



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي



Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة الشاذلي بن جديد - الطارف

Université Chadli Bendjedid – El Tarf

كلية العلوم و التكنولوجيا

Faculté des Sciences et de la Technologie

قسم الكيمياء

Département de Chimie

## Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme de Master

**Domaine :** Sciences de la matière

**Filière :** Chimie

**Spécialité:** Chimie Analytique

### Thème

Etude de l'effet inhibiteur de la plante *Cichorium intybus* L (Chicorée sauvage) sur la corrosion d'un alliage d'aluminium dans un milieu acide 0,1M par la perte de masse.

Présenté par :

*Djeribi aya*

Devant le jury :

<b>Dr. SELAIMIA Ouassila</b>	<b>MCB</b>	Univ. Chadli Bendjedid El Tarf	Président
<b>Dr. BOUASLA Nabila</b>	<b>MCB</b>	Univ. Chadli Bendjedid El Tarf	Rapporteur
<b>Dr. ATHMANI Sameh</b>	<b>MCB</b>	Centre de Recherche Scientifique et Technique en Analyses Physico-chimique (CRAPC)-Annaba	Co-Encadreur
<b>Dr. ZERNIZ Nawel</b>	<b>MCB</b>	Univ. Chadli Bendjedid El Tarf	Examinatrice

**Année Universitaire 2020-2021**

**Dédicace**

*Je dédie ce travail à :*

*À mon père*

*À ma mère*

*À mon fiancé et sa famille*

*À mes sœurs*

*À mon frère*

*À mes amies*

*À mes cousins et cousines*

*À toute ma famille*

## **REMERCIEMENTS**

L'être humain peut nous aider à accomplir certains travaux mais sans l'aide du tout puissant, **Allah**, rien ne sera réalisé. Je ne serais là où j'en suis en ce jour, sans ma foi en dieu qui me procure la force pour avancer encore plus, donc je prie Dieu de m'aider à avancer encore plus et être à la hauteur.

Je remercie Dieu infiniment pour tous ce qu'il m'a donné et de m'avoir aidé à la réalisation de ce travail.

Je tiens à remercier ma directrice de mémoire, **Dr. BOUASLA Nabila** de m'avoir encadré. Je lui exprime toute ma reconnaissance pour ses précieux conseils et pour ses encouragements.

Je tiens à remercier **Dr ATHMANI Sameh** du Centre de Recherche Scientifique et Technique en Analyses Physico-chimiques (CRAPC) pour toute l'aide qu'elle m'a donné.

Je remercie vivement **Dr. SELAIMIA Ouassila** *pour m'avoir fait l'honneur de présider le jury* de ce mémoire.

J'exprime aussi ma gratitude à **Dr. ZERNIZ Nawel** pour avoir accepté d'examiner mon travail et de faire partie du jury de ce mémoire.

A la fin, je remercie mes parents, qui sans eux je n'aurai jamais pu arriver à ce stade. Je leur remercie d'avoir m'éduqué, me soutenu, m'encouragé et me motivé depuis ma naissance.

## *Résumé*

Dans ce travail l'effet inhibiteur de l'extrait des feuilles de la plante *Cichoriumintybus L* (Chicorée sauvage), préparé par la méthode de macération et la méthode de Soxhlet sur la corrosion d'un alliage d'aluminium dans 0,1M HCl a été étudié, en utilisant la perte de masse. La Spectroscopie FTIR (Transformation de Fourier -Infrarouge) a été utilisée, pour déterminer les groupes fonctionnels de l'extrait de la plante préparé par Soxhlet. La caractérisation de l'état de surface de l'alliage d'aluminium, avant et après attaque dans 0.1M HCl en absence et en présence de l'extrait de *Cichoriumintybus L*, a été réalisée à l'aide du microscope optique. Les efficacités inhibitrices obtenues avec la même concentration de 2%(v/v) de l'extrait des feuilles de la plante *Cichoriumintybus L* (Chicorée sauvage), préparé par la méthode de macération et la méthode de Soxhlet, à un temps d'immersion de 2h sont 81,95% et 94.47% respectivement.

**Mots clés :** corrosion, alliage d'aluminium, inhibiteur vert, *Cichoriumintybus L*, perte de masse.

### **Abstract**

In this study, the inhibitory effect of an extract of the leaves of the plant *Cichoriumintybus L* (Wild chicory) obtained by maceration method and Soxhlet method on the corrosion of an aluminum alloy in 0.1M HCl was evaluated utilizing mass loss. The functional groups of the plant extract produced by Soxhlet were determined using FTIR (Fourier Transformation-Infrared) spectroscopy. Optical microscopy was used to characterize the surface condition of the aluminum alloy before and after attack in HCl at 0.1M in the absence and presence of *Cichoriumintybus L* extract. The inhibitory efficiencies achieved with the same concentration of 2 % (v / v) of the extract of the leaves of the plant *Cichoriumintybus L* (Wild chicory) prepared by maceration method and Soxhlet method at a 2-hour immersion period are 81.95% and 94.47%, respectively.

**Key words:** corrosion, aluminum alloy, green inhibitor, *Cichoriumintybus L*, mass loss.

## ملخص

في هذا العمل تمت دراسة التأثير التثبيطي لمستخلص أوراق نبات الهندباء البرية المحضر بواسطة طريقة النقع وطريقة سوكليت على تآكل سبيكة الألومنيوم في محلول لحمض كلور الهيدروجين تركيزه 0,1 مول /ل ، وذلك باستخدام فقدان الكتلة. تم استخدام التحليل الطيفي (FTIR) لتحديد المجموعات الوظيفية لمستخلص النبات الذي حضر باستخدام طريقة سوكليت. و تم وصف الحالة السطحية لسبائك الألمنيوم، قبل وبعد الغمر في محلول حمض كلور الهيدروجين تركيزه 0,1 مول/ل في غياب و وجود مستخلص الهندباء البرية، باستخدام الفحص المجهرى الضوئي. الكفاءات المثبطة التي تم الحصول عليها بنفس التركيز 2% (حجم / حجم) من مستخلص أوراق نبات الهندباء البرية، المحضر بطريقة النقع وبواسطة طريقة سوكليت، في وقت غمر لمدة ساعتين هي 81.95% و 94.47% على التوالي.

**الكلمات المفتاحية:** التآكل، سبائك الألمنيوم، المثبط الأخضر، الهندباء البرية، فقدان الكتلة.

## *Abréviations*

<b>pH</b>	Potentiel d'hydrogène.
<b>NACE</b>	National Association of Corrosion Engineers.
<b>AMA</b>	Aminoalcool.
<b>CS</b>	<i>Cannabis sativa</i> .
<b>RS</b>	<i>Rauwolfia serpentina</i> .
<b>CC</b>	<i>Cymbopogon citratus</i> .
<b>AS</b>	<i>Annona squamosa</i>
<b>AV</b>	<i>Adhatoda vasica</i>
<b>FTIR</b>	Spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier.
<b>CIM</b>	Cichorium intybus L macérée
<b>ESCI</b>	Extrait solide des feuilles Cichorium Intybus L.
<b>MO</b>	Microscope optique

## *Liste des figures*

Figure	Titre	Page
<b>Figure I.1</b>	Perte d'épaisseur et de matière.	<b>05</b>
<b>Figure I.2</b>	Corrosion par piqûres.	<b>06</b>
<b>Figure I.3</b>	Une caverne de corrosion.	<b>06</b>
<b>Figure I.4</b>	Une fissuration par l'hydrogène.	<b>07</b>
<b>Figure I.5</b>	Corrosion intergranulaire.	<b>07</b>
<b>Figure I.6</b>	Corrosion galvanique.	<b>08</b>
<b>Figure I.7</b>	Mécanisme de la corrosion.	<b>09</b>
<b>Figure I.8</b>	Corrosion par piqûres d'un alliage d'aluminium contenant du Cu et du Fe.	<b>17</b>
<b>Figure I.9</b>	Cichoriumintybus L.	<b>21</b>
<b>Figure II.1</b>	Feuilles de Cichoriumintybus L avant (A) et après (B) le séchage.	<b>24</b>
<b>Figure II.2</b>	Moulinette électrique.	<b>25</b>
<b>Figure II.3</b>	Matériels utilisés pour la macération.	<b>26</b>
<b>Figure II.4</b>	L'extracteur Soxhlet.	<b>26</b>
<b>Figure II.5</b>	Etapas de l'extraction par Soxhlet.	<b>27</b>
<b>Figure II.6</b>	L'appareil Rotavapor.	<b>28</b>
<b>Figure II.7</b>	Extrait de la plante après la séparation du solvant.	<b>28</b>
<b>Figure II.8</b>	L'alliage d'aluminium AlSiZnCu.	<b>29</b>
<b>Figure II.9</b>	Polisseuse et papier abrasif.	<b>30</b>
<b>Figure II.10</b>	Alliage AlSiZnCu avant (A) et après (B) le polissage.	<b>31</b>
<b>Figure II.11</b>	Matériels utilisés pour les essais de la perte de masse, a) Balance analytique, b) Séchoir, c) Sans inhibiteur, d) Avec inhibiteur.	<b>31</b>

<b>Figure II.12</b>	Spectromètre à transformée de Fourier.	<b>32</b>
<b>Figure II.13</b>	Schéma de principe du microscope optique.	<b>33</b>
<b>Figure II.14</b>	Microscope optique.	<b>33</b>
<b>Figure III.1</b>	Variation de la vitesse de corrosion de l'alliage AlSiZnCu en fonction de la concentration de <b>CIM pendant 24h</b> à différents temps d'immersions dans HCl à 0.1M.	<b>36</b>
<b>Figure III.2</b>	Variation de l'efficacité inhibitrice de <b>CIM pendant 24h</b> en fonction de la concentration sur l'alliage AlSiZnCu dans HCl 0,1 M à différent temps d'immersion.	<b>36</b>
<b>Figure III.3</b>	Variation de la vitesse de corrosion de l'alliage AlSiZnCu en fonction de la concentration de <b>CIM pendant 48h</b> à différents temps d'immersions dans HCl à 0.1M.	<b>39</b>
<b>Figure III.4</b>	Variation de l'efficacité inhibitrice de <b>CIM pendant 48h</b> à différentes concentrations sur l'alliage AlSiZnCu dans HCl 0,1 M en fonction du temps d'immersion.	<b>39</b>
<b>Figure III.5</b>	Variation de la vitesse de corrosion et de l'efficacité inhibitrice de l'alliage AlSiZnCu dans 0.1M HCl en présence d'ECI à différentes concentrations.	<b>42</b>
<b>Figure III.6</b>	Spectre FTIR de l'extrait Cichoriumintybus L préparé par Soxhlet.	<b>43</b>
<b>Figure III.7</b>	Micrographie de l'alliage d'aluminium en absence d'inhibiteur.	<b>44</b>
<b>Figure III.8</b>	Micrographie de l'alliage d'aluminium en présence de 2%(v/v) <b>CIM pendant 48h</b> .	<b>44</b>

## *Liste des tableaux*

<b>Tableau</b>	<b>Titre</b>	<b>Page</b>
<b>TableauI.1</b>	Extraits de feuilles comme inhibiteurs de corrosion de l'aluminium dans différents milieux électrolytiques.	<b>19</b>
<b>TableauII.1</b>	Composition de l'alliage d'aluminium AlSiZnCu.	<b>30</b>
<b>TableauIII.1</b>	Vitesses de corrosion de l'alliage AlSiZnCu dans HCl à 0,1 M, en absence et en présence de <b>CIM pendant 24h</b> à différentes concentrations et efficacités inhibitrices calculées.	<b>35</b>
<b>TableauIII.2</b>	Vitesses de corrosion de l'alliage AlSiZnCu dans HCl à 0,1 M, en absence et en présence de <b>CIM pendant 48h</b> à différentes concentrations et efficacités inhibitrices calculées.	<b>38</b>
<b>TableauIII.3</b>	Vitesse de la corrosion de l'alliage AlSiZnCu dans 0.1M HCl en présence de <b>(ESCI)</b> en fonction de la concentration et les efficacités inhibitrices calculées.	<b>42</b>

## Sommaire

Dédicace .....	II
Remerciements .....	III
Résumé .....	IV
Abstract .....	V
ملخص .....	VI
Abréviation .....	VII
Liste de figures .....	VIII
Liste de tableaux .....	X
Sommaire .....	XI

## Chapitre I

### Aperçu bibliographique

Introduction générale .....	1
<b>I.1.La corrosion</b> .....	<b>3</b>
I.1.1. Définition de la corrosion .....	3
I.1.2. Classes de la corrosion .....	3
I.1.2.1. Corrosion chimique (Corrosion sèche) .....	3
I.1.2.2. Corrosion biochimique .....	3
I.1.2.3. Corrosion électrochimique (corrosion humide) .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
I.1.3. Formes de corrosion .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
I.1.3.1. Corrosion uniforme .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
I.1.3.2. Corrosion localisée .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
I.1.4. Mécanisme de la corrosion .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
I.1.5. La lutte contre la corrosion .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
I.1.6. Protection par inhibiteur .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
I.1.6.1. Définition .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
I.1.6.2. Propriétés .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>

I.1.7. Les classes d'inhibiteurs.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
I.1.7.1 Selon leur composition chimique .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
I.1.7.2. Selon leur mode d'action.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
I.1.7.3. Selon la nature électrochimique du processus d'inhibition	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
I.1.8. Les inhibiteurs verts .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>I.2. L'aluminium.....</b>	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
I.2.1. Définition.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
I.2.2. Les alliages de l'aluminium.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
I.2.3. Corrosion de l'aluminium.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
I.2.3.1. Corrosion de l'aluminium dans les solutions alcalines	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
I.2.3.2. Corrosion de l'aluminium en solution de chlorure	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
I.2.4. L'influence de la composition de l'alliage sur la résistance à la corrosion	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
I.2.5. Utilisations de l'aluminium .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
I.2.6. Inhibition de la corrosion d'aluminium par les extraits de plantes	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>I.3 Cichoriumintybus L. (Chicorée suavège).....</b>	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
I.3.1 Définition.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
I.3.2 Historique .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
I.3.3 Composition chimique .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
I.3.3.1 Racine.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
I.3.3.2 Graines .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
I.3.3.3 Feuilles .....	23
I.3.4 Utilisation .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>

