

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'enseignement  
Supérieur et de la  
Recherche Scientifique  
Université M'hamed Bougara  
Boumerdes



وزارة التعليم العالي والبحث  
العلمي  
جامعة أمحمد بوقرة  
بومرداس

FACULTE DES SCIENCES

Mémoire de fin d'étude  
En vue de l'obtention du Diplôme Master II

Spécialité : Chimie Analytique

Thème :

**Etude de l'effet inhibiteur d'une huile essentielle de  
Géranium sur la corrosion d'un acier au Carbone  
dans le milieu HCl 1M par la méthode  
Gravimétrique**

*Présenté par :*

M<sup>lle</sup> : BIAD SARA

M<sup>lle</sup> : AOUDA HANANE

*Soutenu devant le jury :*

M<sup>me</sup> H. BOUSSAK

MCA/UMBB

Président

M<sup>me</sup> K. LABRAOUI

MCB/UMBB

Examinatrice

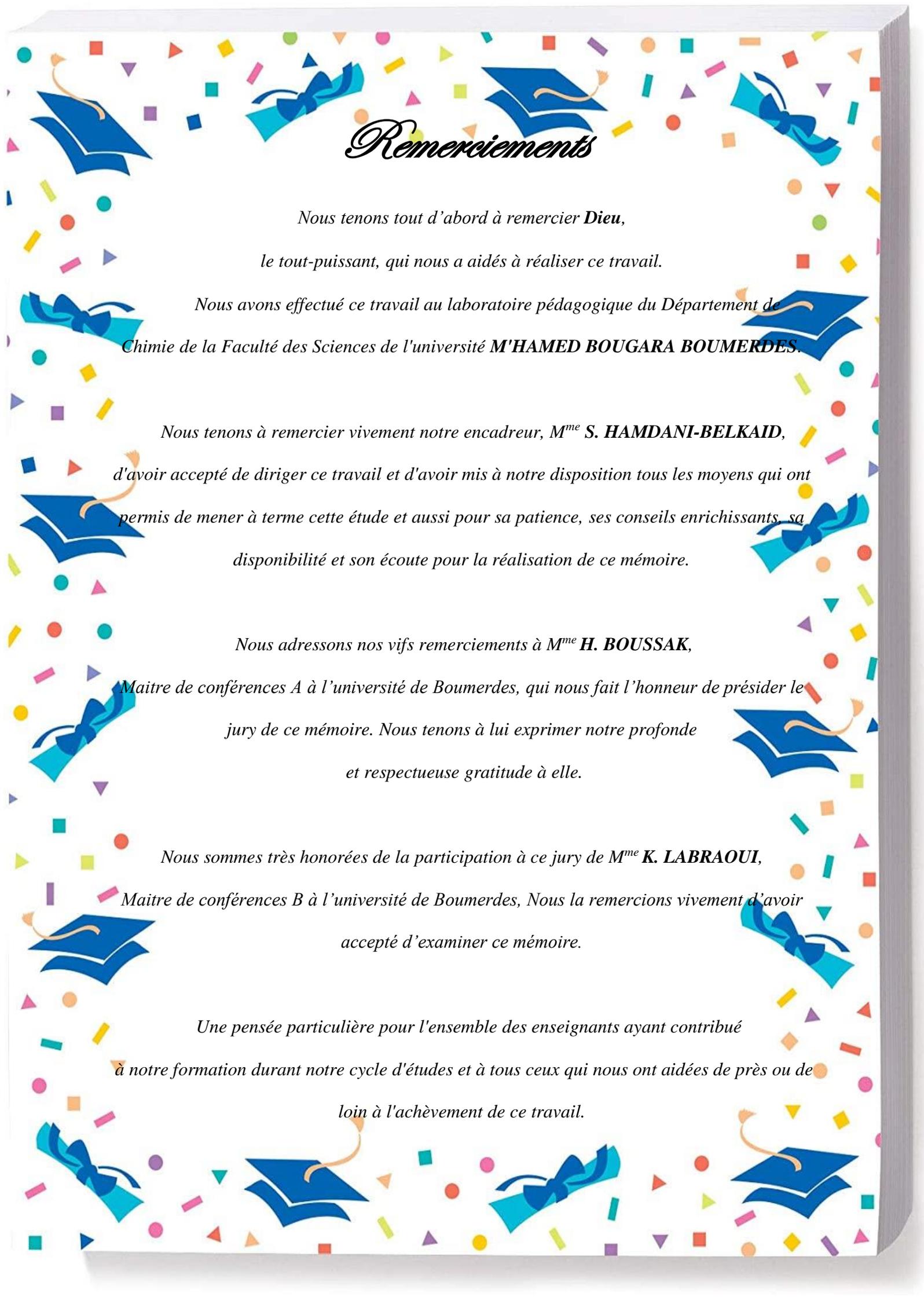
M<sup>me</sup> S. HAMDANI-BELKAID

MCB/UMBB

Encadreur

2020/2021

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ



# *Remerciements*

*Nous tenons tout d'abord à remercier Dieu,  
le tout-puissant, qui nous a aidés à réaliser ce travail.*

*Nous avons effectué ce travail au laboratoire pédagogique du Département de  
Chimie de la Faculté des Sciences de l'université **M'HAMED BOUGARA BOUMERDES**.*

*Nous tenons à remercier vivement notre encadreur, **M<sup>me</sup> S. HAMDANI-BELKAID**,  
d'avoir accepté de diriger ce travail et d'avoir mis à notre disposition tous les moyens qui ont  
permis de mener à terme cette étude et aussi pour sa patience, ses conseils enrichissants, sa  
disponibilité et son écoute pour la réalisation de ce mémoire.*

*Nous adressons nos vifs remerciements à **M<sup>me</sup> H. BOUSSAK**,  
Maitre de conférences A à l'université de Boumerdes, qui nous fait l'honneur de présider le  
jury de ce mémoire. Nous tenons à lui exprimer notre profonde  
et respectueuse gratitude à elle.*

*Nous sommes très honorées de la participation à ce jury de **M<sup>me</sup> K. LABRAOUI**,  
Maitre de conférences B à l'université de Boumerdes, Nous la remercions vivement d'avoir  
accepté d'examiner ce mémoire.*

*Une pensée particulière pour l'ensemble des enseignants ayant contribué  
à notre formation durant notre cycle d'études et à tous ceux qui nous ont aidés de près ou de  
loin à l'achèvement de ce travail.*



# *Dédicace*

*Je dédie ce mémoire*

*A mes adorables parents qui m'ont toujours encouragé durant mes  
années d'étude*

*A ma sœur Nadia et mon frère Ahmed*

*A tout ma famille Biad*

