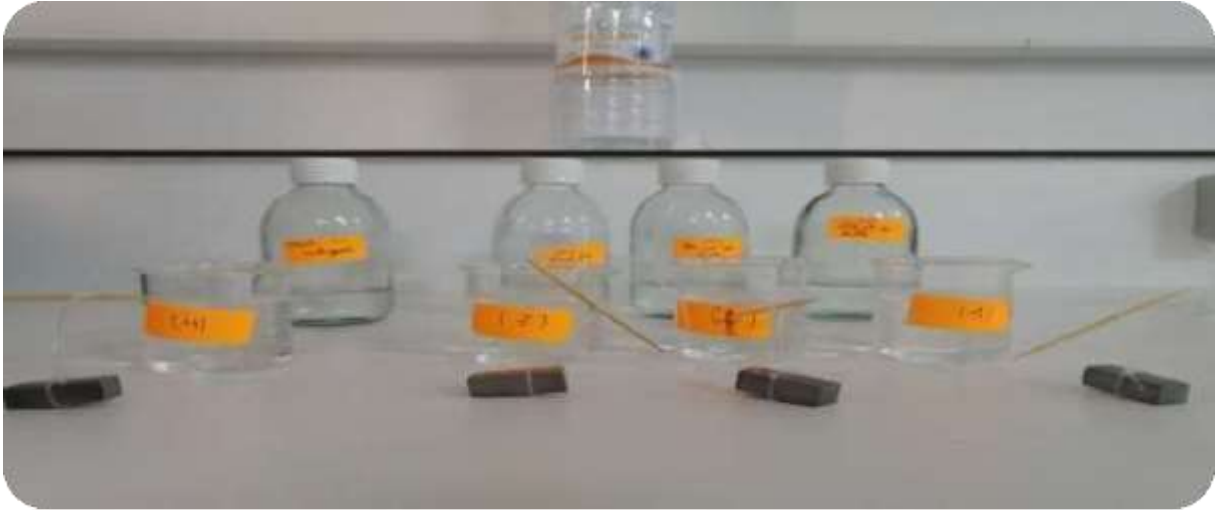
**Annexe 2**



**Annexe 3**



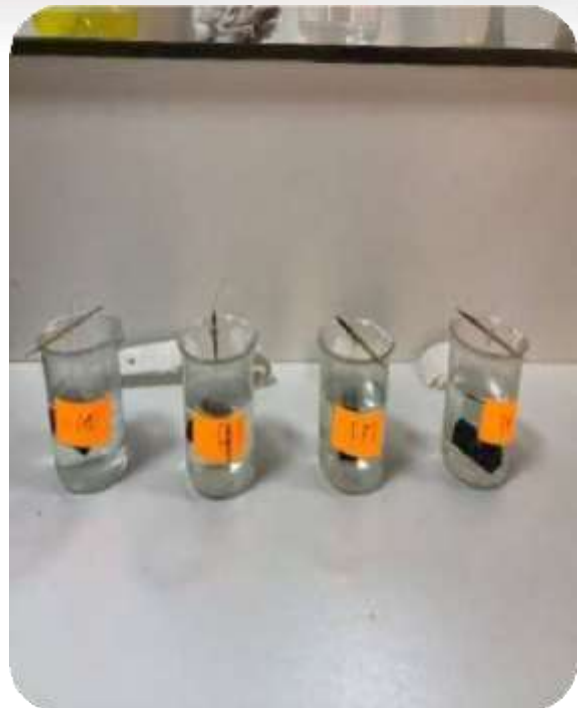
**Annexe 4**



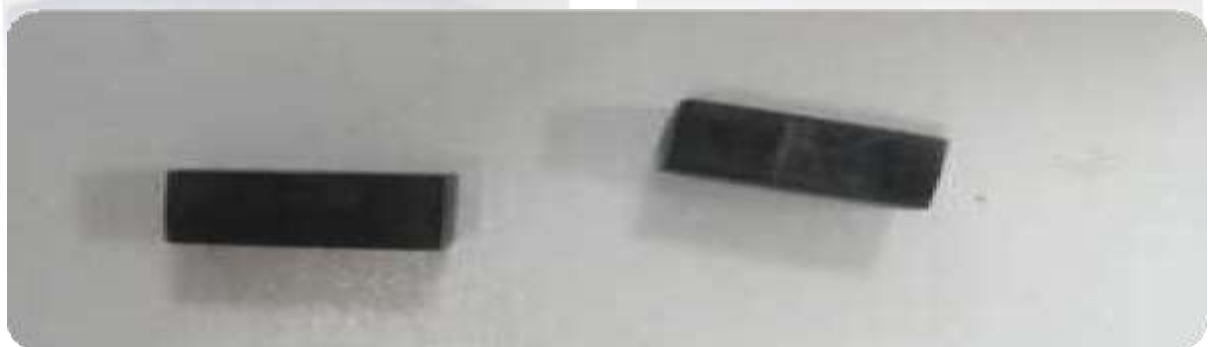
**Annexe 5**



**Annexe 6**



**Annexe 7**



**Annexe 8**