## Chapitre II

### Techniques et méthodes expérimentales

II.1. Introduction .....	24
II.2. Matériel végétal .....	24

II.2.1. Préparation de la plante .....	24
II.2.2 Préparation de l'extrait de Cichorium intybus L .....	25
II.2.2.1 Préparation de l'extrait par macération dans HCl .....	25
II.2.2.2 Préparation de l'extrait par la méthode soxhlet .....	26
II.3 Etude de la corrosion d'un alliage d'aluminium dans un milieu acide .....	28
II.4 Procédures Expérimentales .....	29
II.4.1 Produits chimiques .....	29
II.4.2 Conditions expérimentales .....	29
II.4.2.1 Milieu corrosif .....	29
II.4.2.2 Matériau .....	29
II.4.2.3 Préparation de la surface .....	30
II.4.2.4 Inhibiteur de corrosion étudiée .....	30
II.4.2.5 Essais de perte de masse .....	30
II.4.3 Caractérisations Spectroscopiques .....	32
II.4.3.1. Spectroscopie FTIR (Transformation de Fourier-Infrarouge) .....	32
II.4.2. Microscope optique .....	32

## Chapitre III

### Résultats et discussion

III.A Etude de l'effet inhibiteur des Feuilles de CICHORIUM INTYBUS L Macérée(CIM) .....	34
III.A.1. Macération de 24heures .....	35
III.A.2. Macération de 48heures .....	38
III.B. Etude de l'effet inhibiteur de l'extrait solide des feuilles CICHORIUM INTYBUS L (ESCI) .....	41
III.C. Caractérisation spectroscopique .....	43

III.C.1.Caractérisation par FTIR.....	43
III.C.2.Microscope Optique.....	43
<b>Conclusion Générale.....</b>	<b>45</b>
<b>Références Bibliographiques .....</b>	<b>46</b>

## **Introduction générale**

L'aluminium est parmi les métaux les plus disponibles dans la nature. Il est léger et possède de bonnes propriétés thermiques et électriques. Il bénéficie d'une protection naturelle contre les agents agressifs grâce à la présence d'une couche d'oxyde sur sa surface. De ce fait l'aluminium et ses alliages sont des matériaux de choix pour une utilisation notamment dans le domaine aéronautique [1].

La corrosion est un problème majeur des industries qui utilisent les métaux. C'est un processus chimique de dégradation d'un matériau par réaction avec son environnement. Elle peut revêtir des formes variées aboutissant ainsi à une attaque généralisée ou localisée du matériau [2]. L'aluminium et ses alliages sont sujets à la corrosion généralisée et à la corrosion par piqûre, qui sont considérées comme les plus dévastatrices. La première est observée dans un milieu très acide ou très basique où l'aluminium perd sa couche protectrice d'oxyde sur la surface. La seconde est possible dans un milieu chlorure et consiste en la détérioration de la pièce en profondeur, alors que la surface paraît généralement saine ou très peu altérée, ce qui la rend difficilement détectable. Un traitement préalable peut permettre de renforcer la couche et améliorer la résistance à la corrosion de l'aluminium et ses alliages.

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 [3].

Au cours de la dernière décennie, l'utilisation d'inhibiteurs verts a été largement reconnue. Plusieurs inhibiteurs synthétisés ont considérablement réduit la corrosion des métaux et alliages dans des environnements acides. Cependant, leur toxicité et leur impact environnemental ont favorisé l'utilisation des inhibiteurs verts qui se caractérisent d'une part par leurs effets écologiques, et d'autre part par leur moindre coût et à un effet inhibiteur très élevé qui peut atteindre jusqu'à 99%.

Ce travail de master, consiste à l'étude de l'effet de la plante verte *Cichoriumintybus L* (Chicorée sauvage) sur la corrosion d'un alliage aluminium dans HCl à 0,1M par la méthode de perte de masse. Ce manuscrit est divisé en trois chapitres.

**Le premier chapitre** porte un aperçu bibliographique dans lequel, nous avons abordé la corrosion et les inhibiteurs de corrosion. Ensuite nous avons rappelé quelques généralités sur l'aluminium, sa corrosion et les inhibiteurs verts de corrosion utilisés pour la protection de

l'aluminium. En fin nous avons donné quelques notions sur la plante utilisée dans notre étude qui est *Cichoriumintybus L.*

**Le deuxième chapitre** présente les protocoles expérimentaux de notre étude, et les techniques de caractérisation utilisées.

**Le dernier chapitre** présente les résultats expérimentaux obtenus qui consistent en la mise en évidence de l'efficacité inhibitrice de la plante *Cichoriumintybus L* contre la corrosion d'un alliage d'aluminium dans 0,1M HCl.

**Une conclusion générale** qui rassemble les résultats obtenus et les perspectives d'étude.

## **I.1. La corrosion**

### **I.1.1. Définition de la corrosion**

La corrosion est définie comme la dégradation des métaux par des réactions chimiques ou électrochimiques. C'est un processus de désintégration courant qui constitue une menace nocive par l'atmosphère du métal, qui transforme les oxydes métalliques en substances corrosives [4,5]. La corrosion est la préoccupation la plus grave dans le monde manufacturier d'aujourd'hui, car cela peut détruire rapidement les métaux et infliger de graves pertes économiques.

### **I.1.2. Classes de la corrosion**

#### **I.1.2.1. Corrosion chimique (Corrosion sèche)**

La corrosion sèche correspond à l'attaque d'un métal M par un gaz G pour donner le composé C :



Tous les métaux et alliages, à l'exception des métaux nobles (l'or, par exemple), sont attaqués par les gaz à température suffisamment élevée. Parmi toutes les réactions possibles, ce sont surtout celles avec l'oxygène qui ont été le plus étudiées : au sens traditionnel du terme c'est l'oxydation. Mais, en fait, on peut donner à ce dernier terme son sens le plus large et qui caractérise alors l'action d'un élément électro-négatif sur un métal ou un alliage : soufre, halogènes (Cl, Br, I), azote, etc. Ces différents éléments actifs peuvent être sous forme libre ou sous forme combinée : vapeur d'eau, monoxyde et dioxyde de carbone, anhydride sulfureux et hydrogène sulfuré, ammoniac, etc.

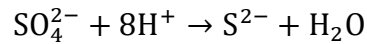
L'action de ces différents éléments obéit généralement aux mêmes principes et lois et s'étudie expérimentalement selon les mêmes méthodes. Il est alors possible de décrire plus particulièrement les réactions avec l'oxygène, étant bien entendu que les résultats peuvent être étendus à d'autres éléments électro-négatifs [6].

#### **I.1.2.2. Corrosion biochimique**

C'est l'attaque bactérienne des métaux en particulier dans les canalisations enterrées. Le mécanisme de ce mode de corrosion peut être de plusieurs types.

a. Chimique par production de substances corrosives telles que  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{NH}_3$  ou d'un acide organique. Le cas le plus répandu est celui rencontré dans les canalisations enterrées et déterminé par la formation d'acide sulfurique qui attaque le métal.

b. Certaines bactéries peuvent réduire les sulfates par l'intermédiaire d'hydrogène.

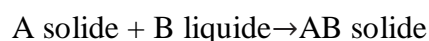


c. Dans certains cas, on peut observer sur les canalisations des dépôts adhérents résultants de l'attaque, non pas du métal lui-même, mais celle de certains constituants du milieu ambiant par des bactéries. Il en résulte la formation de piqûres sur le métal, à l'endroit où s'est produit le dépôt, suivant un processus de corrosion par différence de concentration en oxygène[7].

### **I.1.2.3. Corrosion électrochimique (corrosion humide)**

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

L'existence de ces hétérogénéités détermine la formation d'une pile, alors un courant électrique circule entre anodes et cathodes. Pour une corrosion électrochimique on a :



Autrement appelée corrosion humide, la corrosion électrochimique représente par ailleurs la grande majorité des problèmes de corrosion rencontrés car liée à la présence de l'eau au contact des métaux. C'est le cas en particulier des environnements naturels, tels que les eaux douces, l'eau de mer ou les sols. C'est aussi le cas de la plupart des milieux liquides de l'industrie, ainsi que des gaz conduisant à des condensations liquides contenant de l'eau[8].

### **I.1.3. Formes de corrosion**

#### **I.1.3.1. Corrosion uniforme**

La corrosion uniforme est le type de corrosion le plus important et est également appelée corrosion généralisée. En effet c'est la forme de corrosion qui s'est produite le plus souvent. En corrosion uniforme, une substance corrosive donne une distribution uniforme de la vitesse de corrosion sur toute la surface métallique et réduit l'épaisseur de la densité du métal (**Figure I.1.**)[9].



**Figure I.1.**Perte d'épaisseur et de matière

#### **I.1.3.2. Corrosion localisée**

##### **a) Corrosion par piqûre**

La corrosion par piqûres (**Figure I.2.**) est une forme localisée de corrosion et se produit dans des régions séparées des métaux et met beaucoup de temps à sortir. Elle est causée par des trous profonds et des cavités dans une certaine zone du métal ions et c'est la corrosion la plus dangereuse par rapport aux autres en raison de son identification. La corrosion par piqûres provoque la rupture de film d'oxyde mince qui protège les métaux lorsqu'il est attaqué par certain ion notamment les halogénures (chlorures...)[10].

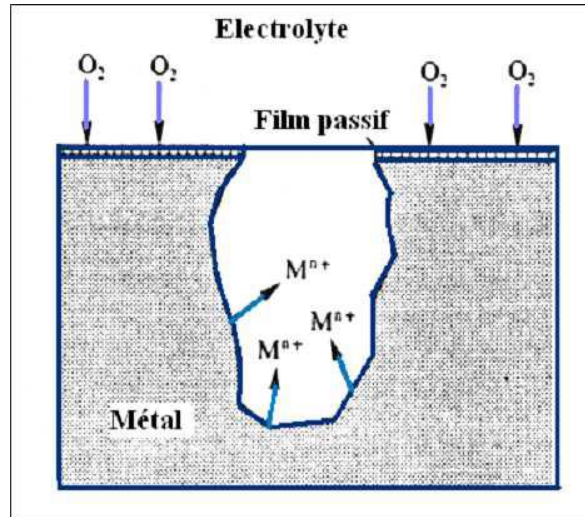


Figure I.2. Corrosion par piqûres.

### b) Corrosion caverneuse

La corrosion caverneuse est également appelée corrosion sous dépôt et c'est l'une des formes localisées de la corrosion. Elle s'est produit dans une crevasse et des zones confinées, en raison de la présence d'une concentration de constituants chimiques et des facteurs environnementaux (oxygène, pH plus élevé) qui conduit à la fracturation du métal [9]. Par exemple tous les types d'aciers inoxydables sont susceptibles de subir une corrosion caverneuse (Joints, replis...)[11]. Cette forme d'attaque est liée à des phénomènes d'hydrolyse et, en conséquence, à une diminution locale du pH, les ions  $\text{Cl}^-$  jouant un rôle important [12]. Dans la (Figure I.3.), on observe une caverne de corrosion formée sous calorifuge à la surface d'un acier inoxydable.

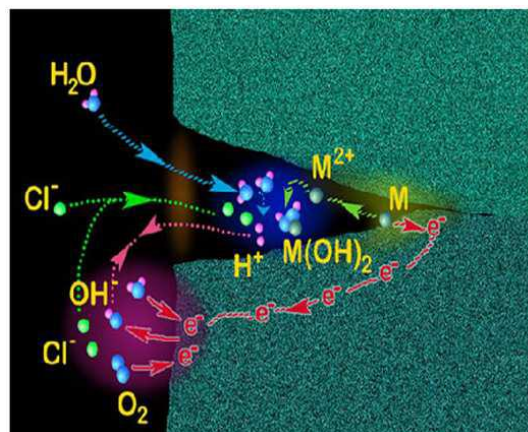


Figure I.3. Une caverne de corrosion.

### c) Fissuration induite par l'environnement

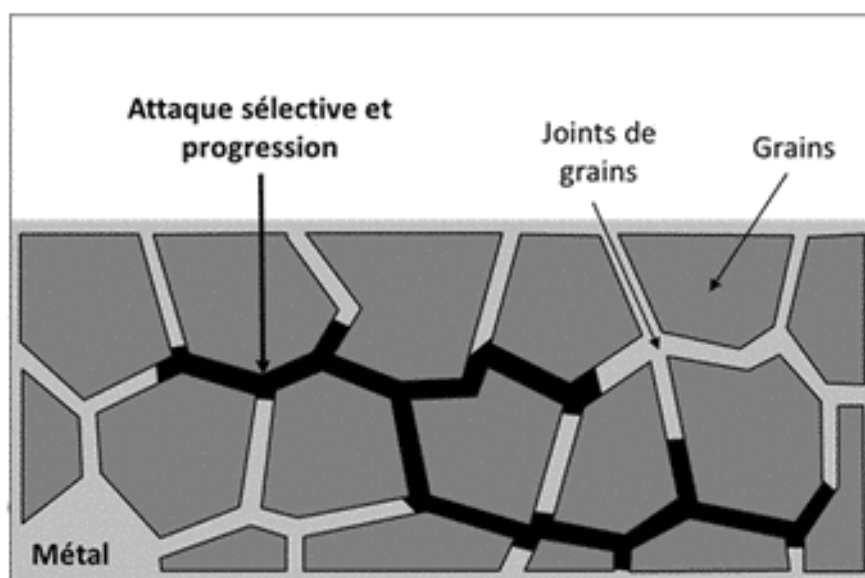
La fissuration par corrosion sous contrainte est une fissuration des métaux sous la pression de la contrainte atmosphérique et l'environnement chimique. La contrainte peut rompre le film passif des métaux[13]. Une fissuration par l'hydrogène (**Figure I.4.**) peut se produire si le métal est soumis à des contraintes de traction statiques ou cycliques.