*A mes amies : Yusra, Samia, Selma et à mon Binôme Hanane, et à  
toutes les personnes qui ont une place spéciale dans mon cœur et ma  
vie*

*A toutes les personnes qui m'ont aidé de près ou de loin*

*A toute personne qui mérite l'appréciation et le respect de ma part*

*Merci à vous*

*Sara*





# *Dédicace*

*Je dédie ce mémoire*

*À mes adorables parents qui m'ont toujours encouragé durant mes  
années d'étude*

*À mes sœurs et mes frères*

*À tout ma famille Aouda*

*À mes amies : Sarah, Rima, Amira et à mon Binôme Sara, et à  
toutes les personnes qui ont une place spéciale dans mon cœur et ma  
vie*

*À toutes les personnes qui m'ont aidé de près ou de loin*

*À toute personne qui mérite l'appréciation et le respect de ma part*

*Merci à vous*

*Hanane*



# Liste Des Figures

<i>Figure</i>	<i>Titre</i>	<i>page</i>
<b>Chapitre I</b> <b>Etude Bibliographique</b>		
<b>Figure I.1</b>	Les principaux facteurs de la corrosion	04
<b>Figure I.2</b>	Corrosion Généralisée	06
<b>Figure I.3</b>	Localisation d'une des demi-réactions anodique ou cathodique génère une corrosion localisée	07
<b>Figure I.4</b>	Morphologie de piqûres : piqûre profonde (a), piqûre occluse (b), piqûre hémisphérique(c)	07
<b>Figure I.5</b>	Corrosion par piqûre : réaction anodique et cathodique	08
<b>Figure I.6</b>	Représentation schématique d'une pile de corrosion	09
<b>Figure I.7</b>	Corrosion caverneuse	09
<b>Figure I.8</b>	Corrosion inter-granulaire	10
<b>Figure I.9</b>	Corrosion sélective	10
<b>Figure I.10</b>	Corrosion sous contrainte	10
<b>Figure I.11</b>	Corrosion frottement	11
<b>Figure I.12</b>	Classification des inhibiteurs de corrosion	15
<b>Figure I.13</b>	Formation des couches barrières (A) cathodiques et (B) anodiques interférant avec les réactions électrochimiques, dans le cas d'une étude en milieu acide	17
<b>Figure I.14</b>	Représentation schématique des modes d'adsorption de molécules organiques inhibitrices sur une surface métallique	19
<b>Figure I.15</b>	Détermination des paramètres électrochimiques à partir des droites de Tafel	24
<b>Figure I.16</b>	Inflorescences et Feuilles de <i>Pelargonium graveolens</i>	25
<b>Figure I.17</b>	Entraînement à la vapeur d'eau	26
<b>Figure I.18</b>	Hydrdifusion	27
<b>Figure I.19</b>	L'hydrodistillation	28
<b>Figure I.20</b>	Les différents types d'extraction par solvants volatils	29
<b>Chapitre II</b> <b>Conditions expérimentales</b>		
<b>Figure II.1</b>	<i>Pelargonium graveolens</i> (Géranium)	31