**Figure I.4.** Une fissuration par l'hydrogène [14].

### d) Corrosion intergranulaire

Cette corrosion se développe aux points de jonction des grains du métal, détruisant progressivement la cohésion du matériau (**Figure I.5.**). Cette manifestation est quasiment invisible à l'œil nu mais affecte considérablement la résistance mécanique du métal[15]. La corrosion intergranulaire survient lorsqu'il y a une différence de potentiel d'au moins 100mV entre les joints de grain et les grains. Cette différence de potentiel survient lorsqu'il y a présence de précipité métallique aux joints de grain[16].



**Figure I.5.** Corrosion intergranulaire.

### **e) La corrosion galvanique**

La corrosion galvanique(**Figure I.6.**) ou corrosion bimétallique ou corrosion métallique différente ou corrosion accélérée est une forme supplémentaire de corrosion localisée. Cette forme de corrosion se produit lorsque deux métaux disparates ont immergé dans un électrolyte. Le couplage électrique de deux métaux induit une polarisation des surfaces métalliques. Cette dernière augmente la résistance à la corrosion de l'alliage le plus noble (la cathode) et la diminution de la résistance à la corrosion de l'alliage le moins noble (l'anode). Donc cette corrosion est due à la formation d'une pile qui conduit à une attaque distincte[13].



**Figure I.6.** Corrosion galvanique.

#### **I.1.4. Mécanisme de la corrosion**

Le mécanisme de formation des produits de corrosion repose généralement sur les étapes schématisées sur la (**figure I.7**)et elles se résument comme suit :

- 1) Adsorption et dissociation des molécules de dioxygène en surface du métal.
- 2) Réaction entre les atomes d'oxygène sur la surface du métal pour former des germes d'oxydes.
- 3) Croissance latérale des oxydes des germes jusqu'à la jonction, formation d'un film continu.
- 4) Croissance du film d'oxyde en épaisseur par diffusion dans le film.
- 5) Rupture du film d'oxyde par les contraintes induites par sa croissance et par le cyclage thermique[17].

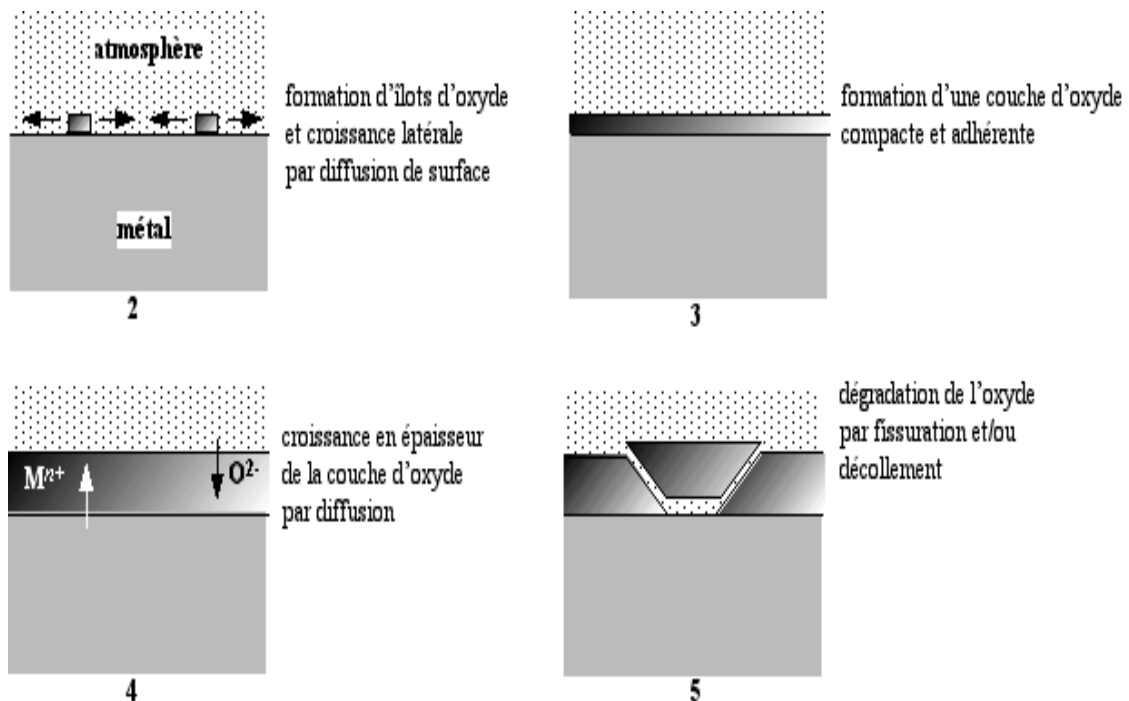
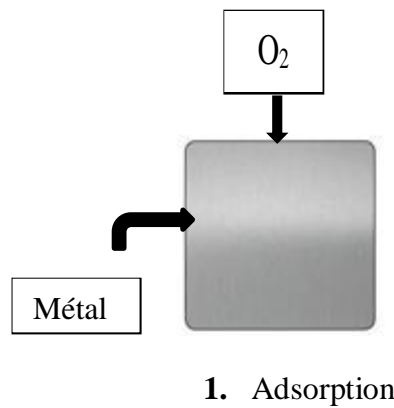


Figure I.7. Mécanisme de la corrosion[17].

### I.1.5. La lutte contre la corrosion

Les coûts dus à la détérioration annuelle des matériaux ont conduit à la mise en œuvre de méthodes de protection. Elles ciblent à économiser les matériaux et l'énergie, et de nouvelles restrictions sont ajoutées, comme l'utilisation de produits non toxiques. Une solution efficace et durable n'est rien de plus qu'un compromis qui prend en compte tous ces facteurs, qu'il s'agisse de contraintes économiques ou de normes scientifiques[18].

La protection la plus immédiate est de choisir des métaux ou alliages résistants aux milieux corrosifs. De plus dès la phase de conception d'une installation, la protection contre la corrosion doit être considérée pour éviter de nombreux problèmes et garantir une certaine durée de vie[19].

Ils existent plusieurs techniques de protection parmi lesquelles :

- Prévention par une forme adaptée des pièces.
- Prévention par un choix judicieux des matériaux.
- Protection par revêtements.
- Protection par inhibiteurs.

### **I.1.6. Protection par inhibiteur**

#### **I.1.6.1. Définition**

La définition d'un inhibiteur de corrosion n'est pas unique, mais la définition adoptée par la National Association of Corrosion Engineers (NACE) est la suivante : Un inhibiteur est « une substance qui ralentit la corrosion lorsqu'elle est ajoutée à un milieu à faible concentration »[20].

#### **I.1.6.2. Propriétés**

Les inhibiteurs de corrosion devraient réduire la vitesse de corrosion des métaux tout en préservant leurs propriétés physiques et chimiques. Non seulement il doit être stable en présence d'autres composants du milieu, mais il ne doit pas non plus affecter la stabilité des espèces contenues dans ce milieu. Les inhibiteurs sont clairement reconnus s'ils sont stables à la température d'utilisation et efficace à de faibles concentrations. Ils peuvent être utilisés en vue d'une protection permanente (surveillance primordiale du dispositif) ou plus souvent en vue d'une protection provisoire : durant une période où la pièce est fortement sensible à la corrosion (stockage, décapage, nettoyage,...) ou encore lorsque la pièce est soumise à des usinages très sévères comme le perçage, taraudage, forage, filetage,...[20].

### **I.1.7. Les classes d'inhibiteurs**

#### **I.1.7.1 Selon leur composition chimique**

##### **a) Les inhibiteurs minéraux**

Les molécules minérales sont le plus souvent utilisées dans des environnements quasi neutres ou alcalins, et rarement dans des milieux acides. Les produits de dissociation en solution sont ceux qui produisent un phénomène inhibiteur (anion ou cation). Les principaux anions inhibiteurs sont les oxo-anions de type  $XO_4^{n-}$ , tels que les chromates, les molybdates, les phosphates et les silicates. Les cations sont principalement  $Ca^{+2}$  et  $Zn^{+2}$  formant des sels insolubles avec certains anions tels que l'hydroxyle  $OH^-$ . Le nombre de molécules utilisées aujourd'hui diminue car les produits les plus efficaces sont nocifs pour l'environnement.

##### **b) Les inhibiteurs organiques**

Les molécules organiques présentent un potentiel évident pour le développement d'inhibiteurs de corrosion. Actuellement, l'utilisation de molécules organiques est préférée aux inhibiteurs inorganiques, principalement pour des raisons de toxicité environnementale. Les inhibiteurs organiques sont souvent fabriqués par des sous-produits de l'industrie pétrolière[21]. Ils ont au moins un centre actif capable 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 ( $-NH_2$ ),
- Le radical mercapto ( $-SH$ ),
- Le radical hydroxyle ( $-OH$ ),
- Le radical carboxyle ( $-COOH$ ).

#### **I.1.7.2. Selon leur mode d'action**

##### **a) Les inhibiteurs d'adsorption**

Entre l'espèce adsorbée et la surface métallique existent deux types de liaisons: liaison électrostatique et liaison chimique, donc deux types distincts d'adsorption : la physisorption et la chimisorption. L'adsorption physique conserve l'identité aux molécules adsorbées. On distingue ici trois types des liaisons : les

liaisons de Van der Waals (toujours présentes), les liaisons polaires (dépendant des charges de surface et de l'inhibiteur) et les liaisons hydrogène (s'établissant entre un donneur de liaison hydrogène et un accepteur, uniquement N, O, P porteur de doublets libres)[22]. Par contre, la chimisorption résulte de la mise en commun des électrons entre la surface métallique et la molécule d'inhibiteur (un centre actif comme les atomes N, S, P, O) et ainsi se forment des liaisons chimiques covalentes très fortes. L'inhibiteur a le comportement d'un donneur d'électrons vis-à-vis de l'atome métallique de la surface.

#### **b) Les inhibiteurs passivant**

Ces inhibiteurs forment des films de passivation tridimensionnels entre la surface corrodée et les molécules d'inhibiteur. L'inhibition s'appelle aussi inhibition d'interphase. Ils sont également incorporés dans les couches barrières et ainsi ces molécules inhibitrices conduisent à des réseaux homogènes et denses présentant de ce fait une faible porosité et une bonne stabilité [23].

### **I.1.7.3. Selon la nature électrochimique du processus d'inhibition**

#### **a) Les inhibiteurs anodiques**

Il existe de nombreux inhibiteurs bipolaires. Ce sont des substances inorganiques telles que l'orthophosphate, le silicate et le chromate. Leur mécanisme d'action est d'augmenter la valeur du potentiel corrosif du matériau à la valeur à laquelle un film passif protecteur est formée sur l'anode[24].

#### **b) Les inhibiteurs cathodiques.**

L'action de ces inhibiteurs se traduit par une diminution de la vitesse de la réaction cathodique et donc par un déplacement du potentiel de corrosion vers des valeurs moins nobles. Ce sont généralement des cations qui peuvent migrer vers la surface cathodique, où ils précipitent sous formes de sels basiques ou d'hydroxydes, formant des films adhérents et compacts[24].

#### **c) Les inhibiteurs mixtes**

Les inhibiteurs mixtes agissent simultanément sur les sites anodiques et cathodiques. Ils réduisent le taux de corrosion sans modifier le potentiel de corrosion. Ils sont généralement adsorbés à l'extérieur de la surface de l'acier exposée à l'inhibiteur, formant une fine couche protectrice. Les inhibiteurs mixtes, avec les

groupements hydrophobes qui ont les groupes polaires tels que N, S, OH sont efficaces. Des composés organiques de polymère tels que l'amine et l'aminoalcool (AMA) sont également employés [25].

### **I.1.8. Les inhibiteurs verts**

Ces dernières années, les inhibiteurs de corrosion verts ont reçu de plus en plus d'attention en tant que technologie efficace et respectueuse de l'environnement. Plusieurs sources courantes de ces d'inhibiteurs comprennent des extraits de plantes, des médicaments, des liquides ioniques et des inhibiteurs synthétiques. En raison de ses diverses propriétés physiques, chimiques et biologiques, les plantes (c'est-à-dire les extraits et les huiles) sont une source importante de divers inhibiteurs de corrosion verte dans différents milieux acides. Autres avantages des plantes en tant que sources d'inhibiteurs de corrosion incluent la disponibilité de ressources abondantes à faible coût et leur biodégradabilité. Les plantes sont connues comme une riche source de composés chimiques, faciles à extraire avec un faible coût et une pollution environnementale minimale. Les liquides ioniques sont également des solvants verts composés d'ions capables de dissoudre différents types de composés inorganiques et organiques. L'application croissante des liquides ioniques dans presque tous les domaines du génie chimique, résulte de leurs propriétés attrayantes, les ont qualifiées comme de produits chimiques respectueux de l'environnement. Concernant l'utilisation de médicaments comme source d'inhibiteurs de corrosion verte, il s'agit de substances aux structures relativement complexes composées de constituants naturels ou synthétisés. Les médicaments dérivés de ressources naturelles ont attiré l'attention au cours des dernières années pour les utilisations comme inhibiteurs de corrosion. En outre il existe une tendance croissante à utiliser les médicaments périmés comme inhibiteurs de corrosion. En effet ceci réduit les coûts de leur élimination et la pollution de l'environnement [26,27].

## **I.2. L'aluminium**

### **I.2.1. Définition**

L'aluminium est un métal mou, léger, et résistant avec un aspect gris mat. Celui-ci provient d'une mince couche d'oxydation (cinq à dix nanomètres) qui se forme spontanément quand il est exposé à l'air. Cette couche empêche la corrosion de progresser dans des conditions normales.

À la différence de la plupart des métaux, il est utilisable même s'il est oxydé en surface. D'ailleurs, sans cette couche d'oxyde, il serait inadapté à la plupart de ses applications.

La densité de l'aluminium est trois fois plus faible que celle de l'acier ou du cuivre. C'est le deuxième métal le plus malléable et le sixième le plus ductile, l'aluminium est facilement usiné ou moulé. Il est paramagnétique et ne provoque pas d'étincelles. L'aluminium devient transparent dans les ultraviolets extrêmes quand il est bombardé par un laser à électrons libres[28].

### **I.2.2. Les alliages de l'aluminium**

Bien que l'aluminium soit parfois utilisé tel quel, on lui ajoute généralement de petites quantités d'autres métaux pour obtenir des alliages aux propriétés particulières. Certains éléments d'alliage augmentent la résistance mécanique ou la résistance à la corrosion. D'autres améliorent l'aptitude à l'usinage, la malléabilité, la soudabilité et la résistance aux températures élevées. Comme exemples, on peut citer :

- les canettes d'aluminium sont faites d'un alliage renfermant du magnésium et du manganèse, qui leur procurent plus de résistance et plus de malléabilité,
- L'aluminium augmenté de magnésium et de silicium a une résistance améliorée à la corrosion, ce qui en fait un matériau apprécié pour les portes et les cadres de fenêtres et pour les bateaux de plaisance,
- L'ajout de cuivre et de zinc à l'aluminium produit des alliages d'une résistance mécanique remarquable. L'ajout de chrome, de manganèse et de titane à l'aluminium modifie la dimension des grains du métal.

Dans le domaine de l'architecture, qui exige des surfaces alliant esthétique et résistante à la corrosion, on emploie des alliages aluminium-magnésium-silicium[29].

### **I.2.3. Corrosion de l'aluminium**

Le potentiel d'électrode standard indique que l'aluminium est un métal thermodynamiquement réactif, juste derrière le magnésium parmi les métaux d'ingénierie courants[30]. Cependant, le diagramme de Pourbaix pour le système aluminium-eau montre que dans l'intervalle de pH du 5 à 8.5, l'aluminium est thermodynamiquement stable. Cette stabilité est en raison de la formation d'une couche d'oxyde amorphe sur la surface de l'aluminium [31,32].

La couche d'oxyde empêche l'attaque supplémentaire de l'aluminium par l'environnement corrosif, le rendant passif. Cet état passif peut être modifié par plusieurs facteurs, parmi lesquels le pH, la température et la teneur en chlorure sont les plus importants. Dans les sections suivantes, le comportement à la corrosion de l'aluminium et ses alliages en solutions alcalines et chlorées sont présentés. De plus, l'effet de la composition chimique sur la résistance à la corrosion est également discuté.

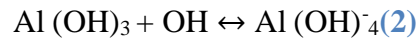
#### **I.2.3.1. Corrosion de l'aluminium dans les solutions alcalines**

L'aluminium et nombre de ses alliages sont sensibles à la corrosion lorsqu'il est exposé à des solutions alcalines. Ceci est fréquemment rapporté pour l'hydroxyde de sodium et de potassium.

Une résistance élevée à la corrosion est observée dans les solutions d'hydroxyde d'ammonium pour la plupart des alliages d'aluminium. La présence d'environ 4 % en poids de Mg dans les alliages d'aluminium augmente leur résistance à la corrosion dans les solutions alcalines, encore plus dans les solutions d'hydroxyde d'ammonium[33,34]. Pyun et Moon ont étudié le mécanisme de corrosion de l'aluminium pur en solution alcaline, en utilisant des techniques électrochimiques[35,36]. Ils ont rapporté que la dissolution l'aluminium se fait d'abord par la formation d'un film d'hydroxyde puis sa dissolution sous forme de réaction anodique partielle. Les mêmes auteurs[37,38] ont précédemment conclu que le film est formé électrochimiquement en raison de la migration du ions hydroxyde à travers la couche d'oxyde sur la surface de l'aluminium, comme indiqué dans l'équation (1) :



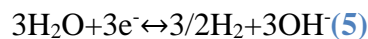
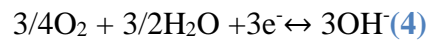
Le film d'hydroxyde d'aluminium est ensuite dissous chimiquement par l'attaque des ions hydroxyde pour former les ions d'aluminate soluble (Equation (2)):



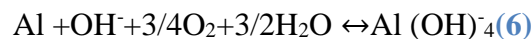
La combinaison de l'équation (1) et l'équation (2) donne la réaction partielle de la dissolution anodique de l'aluminium pur dans des solutions alcalines, comme indiqué dans l'équation (3):



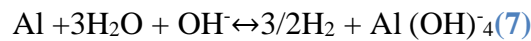
Il existe deux réactions cathodiques partielles possibles, la réduction d'oxygène et / ou la réduction de l'eau, représentée par les équations (4) et (5) :



La réaction de corrosion peut être résumée en combinant les équations (3) et (4) :



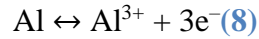
et/ou en combinant des équations. (3) et (5):



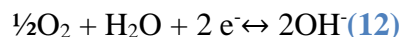
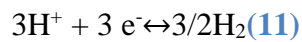
Des travaux expérimentaux montrent que lors de la corrosion de l'aluminium pur en solution alcaline, du gaz se dégage, ce qui confirme que le processus de dissolution de l'aluminium passe principalement par la réduction de l'eau.

### **1.2.3.2. Corrosion de l'aluminium en solution de chlorure**

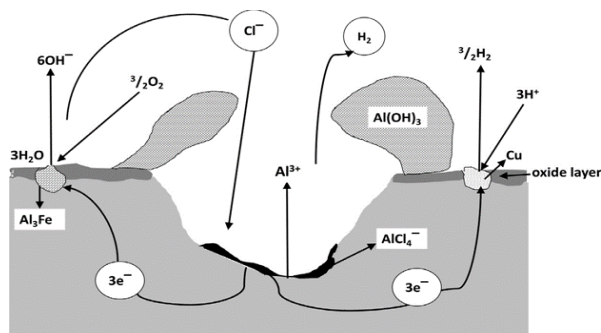
La corrosion par piqûres est le type de corrosion de l'aluminium le plus dangereux. Il se présente sous forme de trous et de fosses de formes irrégulières sur la surface du métal. Le diamètre et la profondeur des piqûres dépendent du type de matériau, du milieu corrosif et des propriétés de l'environnement auquel l'aluminium et ses alliages sont exposés. La corrosion par piqûres de l'aluminium se produit fréquemment dans les solutions de chlorure aérées. Les ions chlorure attaquent la couche d'oxyde naturel, l'endommageant dans les parties les plus fragiles. Sur les sites anodiques deux réactions principales se produisent :



L'équation (9) montre que sur les sites anodiques, un environnement plus acide (pH=3–4) est créé. Les ions chlorure facilitent la dissolution anodique de l'aluminium, formant du chlorure d'aluminium. Ce dernier s'hydrolyse pour former l'hydroxyde et l'acide, ce qui fait passer le pH à des valeurs acides. Les équations (10) - (12) montrent les réactions possibles aux sites cathodiques



Comme on le voit dans l'équation (12), les sites cathodiques sont plus alcalins en raison de la formation locale d'hydroxyde. La présence d'oxygène est cruciale pour la formation de piqûres. Des accumulations coniques de produits de corrosion se forment à l'embouchure des fosses en raison de la précipitation d'hydroxyde d'aluminium à l'extérieur des fosses **(Figure I.8.)**[32,35].



**Figure I.8.** Corrosion par piqûres d'un alliage d'aluminium contenant du Cu et du Fe[32,35].

#### **I.2.4.L'influence de la composition de l'alliage sur la résistance à la corrosion**

Les phénomènes de corrosion des alliages d'aluminium peuvent être dissociés en deux catégories : la corrosion généralisée (uniforme) et la corrosion localisée. Ceux-ci sont conditionnés par certains facteurs de premiers ordres comme : la

composition et la microstructure des alliages, le milieu corrosif (le pH et les conditions physico-chimiques). La corrosion généralisée (ou uniforme) se traduit par une diminution uniforme et régulière d'épaisseur sur toute la pièce. La corrosion localisée se manifeste sur une zone restreinte ; le reste de la surface n'est pas attaqué [39]. La résistance des alliages à la corrosion par piqûres augmente de manière significative avec l'augmentation de la pureté.

### **I.2.5. Utilisations de l'aluminium**

L'aluminium est un excellent matériau d'emballage, en raison de son innocuité, de son imperméabilité et de son opacité aux rayons ultraviolets. Il est surtout utilisé dans la fabrication de profilés laminés : cornières, profils en U, en double T, tubes de sections ronde ou rectangulaire.

Une grande quantité d'alliages d'aluminium est dépensée à la fabrication de rivets et de boulons.

Dans le bâtiment, l'aluminium présente de nombreux atouts en termes de développement durable :

- Sa légèreté permet d'alléger les structures,
- Sa rigidité et sa facilité de mise en forme permettent des réalisations techniques performantes pour longtemps : profilés à coupure thermique, fenêtres ou menuiseries durablement étanches, garantissant une parfaite isolation thermique et intégration aux façades de châssis de panneaux solaires pour la production d'électricité renouvelable, etc.,
- Sa résistance à la corrosion réduit les travaux de maintenance et étend la durée de vie des constructions.
- L'aluminium est 100% recyclable. Dans les secteurs du bâtiment et du transport, le taux d'aluminium récupéré et recyclé atteint 95%.

Du point de vue du développement durable, le recyclage de l'aluminium représente donc des avantages décisifs :

- Il permet une importante économie de ressource,
- Il n'utilise que 5% de l'énergie nécessaire à la production primaire [29].

L'utilisation intensive de l'aluminium dans la fabrication des conducteurs électriques est due à ses propriétés exceptionnelles ; une conductivité électrique




élevée et une faible masse volumique, ceci dit : la masse d'un conducteur en aluminium est égale à environ la moitié de celle d'un conducteur en cuivre[40].







### **I.2.6. Inhibition de la corrosion d'aluminium par les extraits de plantes**


Plusieurs extraits végétaux ont été utilisés comme inhibiteurs de corrosion pour l'aluminium dans divers milieux électrolytiques.

Le **tableau II.1** présente quelques travaux de l'effet inhibiteurs de différents extraits de plantes sur la corrosion d'aluminium dans différents milieux.

**Tableau I.1.** Extraits de feuilles comme inhibiteurs de corrosion de l'aluminium dans différents milieux électrolytiques.

Nom de la plante	Photo	Le milieu	L'efficacité	Référence
Raphia hookeri et appelé aussi(Raphia Moufia ,Palmier Raphia farinifera)	 [41]	Al/ 0.02-2M HCl	R. hookeri a montré une efficacité optimale de 65,30% à une concentration de 0,5g / L. Il s'est spontanément adsorbé sur la surface du métal par mécanisme de physisorption. Il a montré une meilleure efficacité dans 1 M HCl.	[42]
thymusalgeriensis	 [43]	2024 Al/1M HCl	Il a montré une efficacité optimale de 78,7% à une concentration de 0,75 g / L . La présence d'ions iodure en synergie améliore l'efficacité.	[44]
Cocos nucifera	 [45]	Al/ 0.5M HCl	C. nucifera a montré une efficacité optimale de 93% à une concentration 7,5% v / v. Il s'adsorbe physiquement et spontanément.	[46]

<p>Cannabis sativa (CS), Rauwolfia serpentina (RS), Cymbopogon citratus (CC), Annona squamosa (AS) et Adhatodavasica (AV)</p>	 <p>Cannabis sativa (CS),[47]</p>  <p>Rauwolfiaserpentine (RS),</p>  <p>Cymbopogoncitratus (CC),</p>  <p>Annonasquamosa (AS)</p>  <p>Adhatodavasica (AV) [49].</p>	<p>Al/1M NaOH</p>	<p>Parmi ces cinq extraits de plantes testés, RS a montré le maximum d'efficacité 97,1% à une concentration de 0,2 g / L.</p>	<p>[48]</p>
<p>Maesobatrya barteri</p>	 <p>[50]</p>	<p>Al/ 0.5M Et 2M HCl</p>	<p>M. barteri a montré une efficacité optimale de 49,30% à uneConcentration de 0,5g/L.</p>	<p>[51]</p>

tendreArecan ut	 <p style="text-align: center;">[52]</p>	Al/ 0.5M HCl	T. Arecanut agit comme un inhibiteur efficace de la corrosion d'aluminium et a montré une efficacité optimal de 96,15% à une concentration de 4,5 g / L . Il contient plusieurs composés phytochimiquesagissent en tant que constituants actifs	[53]
--------------------	---	-----------------	---	------

### I.3 Cichoriumintybus L. (Chicorée sauvage)

#### I.3.1 Définition

C'est une plante herbacée robuste, plus ou moins pubescente, vivace, de 40 cm à 1 m de haut, très commune dans les prés, les champs incultes et au bord des chemins. Originaire d'Europe, d'Asie et d'Afrique du Nord. Elle est naturalisée en Amérique du Nord.

Très rameuse, elle présente des feuilles basales profondément découpées (roncinées), des feuilles intermédiaires entières lancéolées, embrassant la tige, et des feuilles supérieures réduites à des bractées. Les inflorescences sont des capitules formés de fleurs ligulées, bleues. (Figure I.9.)

Ils s'étalent par temps ensoleillé et se rapprochent la nuit ou par temps couvert. Les fruits (akènes) sont surmontés d'une couronne de poils (pappus). La racine est pivotante. Toutes les parties de la plante sont amères [54].



**Figure I.9.**Cichoriumintybus L.

### **I.3.2 Historique**

La chicorée est depuis longtemps utilisée comme plante médicinale. Le document le plus ancien la mentionnant est le papyrus Ebers, vieux de 6000 ans. Il nous apprend que les égyptiens la consommaient en apéritif pour son effet digestif. Plus tard, les grecs et les romains voyaient en elle une alliée pour guérir les maladies du foie ou de l'estomac. Chez les arabes, elle était utilisée comme remède ophtalmologique. Dans l'iconographie chrétienne du Moyen-âge, elle symbolisait la persévérance dans le martyre. Au cours des siècles qui suivirent, elle fut préconisée dans beaucoup de cas: par exemple, contre la gale, la jaunisse, la fièvre, les dermatoses, les rhumatismes. Même Louis XIV soigna ses nausées à l'aide d'un remède à base de sirop de chicorée.