<b>Figure II.2</b>	Composés majoritaires de l'huile essentielle des feuilles de <i>Pelargonium graveolens</i> (Géranium)	32
<b>Figure II.3</b>	Formes et dimensions des échantillons	33
<b>Figure II.4</b>	Papiers abrasifs de différentes granulométries	33
<b>Figure II.5</b>	Balance analytique	35
<b>Figure II.6</b>	Eprouvette graduée	35
<b>Figure II.7</b>	Bain thermostats	35
<b>Figure II.8</b>	Echantillons d'acier dans une solution corrosive avec et sans solution inhibitrice	36
<b>Chapitre III</b>		
<b>Résultats &amp; Discussion</b>		
<b>Figure III.1</b>	Variation de la perte de masse moyenne $\Delta m$ de l'acier ordinaire en fonction du temps d'immersion dans HCL 1M	38
<b>Figure III.2</b>	Variation de : (a) : Perte de masse de l'acier ordinaire, (b) : Vitesse de corrosion et (c) : l'efficacité inhibitrice dans HCL 1M en absence et en présence de différentes concentrations d'inhibiteur	40
<b>Figure III.3</b>	variation de la perte de masse moyenne dans HCL 1M en absence et en présence de différente concentration d'inhibiteur en fonction de température	43
<b>Figure III.4</b>	variation de la perte de masse moyenne dans HCL 1M à différente température en fonction de concentration d'inhibiteur	43
<b>Figure III.5</b>	Variation de $\ln V_{corr}$ en fonction de $1/T$ dans HCl 1M en absence et en présence d'inhibiteur	44
<b>Figure III.6</b>	Les variations de $\ln V_{corr}$ en fonction $1/T$ dans HCl 1M en absence et en présence d'inhibiteur	45
<b>Figure III.7</b>	variation d'énergie d'activation en fonction de concentration d'inhibiteur	46
<b>Figure III.8</b>	Isotherme d'adsorption d'HE de géranium sur l'acier ordinaire dans 1 M HCl selon le modèle de Langmuir	48

# *Liste Des Tableaux*

<i>Tableau</i>	<i>Titre</i>	<i>Page</i>
<b><i>Chapitre I</i></b> <b><i>Etude Bibliographique</i></b>		
<b>Tableau I.1</b>	Comparaison liaison physique - liaison chimique	19
<b><i>Chapitre II</i></b> <b><i>Conditions expérimentales</i></b>		
<b>Tableau II.1</b>	Composition chimique de l'acier API 5CT grade P110	31
<b>Tableau II.2</b>	Les propriétés physico-chimiques de l'acide chlorhydrique	34
<b><i>Chapitre III</i></b> <b><i>Résultats &amp; Discussion</i></b>		
<b>Tableau III.1</b>	Les valeurs de la perte de la masse moyenne de l'acier ordinaire en fonction du temps d'immersion dans 1M de HCL.	38
<b>Tableau III.2</b>	Perte de masse moyenne de l'acier, vitesse de corrosion et l'efficacité inhibitrice dans HCl 1M en absence et en présence de l'inhibiteur	39
<b>Tableau III.3</b>	La perte de masse moyenne de l'acier ordinaire, vitesse de corrosion et l'efficacité inhibitrice dans HCL 1M sans et avec addition inhibiteur à différentes concentrations après 4h d'immersion et à différentes températures	42
<b>Tableau III.4</b>	Les valeurs d'énergies d'activations pour l'acier ordinaire dans HCL 1M en présence d'inhibiteurs de différentes concentrations	46