Les hollandais semblent être les premiers à mettre au point la torréfaction de la chicorée de façon industrielle (XVII<sup>ème</sup> siècle). Ce procédé gagna ensuite l'Allemagne, la Belgique et la France. Son utilisation est d'autant plus importante sous la Révolution française que lors du Blocus Continental décrété par Napoléon, du fait de ses avantages économiques (culture locale) par rapport au café (importé). A partir de cette période, son usage alimentaire prit le pas sur son utilisation médicinale [56].

### **I.3.3 Composition chimique**

#### **I.3.3.1 Racine**

La racine de chicorée renferme de l'arginine, la choline, l'inuline et des bases alloxuriques.

#### **I.3.3.2 Graines**

Dans les graines de chicorée, on a trouvé deux triterpénoïdes, le cichoridiol et l'intybusoloïde. Ainsi que du lupéol, freideline,  $\beta$ -sitostérol, acide bétulinique, bétuline, betulinaldéhyde, de l'acide syringique, de l'acide vanillique, du 6,7-dihydroxycoumarine, du méthyl-alpha-galactopyranoside [57].

### **I.3.3.3 Feuilles**

La feuille contient environ 91 % d'eau et 1.42% de cendres, de l'inuline, du fructose et de la choline comme dans la racine. La feuille peut contenir un peu de fer, 20 à 25 mg pour 100 g de substance.

### **I.3.4 Utilisation**

Ce n'est que depuis le 17ème siècle qu'elle est consommée. La racine procure un succédané du café. Au Liban, on fait bouillir la racine pour retirer l'amertume et on l'ajoute aux soupes. Les jeunes rosettes sont comestibles en salade. En Italie, on consomme les feuilles plus âgées en les faisant bouillir afin de retirer l'amertume, et on les déguste avec un peu d'huile d'olive et de citron. La chicorée contient des protéines, de nombreuses vitamines, du calcium, du magnésium, du potassium, du fer..., [58].

La chicorée peut être utilisée en pharmacologie à cause de ses activités antihépatotoxiques[59], antidiabétiques [57], anti-inflammatoires [60], et vasorelaxantes[61].

## **II.1. Introduction**

Dans ce chapitre on va présenter les méthodes expérimentales utilisées pour étudier l'influence du temps d'immersion sur la corrosion d'un alliage d'aluminium dans un milieu acide.

Cette étude est constituée de deux parties, la première portera sur l'étude de l'effet inhibiteur de l'extrait des feuilles de la plante *Cichoriumintybus* L préparé par **macération**, sur la corrosion de l'aluminium dans 0.1 M HCl.

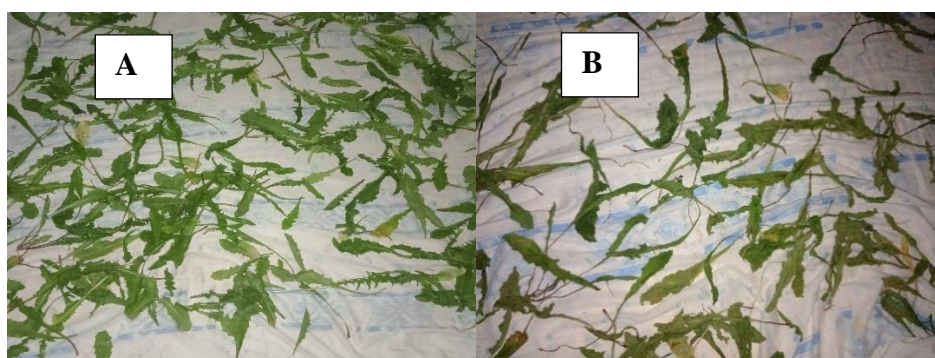
La seconde partie, portera sur l'étude de l'effet inhibiteur de l'**extrait** des feuilles de la plante *Cichoriumintybus* L préparé par la méthode **Soxhlet** dans le même milieu.

Les techniques d'observation utilisées sont la spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FT-IR), et la microscopie électronique.

## **II.2. Matériel végétal**

### **II.2.1. Préparation de la plante**

Des feuilles de la plante *Cichoriumintybus* L ont été collectées du campus Sidi Ammar de l'université Badji Mokhtar-Annaba en février 2020. Ces feuilles ont été séchées à l'ombre pendant un mois à température ambiante (**Figure II.1**). Après elles ont été broyées en poudre à l'aide d'une moulinette électrique (**Figure II.2**). La poudre obtenue est conservée dans un flacon en verre teinté et fermé à fin qu'elle soit protégée de la lumière, de l'humidité et de la chaleur.



**Figure II.1.** Feuilles de *Cichoriumintybus* L avant (A) et après (B) le séchage.



**Figure II.2.** Moulinette électrique.

## **II.2.2. Préparation de l'extrait de Cichoriumintybus L**

L'extraction végétale est le processus d'extraction de composants spécifiques présents dans les plantes. Il s'agit d'une opération de séparation solide/liquide. Solide (plante) en contact avec un liquide (solvant). Le composé cible de la plante est ensuite dissous et incorporé dans le solvant. Par conséquent, la solution résultante est l'extrait souhaité [62].

### **II.2.2.1. Préparation de l'extrait par macération dans HCl**

Une prise d'essai de 5 g de la poudre de la plante a été introduite dans un bécher contenant 500 mL de HCl à 0,1 M. La solution obtenue est mise sous agitation magnétique pendant 24 heures à température ambiante. Après filtration, le filtrat a été stocké dans un flacon à l'abri de la lumière (Figure II.3). Le même procédé est répété pour une macération de 48 heures.



Figure II.3. Matériels utilisés pour la macération.

### II.2.2.2. Préparation de l'extrait par la méthode Soxhlet

#### a) Fonctionnement d'un Soxhlet

L'appareil Soxhlet est représenté sur la (Figure II.4). Il est constitué d'un corps en verre, qui est composé d'un ballon, d'un réfrigérant et d'un extracteur. Ce dernier dispose d'un système de tube pour la vidange du réservoir dont la capacité varie d'un modèle à l'autre. Le système doit être muni d'une cartouche en cellulose[63].

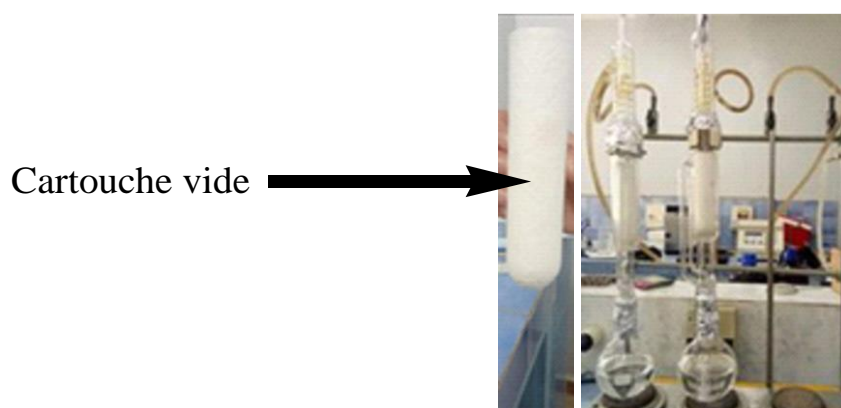


Figure II.4. L'extracteur Soxhlet.

Dans notre étude, pour préparer l'extrait nous avons introduit 15,53 g de la poudre de la plante dans la cartouche de cellulose. Cette dernière est ensuite placée dans le réservoir de Soxhlet. Après nous avons rempli le ballon avec 250mL d'éthanol. A l'aide d'un chauffe ballon, le solvant est porté à ébullition. Celui-ci passe par la tubulure et est condensé par le réfrigérant. Il tombe alors dans le réservoir contenant la cartouche et solubilise la substance à extraire. Le réservoir se remplit. Dès que le niveau de solvant est à hauteur du coude, le réservoir se vidange automatiquement. Le solvant et la substance à extraire sont entraînés dans le ballon (Figure II.5). Pour réaliser une extraction correcte nous avons réalisé huit cycles. A l'issue de 03 heures, un mélange, constitué de solvant et d'extrait de plante sous forme liquide a été récupéré.



**Figure II.5.** Etapes de l'extraction par Soxhlet.

**b) La séparation du solvant** (éthanol) de l'extrait est faite à l'aide de l'appareil appelé Rotavapor (Figure II.6). Dans cet appareil nous avons réalisé une évaporation avec une vanne de contrôle. Pendant l'évaporation le ballon est mis en rotation et plongé dans un bain liquide chauffé. L'appareil est muni d'un réfrigérant avec un ballon-collecteur de condensat. La rotation du ballon crée une surface d'échange plus grande et renouvelée permettant donc d'effectuer une évaporation rapide et bonne séparation. La quantité de l'extrait de la plante après la séparation du solvant est  $m=2,6157\text{g}$  (Figure II.7).



Figure II.6. L'appareil Rotavapor.



Figure II.7. Extrait de la plante après la séparation du solvant.

### II.3. Etude de la corrosion d'un alliage d'aluminium dans un milieu acide

Pour étudier la corrosion d'un alliage d'aluminium dans une solution HCl à 0,1M en absence et en présence de l'extrait de la plante *Cichoriumintybus L* qui est utilisé comme inhibiteur de corrosion, nous avons utilisé la technique de la perte de masse.

Cette méthode présente l'avantage d'être facile à mettre en œuvre, et ne nécessite pas un appareil important. Cependant elle 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  $\Delta m$  subie par un échantillon de surface  $S$ , pendant le temps d'immersion  $t$  dans une solution corrosive [64].

L'échantillon poli, rincé, pesé et noté ( $m_1$ ) est immergé dans la solution corrosive. Après un certain temps d'immersion, l'échantillon est retiré, lavé et séché. La masse est ensuite mesurée immédiatement et noté ( $m_2$ ). On procède à la mesure de la perte de masse  $\Delta m$  qui représente la différence entre la masse initiale  $m_1$  et la masse finale  $m_2$  après un temps  $t$ .

La vitesse de corrosion est définie comme une perte de masse par unité de surface et de temps. Cette vitesse s'exprime par la relation suivante :

$$V_{corr} = \frac{\Delta m}{S.t} \quad (1)$$

Avec ;

$V_{corr}$  : vitesse de corrosion ( $\text{g/m}^2.\text{h}$ )

S : surface de la pièce

t : temps d'immersion

L'efficacité de l'inhibiteur s'exprime par la relation suivante :

$$E = \frac{V_{SI} - V_{AI}}{V_{SI}} \quad (2)$$

Avec ;

E : l'efficacité inhibitrice.

$V_{AI}$  : la vitesse de corrosion avec inhibiteur.

$V_{SI}$  : la vitesse de corrosion sans inhibiteur.

## II.4. Procédures Expérimentales

### II.4.1. Produits chimiques

Les produits chimiques utilisés dans cette étude proviennent de la société BIOCHEM Chemopharma.

### II.4.2. Conditions expérimentales

#### II.4.2.1. Milieu corrosif

La solution corrosive est une solution de chlorure d'hydrogène (HCl) à 0.1M, obtenue par la dilution de 4,18 ml de HCl pur dans un 500 ml d'eau distillée.

#### II.4.2.2 Matériau

Le matériau utilisé dans cette étude est un alliage d'aluminium AlSiZnCu (**Figure II.8**), provenant du complexe El hajar-Annaba, de composition représentée dans le (**Tableau II.1**). Il est analysé par le spectromètre à fluorescence X (Perform X 178).



Figure II.8. L'alliage d'aluminium AlSiZnCu.

Tableau II.1. Composition de l'alliage d'aluminium AlSiZnCu.

Eléments	Al	Si	Zn	Cu	Fe
Teneur en % massique	88,7	3,82	3,19	2,40	0,550

#### II.4.2.3. Préparation de la surface

Notre alliage est coupé en morceau, ensuite il est poli à l'aide d'une polisseuse au papier abrasif de granulométrie 320, 600, 800, 1000, 1200, 2400 et 4000 (Figure II.9).



Figure II.9. Polisseuse et papier abrasif.

#### II.4.2.4. Inhibiteur de corrosion étudiée

L'inhibiteur utilisé au cours de ce travail est l'extrait de la plante Cichoriumintybus L préparé par macération (liquide vert) et par la méthode Soxhlet (extrait solide).

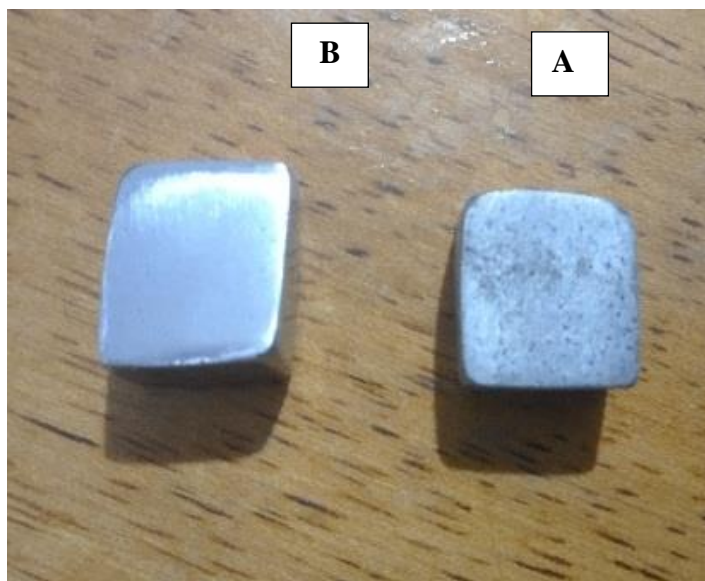
#### II.4.2.5. Essais de perte de masse

Les essais de perte de masse ont été effectués dans la solution corrosive décrite précédemment. Pour cela nous avons utilisé 6 pièces de notre alliage de surface différente, au temps d'immersion 2,4 et 24h sans et avec inhibiteur.