# Liste Des Abréviations

<i>Abréviation</i>	<i>signification</i>
<b>Fe</b>	Fer
<b>O</b>	Oxygène
<b>H</b>	Hydrogène
<b>Cl<sup>-</sup></b>	L'ion chlorure
<b>Br<sup>-</sup></b>	L'ion bromure
<b>I<sup>-</sup></b>	L'ion iodure
<b>PH</b>	Potentiel hydrogène
<b>E<sub>p</sub></b>	Coefficient de piqûration
<b>L<sub>max</sub></b>	La profondeur maximum de pénétration
<b>L<sub>av</sub></b>	La profondeur moyenne de dissolution
<b>NACE</b>	National Association of corrosion Engineers
<b>V<sub>ads</sub></b>	La vitesse d'adsorption
<b>C<sub>inh</sub></b>	La concentration en inhibiteur
<b>V<sub>des</sub></b>	La vitesse de désorption
<b>E<sub>corr</sub></b>	Le potentiel de corrosion
<b>θ</b>	La fraction de sites occupés ou taux de recouvrement de la surface
<b>I<sub>corr</sub></b>	La vitesse instantanée de corrosion
<b>SIE</b>	La spectroscopie d'impédance électrochimique
<b>HCl</b>	L'acide chlorhydrique
<b>Δm</b>	La pert de masse (le taux de corrosion)
<b>V<sub>corr</sub></b>	Vitesse de corrosion
<b>S</b>	surface
<b>t</b>	Le temps d'exposition dans la solution
<b>P</b>	Efficacité d'inhibition
<b>V</b>	La vitesse de corrosion sans inhibiteur
<b>V<sub>i</sub></b>	La vitesse de corrosion en présence d'inhibiteur
<b>HE</b>	Huile essentielle
<b>T</b>	Température
<b>C</b>	Concentration
<b>E<sub>a</sub></b>	Energie d'activation
<b>A</b>	Le facteur pré-exponentiel d'Arrhenius
<b>R</b>	La constante des gaz parfait

# Sommaire

Introduction générale .....	1
-----------------------------	---

---

## Chapitre I Etude Bibliographique

---

<b>I.1. Notions fondamentales sur la corrosion des aciers ordinaires.....</b>	<b>3</b>
I.1.1. Introduction.....	3
I.1.2. Les principaux facteurs de la corrosion.....	4
I.1.2.1. Effet de la température.....	5
I.1.2.2. Effet de l'acidité.....	5
I.1.2.3. Régime hydrodynamique.....	5
I.1.2.4. La salinité.....	5
I.1.3. Les types de corrosion.....	5
I.1.3.1. Corrosion chimique.....	6
I.1.3.2. Corrosion biochimique.....	6
I.1.3.3. Corrosion électrochimique.....	6
I.1.4. Les formes de corrosion.....	6
I.1.4.1. Corrosion généralisée ou uniforme.....	6
I.1.4.2. Corrosion localisée.....	7
I.1.4.2. a. Corrosion par piqûre.....	7
I.1.4.2. b. Corrosion galvanique (corrosion bimétallique).....	8
I.1.4.2. c. Corrosion caverneuse.....	9
I.1.4.2. d. Corrosion inter-granulaire.....	9
I.1.4.2. e. Corrosion sélective.....	10
I.1.4.2. f. Corrosion sous contrainte.....	10
I.1.4.2. g. Corrosion frottement.....	11
<b>I.2. Protection et lutte contre la corrosion.....</b>	<b>12</b>
I.2.1. Introduction.....	12
I.2.2. Les aciers.....	12
I.2.2.1. Définition.....	12
I.2.2.2. Les différents types des aciers.....	12
I.2.2.3. L'acier au carbone ou ordinaire.....	13
I.2.3. Protection de la corrosion par les inhibiteurs.....	13
I.2.3.1. Définition.....	13
I.2.3.2. Propriétés des inhibiteurs.....	13
I.2.3.3. Conditions et domaine d'utilisation des inhibiteurs.....	14
I.2.3.4. Les classes d'inhibiteurs.....	15
I.2.3.4. a. Selon la nature.....	16
I.2.3.4. b. Selon les mécanismes d'action électrochimique.....	16
I.2.3.4. c. Selon le mécanisme d'action inter-faciale.....	18
I.2.3.5. Efficacité d'un inhibiteur de corrosion.....	20
I.2.3.6. Inhibiteurs de la corrosion en milieu acide.....	20