Pour l'extrait de la plante préparé par macération nous avons utilisé les concentrations 2, 3 et 4% (v/v), tandis que pour l'extrait préparé par Soxhlet, les concentrations utilisées sont 2, 3 et 4g/L pour un temps d'immersion de 2h.

Avant chaque essai ces pièces ont été polis et rincer avec l'eau distillée, l'acétone et enfin avec l'eau distillée, ensuite séchée avec un séchoir (Figure II.10) puis pesée avec une balance analytique à quatre chiffres décimaux. Après chaque

temps d'immersion, les pièces sont lavées avec l'eau distillée, séchée et repesée, et en fin elles sont immergées dans le milieu corrosif.(Figure. II.11).



**Figure II.10.** Alliage AlSiZnCu avant (A) et après (B) le polissage.



**Figure.II.11.**Matériels utilisés pour les essais de la perte de masse, a) Balance analytique, b) Séchoir, c) Sans inhibiteur, d) Avec inhibiteur.

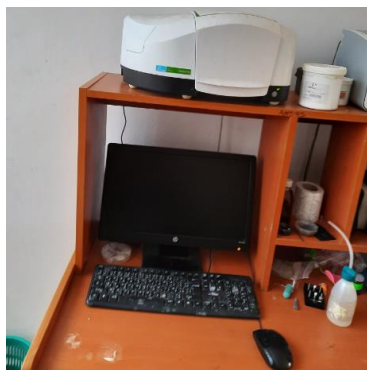
## **II.4. Caractérisations Spectroscopiques**

### **II.4.3.1 Spectroscopie FTIR (Transformation de Fourier -Infrarouge)**

La spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier est basée sur l'absorption d'un rayonnement infrarouge par l'échantillon à analyser. Cet échantillon peut être à l'état gazeux, solide ou liquide. Elle permet via l'absorption des vibrations caractéristiques des liaisons chimiques, de déterminer la présence de certaines fonctions chimiques présentes dans la matière.

Cette technique utilise un faisceau contenant plusieurs fréquences optiques combinées pour mesurer l'absorption par échantillon. Le faisceau est ensuite modifié pour s'adapter à différentes fréquences, l'absorption par échantillon est à nouveau mesurée, et l'opération est répétée plusieurs fois. Une fois que toutes les données ont été collectées, l'ordinateur prend toutes les données et calculée à rebours pour déduire l'absorbance à chaque longueur d'onde.

La caractérisation structurale, de l'extrait de la plante *Cichoriumintybus L* préparé par Soxhlet est assuré par l'instrument spectromètre à transformée de Fourier de marque perkinElmer(**Figure. II.12**).Cet extrait a été dilué dans le dichlorométhane.



**Figure. II.12.**Spectromètre à transformée de Fourier.

### **II.4.3.2 Le microscope optique**

Principe : Le microscope optique est un instrument d'optique muni d'un objectif et d'un oculaire qui permet de grossir l'image d'un objet de petites dimensions (ce qui caractérise son grossissement) et de séparer les détails de cette image (et son pouvoir de résolution) afin qu'il soit observable par l'œil humain (**Figure. II.13**). Il est utilisé en biologie, pour observer les cellules, les tissus, en pétrographie pour

reconnaître les roches, en métallurgie et en métallographie pour examiner la structure d'un métal ou d'un alliage [65].

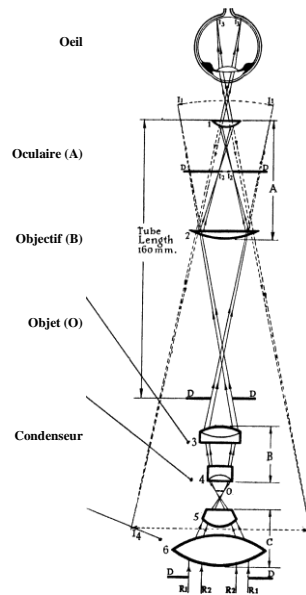


Figure II.13. Schéma de principe du microscope optique.

Pour effectuer une observation en microscopie, les échantillons ont été polis avec la polisseuse aux papiers abrasifs 600 et 2400, puis ils sont immergés dans une solution agressive de HCl 0,1M, en absence et en présence d'inhibiteur (macération 48h) à 2% (v/v) pendant 2h.

Le microscope optique utilisé dans cette étude est de marque Nikon LV 150 N (Figure II.14).

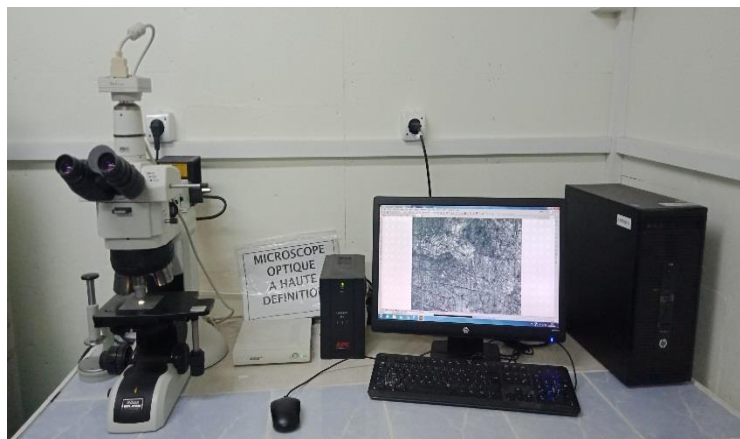


Figure II.14. Microscope optique.



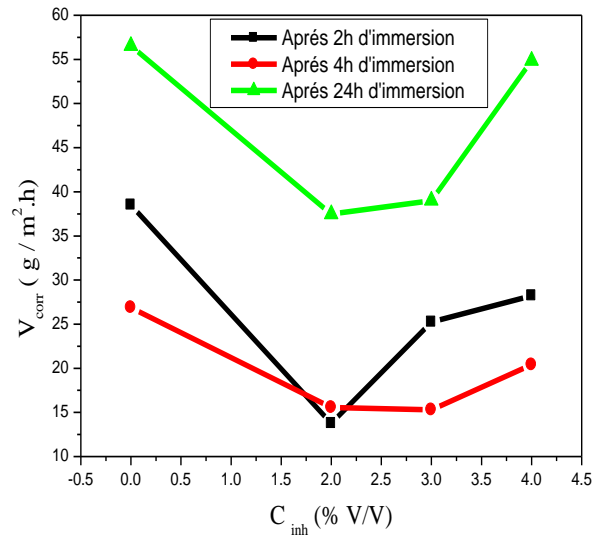
**III.A**  
Etude de l'effet inhibiteur des  
Feuilles de **CICHORIUM INTYBUS L** Macérée  
(**CIM**).



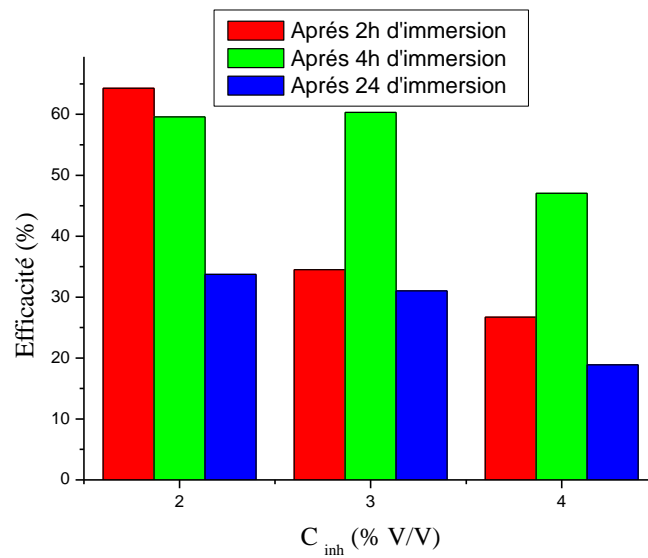
### III.A.1 Macération de 24 heures

**Tableau III.1.** Vitesses de corrosion de l'alliage AlSiZnCu dans HCl à 0,1 M, en absence et en présence de **CIM pendant 24h** à différentes concentrations et efficacités inhibitrices calculées.

<b>Macération 24heures</b>				
Paramètres	Concentrations (%) (v/v)	$\Delta m$ (g)	Vitesse de corrosion $V_{corr}$ (g/m <sup>2</sup> . h)	Efficacités (%)
Temps d'immersions	Sans inhibiteur	0,0046	<b>38.52</b>	/
	<b>2</b>	0,0020	13.75	<b>64.30</b>
Temps d'immersion <b>2h</b>	<b>3</b>	0,0032	25.23	34.50
	<b>4</b>	0,0034	28.23	26.71
	Sans inhibiteur	0,0050	<b>26.88</b>	/
Temps d'immersion <b>4h</b>	<b>2</b>	0,0036	15.57	<b>59.57</b>
	<b>3</b>	0,0040	15.29	60.30
	<b>4</b>	0,0052	20.40	47.04
	Sans inhibiteur	0,0589	<b>56.54</b>	/
Temps d'immersion <b>24h</b>	<b>2</b>	0,0554	37.47	<b>33.72</b>
	<b>3</b>	0,0630	39	31.02
	<b>4</b>	0,0679	54.85	18.90



**Figure.III.1.** Variation de la vitesse de corrosion de l'alliage AlSiZnCu en fonction de la concentration de CIM pendant 24h à différents temps d'immersions dans HCl à 0.1M.



**Figure.III.2.** Variation de l'efficacité inhibitrice de CIM pendant 24h en fonction de la concentration sur l'alliage AlSiZnCu dans HCl 0,1 M à différents temps d'immersion.

D'après la **Figure III.1** on constate que la concentration 2% (v/v) de **CIM pendant 24h** induit une diminution de la vitesse de corrosion, à partir de cette concentration, la vitesse de corrosion augmente.

D'après le **Tableau III.1** qui regroupe les résultats, obtenus par la méthode de perte de masse, du comportement de l'alliage AlSiZnCu à la corrosion dans HCl à 0,1M en absence et en présence de **CIM pendant 24h** aux concentrations 2, 3 et 4% (v/v), nous constatons que :

La vitesse de corrosion de l'alliage AlSiZnCu en absence de **CIM pendant 24h** après 2h d'immersion dans HCl à 0.1M est de 38.52 g/m<sup>2</sup>. h. Après 4h d'immersion elle est de 26.28 g/m<sup>2</sup>. h. Et elle est de 56.54 g/m<sup>2</sup>.h après 24h d'immersion. Alors qu'en présence de 2%(v/v) **CIM pendant 24h** et après 2h d'immersion elle a chuté à 13.75 g/m<sup>2</sup>. h. En restant à la même concentration, l'immersion de 4h, donne une vitesse de corrosion de 15.75 g/m<sup>2</sup>.h, après 24h d'immersion, la vitesse de corrosion obtenue est de 37.47g/m<sup>2</sup>. h.

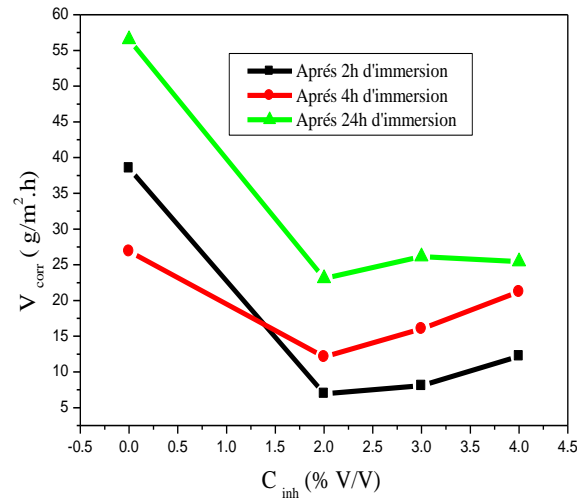
La variation de l'efficacité inhibitrice de **CIM pendant 24h** sur la corrosion de l'alliage AlSiZnCu dans HCl à 0,1 M en fonction de la concentration est représentée dans la **Figure III.2**. Nous observons que l'efficacité inhibitrice atteint une valeur maximale de **64.30%** après 2h d'immersion, elle est de **59.57%** après 4h d'immersion et il est de l'efficacité est de **33.72 %** après 24h à une concentration de 2%(v/v).

En se basant sur ces résultats, obtenus on peut conclure que la présence de **CIM pendant 24h** contribue à la formation d'un film protecteur à l'interface métal / solution qui correspond à une meilleure efficacité inhibitrice (**64.30%**) et cela après 2h d'immersion et 2%(v/v).

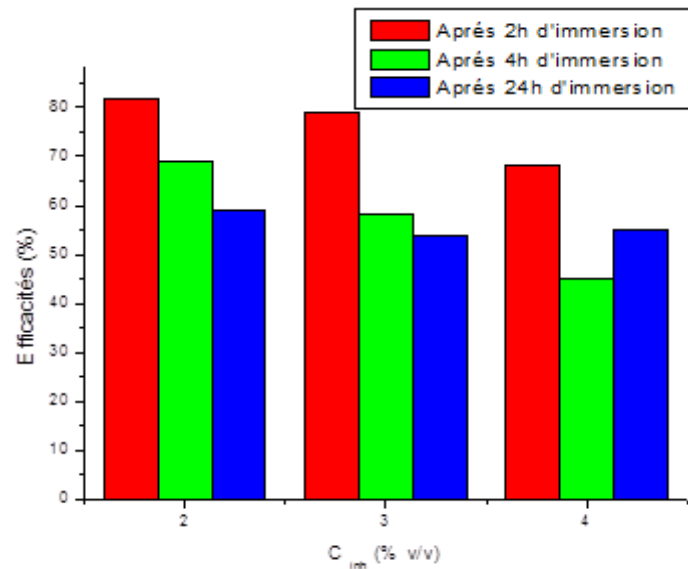
III.A.2 Macération de 48 heures

**Tableau III.2** Vitesses de corrosion de l'alliage AlSiZnCu dans HCl à 0,1 M, en absence et en présence de **CIM pendant 48h** à différentes concentrations et efficacités inhibitrices calculées.

<b>Macération 48heures</b>				
Paramètres	Concentrations (%) (v/v)	$\Delta m$ (g)	Vitesse de corrosion $V_{corr}$ ( $g/m^2 \cdot h$ )	Efficacités (%)
Temps d'immersions	Sans inhibiteur	0,0046	<b>38.52</b>	/
Temps d'immersion <b>2h</b>	<b>2</b>	0,0008	<b>6.95</b>	<b>81.95</b>
	<b>3</b>	0,0012	8.06	79.07
	<b>4</b>	0,0015	12.23	68.25
Temps d'immersion <b>4h</b>	Sans inhibiteur	0,0050	<b>26.88</b>	/
	<b>2</b>	0,0023	12.10	<b>68.82</b>
	<b>3</b>	0,0042	16.05	58.33
	<b>4</b>	0,0055	21.21	44.93
Temps d'immersion <b>24h</b>	Sans inhibiteur	0,0589	<b>56.54</b>	/
	<b>2</b>	0,0258	23.11	<b>59.12</b>
	<b>3</b>	0,0402	26.13	53.78
	<b>4</b>	0,0375	25.44	55



**Figure.III.3.** Variation de la vitesse de corrosion de l'alliage AlSiZnCu en fonction de la concentration de CIM pendant 48h à différents temps d'immersions dans HCl à 0.1M.



**Figure.III.4** Variation de l'efficacité inhibitrice de CIM pendant 48h à différentes concentrations sur l'alliage AlSiZnCu dans HCl 0,1 M en fonction du temps d'immersion.

D'après le **Tableaux III.2**, nous constatons que la vitesse de corrosion en absence de **CIM pendant 48h** est de  $38.52 \text{ g/m}^2 \cdot \text{h}$  à 2h d'immersion, Après 4h d'immersion elle est de  $26.88 \text{ g/m}^2 \cdot \text{h}$ . Et elle est de  $56.54 \text{ g/m}^2 \cdot \text{h}$  après 24h d'immersion.

En présence de 2%(v/v) **CIM pendant 48h** elle a chuté à  $6.95 \text{ g/m}^2 \cdot \text{h}$ . L'immersion de 4h donne une vitesse de corrosion de  $12.10 \text{ g/m}^2 \cdot \text{h}$ . En prolongeant le temps d'immersion à 24 h la vitesse de corrosion est de  $23.11 \text{ g/m}^2 \cdot \text{h}$ . **Figure III.3**.

La variation de l'efficacité inhibitrice en fonction de la concentration de **CIM pendant 48h**, est représentée dans la **Figure III.4**. Nous constatons que pour chaque concentration d'étude correspond une efficacité inhibitrice maximale après un certain temps d'immersion. Pour la concentration 2%(v/v) **CIM pendant 48h**, l'efficacité est de **81.95 %** après 2h d'immersion, pour 4h d'immersion elle est de **68.82%**, et elle est de **59.12%** après 24h.

En comparant les deux temps de macération (24 et 48h) nous observons que les vitesses de corrosion obtenues par la macération de 48h sont plus faibles et que l'efficacité inhibitrice s'est améliorée où une valeur maximale de **81.95%** est atteinte, cela peut être attribué à la formation d'un film protecteur plus dense et plus résistant.

### **III.B**

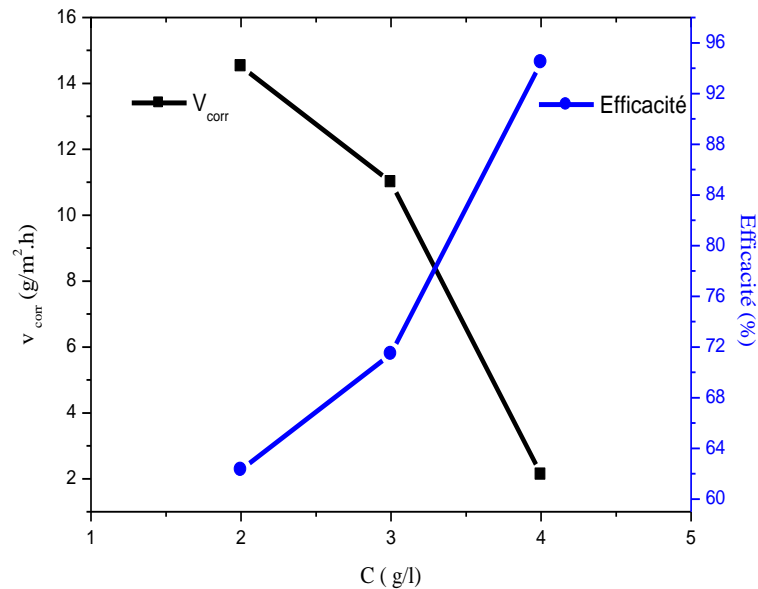
Etude de l'effet inhibiteur de l'Extrait Solide des Feuilles **CICHORIUM INTYBUS L (ESCI)**.



Afin d'évaluer le pouvoir inhibiteur de la corrosion de l'alliage AlSiZnCu dans 0.1M HCl par la plante Cichoriumintybus L, des mesures de perte de masse ont été effectuées en utilisant l'extrait solide de Cichoriumintybus L (**ESCI**) aux concentrations 2,3 et 4 g/l.

**Tableau.III.3** Vitesse de la corrosion de l'alliage AlSiZnCu dans 0.1M HCl en présence de (**ESCI**) en fonction de la concentration et les efficacités inhibitrices calculées.

Concentration (g/l)	Vitesse de corrosion $V_{corr}$ ( g/m <sup>2</sup> . h)	Efficacités (%)
2	14.52	62.30
3	11.00	71.44
4	2.13	94.47



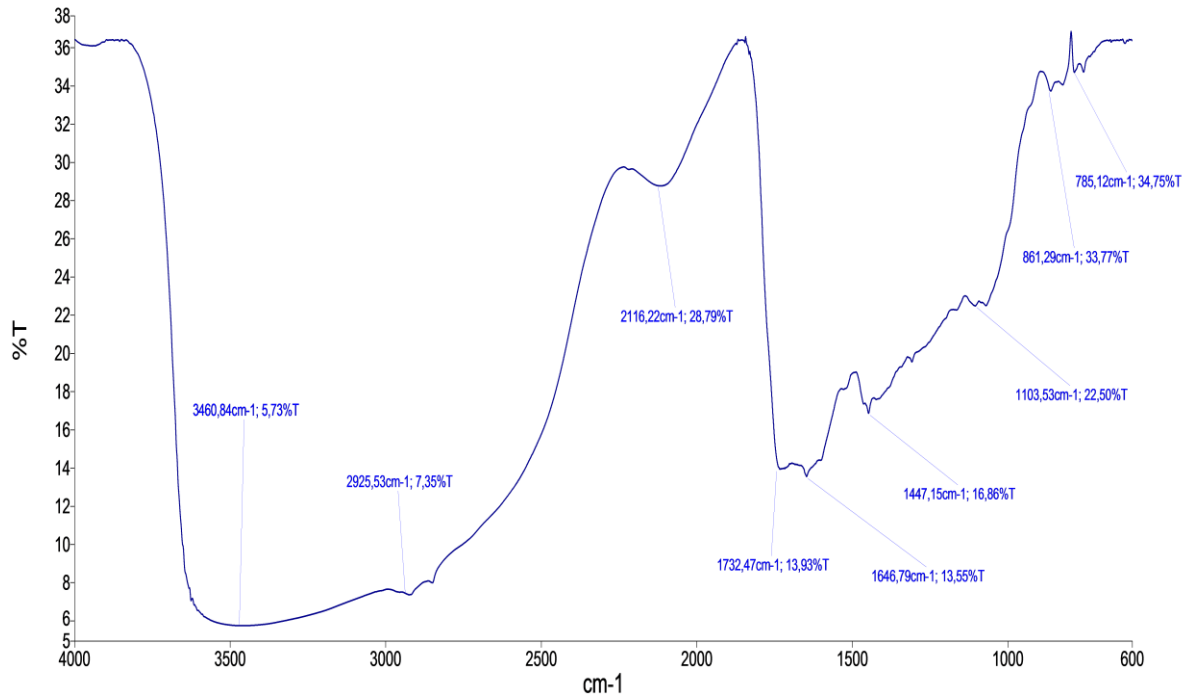
**Figure.III.5** Variation de la vitesse de corrosion et de l'efficacité inhibitrice del'alliage AlSiZnCu dans 0.1M HCl en présence d'ECI à différentes concentrations

La **Figure III.5**, présente l'effet de la concentration de l'**ESCI**, sur l'évolution de la vitesse de corrosion del'alliage AlSiZnCu dans 0.1M HCl. Les résultats obtenus (**Tableau.III.3.**) montrent que la vitesse de corrosion diminue avec l'augmentation de la concentration de l'inhibiteur, induisant l'augmentation de l'efficacité inhibitrice à une valeur maximale de 94.47 % obtenue à 4g/l. Ce comportement est dû à l'adsorption de l'inhibiteur à la surface de l'alliage AlSiZnCu, en formant une couche protectrice.

Ces résultats nous permettent de conclure que l'extrait de la plante préparé par la méthode de soxhlet est le meilleur inhibiteur comparé par celui préparé par macération.

### III.C Caractérisations spectroscopiques

#### III.C.1 Caractérisation par FTIR



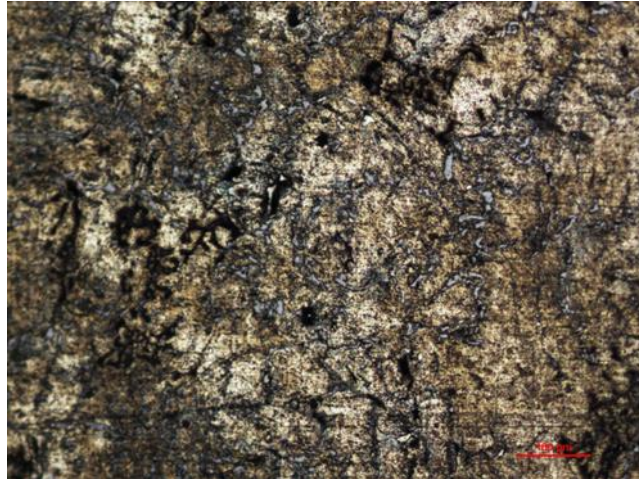
**Figure. III.6** Spectre FTIR de l'extrait Cichoriumintybus L préparé par Soxhlet.

D'après la **Figure. III.6**, représentant le spectre FTIR de l'ESCI, nous remarquons, l'apparition d'une large bande d'absorption à  $3460.84\text{cm}^{-1}$  attribué au groupement O-H, une forte bande à  $2925.53\text{cm}^{-1}$  indiquant une élongation des liaisons saturées de C-H, souvent chevauchée par le groupement O-H, une bande à  $2116.22\text{cm}^{-1}$  qui est dû à des harmoniques des vibrations du cycle aromatique, et une bande à  $1732.47\text{cm}^{-1}$  qui correspond à un groupement carbonyle. Entre  $1400$  et  $1600\text{cm}^{-1}$  des vibrations d'élongation de C=C aromatiques.

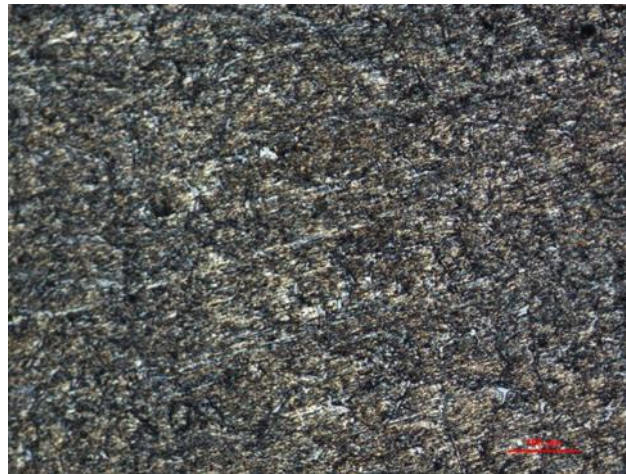
#### III.C.2 Microscopie

##### a) Observations par microscope optique

Les micrographies, obtenues de la surface de l'alliage AlSiZnCu en absence et en présence de 2% (v/v) CIM pendant 48h, après 2h d'immersion, sont représentées respectivement dans les **Figures III.7** et **III.8**.



**Figure III.7.** Micrographie de l'alliage AlSiZnCu en absence d'inhibiteur.



**Figure III.8.** Micrographie de l'alliage AlSiZnCu en présence de 2% (v/v) CIM pendant 48h

D'après la micrographie (**Figures III.7**), nous observons que la surface est corrodée sous forme de piqûres de différentes tailles, ce qui signifie que nous sommes en présence d'une corrosion par piqûres. En présence de 2% (v/v) CIM (**Figures III.8**), nous remarquons une surface lisse et homogène et que le nombre des piqûres à la surface de l'alliage AlSiZnCu a diminué, ce qui est dû à la présence d'un film inhibiteur.

## Conclusion générale

Le présent travail a été consacré à l'étude de l'inhibition de la corrosion d'un alliage d'aluminium dans l'acide chloridrique à une concentration 0,1M par les feuilles de la plante *Cichoriumintybus L* (Chicorée sauvage) utilisées comme inhibiteur.

L'évaluation du pouvoir inhibiteur de la corrosion de l'alliage d'aluminium dans 0,1M HCl par *Cichoriumintybus L* macérée (CIM) aux concentrations 2,3 et 4 % v/v et l'extrait solide de *Cichoriumintybus L* préparé par la méthode de soxhlet (ESCI) aux concentrations 2,3 et 4g/L, a été suivie par la méthode de la perte de masse

La spectroscopie FTIR (transformation de fourrier-infrarouge) a été utilisée, pour déterminer les groupes fonctionnels de ESCI, et le microscope optique a été utilisé pour la caractérisation de l'état de surface.