I.2.3.7. Influence de la concentration sur l'effet inhibiteur.....	21
<b>I.3. Les méthodes d'évaluation de la corrosion</b> .....	22
I.3.1. Méthode gravimétrique.....	22
I.3.2. Méthodes électrochimiques.....	23
<b>I.4. Le Géranium (Pelargonium graveolens)</b> .....	25
I.4.1. Histoire.....	25
I.4.2. Caractérisation botanique.....	25
I.4.2.1. Morphologie.....	25
I.4.2.2. Mode de culture.....	26
<b>I.5. Extraction des huiles essentielles</b> .....	26
I.5.1. Extraction par entraînement à la vapeur d'eau.....	26
I.5.2. L'hydrodistillation et ses variantes.....	27
I.5.3. L'extraction par solvants.....	28
I.5.4. Extraction par les corps gras.....	29
I.5.5. Extraction par micro- ondes.....	29
<b>I.5. Conclusion</b> .....	30

## *Chapitre II*

### *Conditions expérimentales*

<b>II.1. Introduction</b> .....	31
<b>II.2. Matériaux d'étude</b> .....	31
II.2.1. La composition chimique de l'acier.....	31
II.2.2. Composition de l'huile essentielle.....	31
<b>II.3. Préparation des échantillons et polissage</b> .....	32
II.3.1. préparation des échantillons.....	32
II.3.2. Polissage.....	33
<b>II.4. Préparation des solutions</b> .....	34
II.4.1. Préparation de la solution corrosive.....	34
II.4.2. Solutions inhibitrices.....	34
<b>II.5. Méthode de perte de masse</b> .....	34
II.5.1. Matériels.....	35
II.5.2. Conditions opératoires.....	36
II.5.3 Protocole de la Méthode gravimétrique.....	36

## *Chapitre III*

### *Résultats & Discussion*

<b>III.1. Introduction</b> .....	38
III.1.1. Effet du temps d'immersion.....	38
III.1.2. Effet de concentration d'inhibiteur.....	39
III.1.3. Effet de Température.....	41
<b>III.1.4. Isothermes d'adsorption</b> .....	47
<b>Conclusion générale</b> .....	49
<b>Références Bibliographiques</b> .....	51

# *Introduction générale*

## **Introduction générale**

Tous les aciers ordinaires tendent à se dégrader superficiellement lorsqu'ils sont soumis à des milieux corrosifs et spécialement des milieux acides qui sont largement utilisés.

La corrosion est la détérioration des matériaux par des interactions physico-chimiques avec leur environnement, entraînant des modifications de propriétés du métal souvent accompagnées d'une dégradation fonctionnelle de ce dernier (altération de ses propriétés mécaniques, électriques,.....etc.). Les mécanismes mis en jeu sont divers et conduisent à des formes différentes de corrosion. Les aciers ordinaires sont utilisés dans l'industrie pétrolière pour les pipelines en premier lieu et d'autres installations industrielles, d'où l'ampleur des dégâts. Selon la thermodynamique, les métaux ne sont pas stables au contact de l'air et de l'eau, à quelques exceptions près. Mais, si la vitesse des réactions de corrosion est lente et si on emploie des techniques de protection adéquates, ils peuvent remplir leur fonction pendant la durée de vie prévue pour une réalisation technique [1].

Les solutions acides sont largement utilisées dans l'industrie, les principaux domaines d'application étant le décapage ou le nettoyage à l'acide, la stimulation des puits de pétrole, et l'élimination de dépôts localisés (tartre non uniformément repart, rouille, dépôts bactériens, etc....). L'agressivité de ces solutions acides conduit à l'utilisation d'inhibiteurs de corrosion indispensables afin de limiter l'attaque des matériaux métalliques. Parmi les acides disponibles commercialement, l'acide chlorhydrique est le plus fréquemment utilisé et remplace de plus en plus l'acide sulfurique [2].

L'acide chlorhydrique est l'un des agents les plus largement utilisés dans le secteur industriel. Cet acide cause la dégradation des métaux, soit par des réactions chimiques ou électrochimiques. Il existe plusieurs méthodes disponibles pour protéger les métaux de la corrosion dans ce milieu, comme l'utilisation d'une barrière de protection, la galvanisation, la protection cathodique, l'utilisation des solutions anti-rouille ou des inhibiteurs de corrosion [3].