Les différents résultats obtenus sont les suivantes :

À partir de la méthode de la perte de masse :

-L'ajout de 2 % (v/v) de CIM pendant 48h, provoque la diminution de la vitesse de corrosion de l'alliage d'aluminium avec une efficacité de 81,95%après 2 heures d'immersion

-L'ajout d'une concentration de 4g/LESCI, provoque la diminution de la vitesse de corrosion de l'alliage d'aluminium avec une efficacité de 94,47%après 2 heures d'immersion.

Le spectre FTIR présente des bandes caractéristiques aux groupements fonctionnels suivants :O-H, NH<sub>2</sub>, CH<sub>2</sub> aromatique, une cétone (R-CO-R') ce qui confirme le caractère inhibiteur des feuilles de la plante.

Les micrographies du microscope optique ont confirmé la formation d'un film inhibiteur qui protège la surface de l'alliage d'aluminium.

Les perspectives suivantes peuvent être retenues à l'issue de ce travail:

- ✓ La caractérisation de ESCI par des techniques spectroscopiques tellesque :

La spectrophotométrie ultraviolet-visible ;

La spectroscopie Raman ;

La spectroscopie de résonance magnétique nucléaire ;

La spectrométrie de masse.

- ✓ La caractérisation du film inhibiteur par la microscopie électronique à balayage
- ✓ Etude de l'effet de la température.

## Références bibliographiques

- [1] OECD global forum on environment focusing on sustainable materials management. [www.oecd.org/env/waste/46194971.pdf](http://www.oecd.org/env/waste/46194971.pdf). Accessed: 2015-09-28.
- [2] <http://veillechimie.imist.ma/index.php/produits-technologies/technologiesprocedes/303-la-corrosion-un-ennemi-industriel-redoutable>. Accessed : 2015-09- 28.
- [3] **M. Faustin**, « 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) », thèse de doctorat, École doctorale pluridisciplinaire : Santé, Environnement et Sociétés dans les Amériques, 2013.
- [4] **D. Watkinson**. Measuring effectiveness of washing methods for corrosion control of archaeological iron: problems and challenges, *Corrosion Engineering. Science and Technology*, 2010, vol.45, p. 400-406.
- [5] **F. Ropital**. Current and future corrosion challenges for a reliable and sustainable development of the chemical, refinery, and petrochemical industries. *Materials and corrosion*, 2009, vol.60, p. 495-500.
- [6] <https://www.universalis.fr/encyclopedie/corrosion/2-la-corrosion-seche/>
- [7] **S. Bensaada**. All content following this page was uploaded. on 11 October 2016.
- [8] <https://www.researchgate.net/publication/308995229>
- [9] **H. Zhang, and S.A. Andrews**. Factors affecting catalysis of copper corrosion products in NDMA formation from DMA in simulated premise plumbing. *Chemosphere*, 2013, vol. 93, no.11, p.2683-2689.
- [10] **A. Pourbaix**. Corrosion Localisée- B : Caractères généraux, Réactions en jeu Principe de protection. *Les Editions de Physique*, 1994, p. 17.
- [11] **L.L. Shreir**. Corrosion, chap. Localized Corrosion, *Ed.Newnes*, 1976, p.1-130.
- [12] **H. Tsuchiya, S. Fujimoto, O. Chihara and T. Shibata**. Semiconductive behavior of passive films formed on pure Cr and Fe–Cr alloys in sulfuric acid solution. *Electrochimica Acta*, 2002, vol.47, p. 4357-4366.
- [13] **Jomdecha et al.**, 2007. Evans, 1951. Bardal and Derby, 2004. Frankel and Landolt, 2007.
- [14] <https://www.swagelok.com/fr-FR/toolbox/material-selection-guide/corrosion-types>
- [15] **Pinard Legry et A. Pourbaix**. Corrosion Localisée. *Les Editions de Physique*, 1994.

- [16]D. **Beaulieu**. Les caractéristiques de l'aluminium structural (2e Édition) Chicoutimi (Québec) : Les presses de l'aluminium, 2013.
- [17]S. **Sureau**, « Quantification de la Cinétique d'oxydation cyclique d'alliage aluminiformeur : Modélisation Monte Carlo De l'écailage Et Mise Au Point d'un Nouvel Appareil De Thermogravimétrie Cyclique. », Thèse de doctorat De l'institut National Polytechnique de Toulouse, 2006.
- [18]F. **Hadri**. « Etude du mécanisme de corrosion atmosphérique à long terme des aciers : nouvelles stratégies de protection des aciers du patrimoine culturel », thèse de doctorat, de l'université Lorraine, Nancy 1 en Chimie et Physico-Chimie Moléculaires, 2012.
- [19]KOSARI, Ali, MOAYED, Mohammad Hadi, DAVOODI, Ali, *et al.* Electrochemical and quantum chemical assessment of two organic compounds from pyridine derivatives as corrosion inhibitors for mild steel in HCl solution under stagnant condition and hydrodynamic flow. *Corrosion Science*, 2014, vol. 78, p. 138-150.
- [20]D. **Neggaz**, « Optimisation des Méthodes de Réparation des Gazoducs », thèse de doctorat, Université des sciences et technologies d'Oran, Mohamed Boudiaf, 2020.
- [21]C. **Fiaud**, C. **Lemaitre**, N. **PEBERE**. Inhibiteurs de corrosion. In : G.Beranger, H. Mazille Corrosion et anticorrosion (pratique industrielle). Mécanique et ingénierie des Matériaux. Lavoisier. Paris, *Hermès Science Publications*, 2002, p. 245-266.
- [22] K. **Khaled**, M.M. **Al-Qahtani**. The inhibitive effect of some tetrazole derivatives towards Al corrosion in acid solution: Chemical, electrochemical and theoretical studies. *Materials Chemistry and Physics*, 2009, vol. 113, on. 1, p 150-158.
- [23]P. **Bommersbach**. Evolution des propriétés d'un film inhibiteur de corrosion sous influencé de la température et de conditions hydrodynamiques : caractérisation par techniques électrochimiques. Thèse génie des matériaux, Lyon : *INSA de LYON*, 2005, Nr. 05, ISAL 0060 p.154.
- [24]C. **Fiaud**. Inhibiteurs de corrosion, Corrosion-Vieillessement, disponible sur [www.techniques-ingenieur.fr](http://www.techniques-ingenieur.fr), 1990, COR1005, p.14.
- [25]S. **Souhila**, « Synthèse et caractérisation d'inhibiteurs bi- fonctionnels : application à la corrosion des aciers de construction », Mémoire de Magister, Université Ferhat Abbas-Setif, 2010.
- [26]S. **Marzorati**, L. Verotta, SP. Trasatti. Green Corrosion Inhibitors from Natural Sources and Biomass Wastes, *molecules*. 2019, doi:10.3390/molecules24010048.

- [27]SK. Sharma, A. Peter, IB. Obot. Potential of Azadirachta indica as a green corrosion inhibitor against mild steel, aluminum, and tin: a review. *Green Chemistry Letters & Reviews*, 2015. doi:10.1186/s40543-015-0067-0.
- [28]<https://www.futura-sciences.com/sciences/definitions/chimie-aluminium-14515/>
- [29]F. Ghomari, « science des matériaux de construction », université aboubekr belkaid Faculté des sciences de l'ingénieur Département de génie civil.
- [30]IN. Jung, SY. Hwang, et al. Antifreeze Corrosion Inhibitor Composition for Aluminum Engines and Radiators. *Google Patents*, 1989.
- [31]J. Sinko. Corrosion Inhibitor Composition Applicable for Aluminum and Steel Protection and Procedure. *Google Patents*, 2002.
- [32]D. Snihirova, SV. Lamaka, et al. Comparison of the synergistic effects of inhibitor mixtures tailored for enhanced corrosion protection of bare and coated AA2024-T3. *Surf. Coat. Technol*, 2015.
- [33]N. Chaubey, J. Savita. Assoc, et al. Corrosion inhibition performance of different bark extracts on aluminium in alkaline solution. *Arab Univ. Basic Appl. Sci*, 2016.
- [34]D. Crotty, J. Girard, et al. Inhibiting Aluminum Corrosion with Mercapto-substituted Silanes. *Google Patents*, 2008.
- [35] J. Sinko. Corrosion Inhibitor Composition Applicable for Aluminum and Steel Protection and Procedure, *Google Patents*, 2002.
- [36]D. Snihirova, S.V. Lamaka, et al. Comparison of the synergistic effects of inhibitor mixtures tailored for enhanced corrosion protection of bare and coated AA2024-T3. *Surf. Coat. Technol*, 2015.
- [37] K.J. Lewis, J. Aklian. Non-chromate Corrosion Inhibitors for Aluminum Alloys. *Google Patents*, 1999.
- [38]A. Garner. Corrosion Inhibitor Comprising Azole and Cellulose Nanocrystals. *Google Patents*, 2014.
- [39]Z. Szklarska-Smialowska. Pitting corrosion of aluminum. *Corrosion*, 1999, vol. 28, p. 388.
- [40] R. Slimani, « Réalisation et caractérisation de film de nickel déposé par des techniques électrochimique et chimique sur l'aluminium », thèse de doctorat, université mouloud mammeri de tizi-ouzou, 2016.

- [41] [http://www.mi-aime-a-ou.com/photo\\_flore.php?id\\_img=2441](http://www.mi-aime-a-ou.com/photo_flore.php?id_img=2441)
- [42] **V. Vasudha, K.S. Priya.** Corrosion inhibition of mild steel in H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> media using *Polyalthia longifolia* leaves. *Chem. Sci. Rev. Lett*, 2014, vol.2, p.435-443.
- [43] <http://www.ville-ge.ch/musinfo/bd/cjb/africa/details.php?langue=fr&id=145270>
- [44] **A. Khadraoui, A. Khelifa, K. Hachama, R. Mehdaoui,** Thymus algeriensis extract as a new eco-friendly corrosion inhibitor for 2024 aluminium alloy in 1 M HCl medium. *Journal of Molecular Liquids*, 2016, vol. 214, p.293-297.
- [45] [https://fr.123rf.com/photo\\_30765034\\_petit-arbre-de-noix-de-coco-pr%C3%A0-%C3%A0-planter.html](https://fr.123rf.com/photo_30765034_petit-arbre-de-noix-de-coco-pr%C3%A0-%C3%A0-planter.html)
- [46] **K. Abiola, Y. Tobun.** Cocos nucifera L. water as green corrosion inhibitor for acid corrosion of aluminium in HCl solution. *Chinese Chemical Letters*, 2010, vol. 21, p.1449-1452.
- [47] <https://jardinage.lemonde.fr/dossier-1886-chanvre-agricole-cannabis-sativa.html>
- [48] **N. Chaubey, D.K. Yadav, V.K. Singh, M. Quraishi.** A comparative study of leaves extracts for corrosion inhibition effect on aluminium alloy in alkaline medium. *Ain Shams Engineering Journal*, 2017, vol. 8, p. 673-682.
- [49] <https://mangomeadows.in/nursery/product/sitaphal-annona-squamosa-grafted-plant/>
- [50] <http://korupplants.myspecies.info/taxonomy/term/206>
- [51] **O. Abakedi, I. Moses.** Aluminium corrosion inhibition by *Maesobatrya barteri* root in hydrochloric acid solution. *Am. Chem. Sci. J*, 2016, vol. 10, p. 1-10.
- [52] [https://cpcricar.gov.in/page/article/Varieties\\_Hybrids\\_cpcricar](https://cpcricar.gov.in/page/article/Varieties_Hybrids_cpcricar)
- [53] **N. Raghavendra, J.I. Bhat,** Green approach to inhibition of corrosion of aluminum in 0.5M HCl medium by Tender arecanut seed extract: insight from gravimetric and electrochemical studies. *Research on Chemical Intermediates*, 2016, vol. 42, p. 6351-6372.
- [54] <https://www.techno-science.net/glossaire-definition/Chicoree.html>
- [55] **M. Bahri,** « Analyse génétique du métabolisme de l'acide caftarique, chlorogénique et chicorique chez *Cichorium intybus* L.: cartographie des QTL et gènes candidats », thèse de doctorat en Sciences de l'Université de Lille 1  
Stratégies d'exploitation des Fonctions Biologiques, 2010.
- [56] **UR. Atta, R. Zareen, S. Choudhary, M.I. Akhtar, M.N. and Khan, S. N.** alpha Glucosidase inhibitory activity of triterpenoids from *Cichorium intybus*. *J Nat Prod*, 2008, vol. 71, p.910- 3.
- [57] <https://www.preservons-la-nature.fr/flore/taxon/267.html>

- [68] **B. Ahmed, S. Khan, M.H. Masood, and A. H.Siddique.** Anti-hepatotoxic activity of cichotyboside, a sesquiterpene glycoside from the seeds of *Cichorium intybus*. *J Asian Nat Prod Res*, 2008, vol. 10, p. 223-31.
- [60] **C. Cavin, M. Delannoy, A. Malnoe, E. Debefve, A. D. Touche.** Courtois, and B. Schilter. Inhibition of the expression and activity of cyclooxygenase-2 by chicory extract. *Biochem Biophys Res Commun*, 2005, vol. 327, p. 742-9.
- [61] **N. Sakurai, T. Iizuka, S. Nakayama, H. Funayama, M. NOGUCHI, and M. NAGAI.** Vasorelaxant activity of caffeic acid derivatives from *Cichorium intybus* and *Equisetum arvense*. *Yakugaku Zasshi*, 2003, vol. 123, p. 593-8.
- [62] <http://www.berkem.com/fr/expertise/extraction-vegetale>
- [63] **P.I Penchev,** « Étude des procédés d'extraction et de purification de produits bioactifs à partir de plantes par couplage de techniques séparatives à basses et hautes pressions », Laboratoire de Génie Chimique (Toulouse) Institut de Génie Chimique de l'Académie Bulgare des Sciences (Sofia, Bulgarie), 2010.
- [64] **H. Haman,** « Synthèse, caractérisation et étude du pouvoir inhibiteur de nouvelles molécules bases de Schiff. », thèse de doctorat, Université Ferhat Abbas – setif-1, 2015.
- [65] <https://www.techno-science.net/glossaire-definition/Microscope-optique.html>