En matière de protection, les inhibiteurs de corrosion constituent un moyen à part entière de protection contre la corrosion métallique. Un inhibiteur est un composé chimique que l'on ajoute, en faible quantité au milieu pour diminuer la vitesse de corrosion des matériaux. Les inhibiteurs peuvent interférer avec la réaction anodique ou cathodique et forment une barrière protectrice sur la surface du métal contre les agents corrosifs [4]. Les inhibiteurs de corrosion présentent l'originalité d'être le seul moyen d'intervention à partir du milieu corrosif, ce qui est

en fait une méthode de contrôle de la corrosion facile à mettre en œuvre et peu onéreuse, pour peu que les produits utilisés soient d'un coût modéré [5].

L'utilisation d'extraits de plantes, comme inhibiteurs de corrosion, est une thématique de recherche en développement si on se fie au nombre de publications sortant chaque année. En effet, ces extraits naturels contiennent de nombreuses familles de composés organiques naturels (flavonoïdes, alcaloïdes, tannins, etc.) « écologiques », aisément disponibles et renouvelables. Les essais réalisés sur l'étude des propriétés anticorrosives des produits naturels d'origine végétale ont donné jusque-là des résultats prometteurs. L'importance de ce domaine de recherche est principalement lié au fait que les produits naturels peuvent se substituer aux molécules organiques actuelles toxiques condamnées par les directives mondiales car écologiquement inacceptables [6].

L'objectif de ce travail est d'étudier l'effet inhibiteur d'une huile essentielle extraite des feuilles de la plante Géranium (*Pelargonium graveolens*) sur la corrosion d'un acier ordinaire dans un milieu acide (HCl), par la méthode gravimétrique. Cette huile est commerciale, 100% pure et naturelle.

Le travail que nous présentons dans ce mémoire est subdivisé en trois chapitres qui se terminent par une conclusion.

- ✓ **Le premier chapitre** : est consacré à une étude bibliographique.
- ✓ **Le second chapitre** : présente les dispositifs expérimentaux, le milieu d'étude et le matériau utilisé pour la réalisation de ce mémoire.
- ✓ **Le troisième chapitre** : englobe tous les résultats expérimentaux et leur interprétation.
- ✓ la conclusion générale sur l'ensemble de ce travail, viendra clore notre étude.

***Chapitre I***  
***Etude Bibliographique***

## I.1. Notions fondamentales sur la corrosion des aciers ordinaires

### I.1.1. Introduction

La corrosion peut être simplement définie comme étant le phénomène de destruction spontanée d'un matériau (métal, alliage ou autre) lors de son interaction chimique, électrochimique ou biochimique avec le milieu environnant [7]. Entraînant des modifications des propriétés du métal souvent accompagnées d'une dégradation fonctionnelle de ce dernier (altération de ses propriétés mécaniques, électriques, etc.) Comme tous les matériaux, l'acier ordinaire tend à se dégrader superficiellement lorsqu'il est soumis à des milieux corrosifs comme le sol, l'air et le milieu marin. Plusieurs produits de corrosion (lépidocrocite, goethite, magnétite.....) sont susceptibles de se former et peuvent jouer un rôle actif de barrière plus ou moins efficace selon leur nature. Cependant, ces couches sont minces, pas toujours homogènes dans leur épaisseur, et leur nature [1]. En effet, la corrosion peut être vue sous sa forme globale comme une réaction spontanée d'échange d'électrons à l'interface métal / environnement. C'est un phénomène naturel qui tend à faire retourner les métaux et les alliages vers leur état primitif d'oxydes, de carbonates, de sulfures ou de tout autres sels plus stables dans le milieu ambiant [7].

La corrosion est un phénomène électrochimique qui se produit par la formation des piles à la surface de l'acier, dans lesquelles une des électrodes appelée « anode », se consomme au bénéfice de l'autre « cathode », qui reste intacte. L'électrolyte est constitué principalement d'eau, plus ou moins conductrice et oxygénée. En pratique, ces piles se forment dès qu'il y a hétérogénéité à la surface de l'acier en formant des zones anodiques et cathodiques, dans lesquelles se produisent deux réactions électrochimiques élémentaires (oxydation et réduction).

Exemple :

- L'oxydation de l'acier (assimilée ici à celle du fer) ;
- Réduction d'espèces oxydantes (oxygène dissous) présentes au sein de la solution :



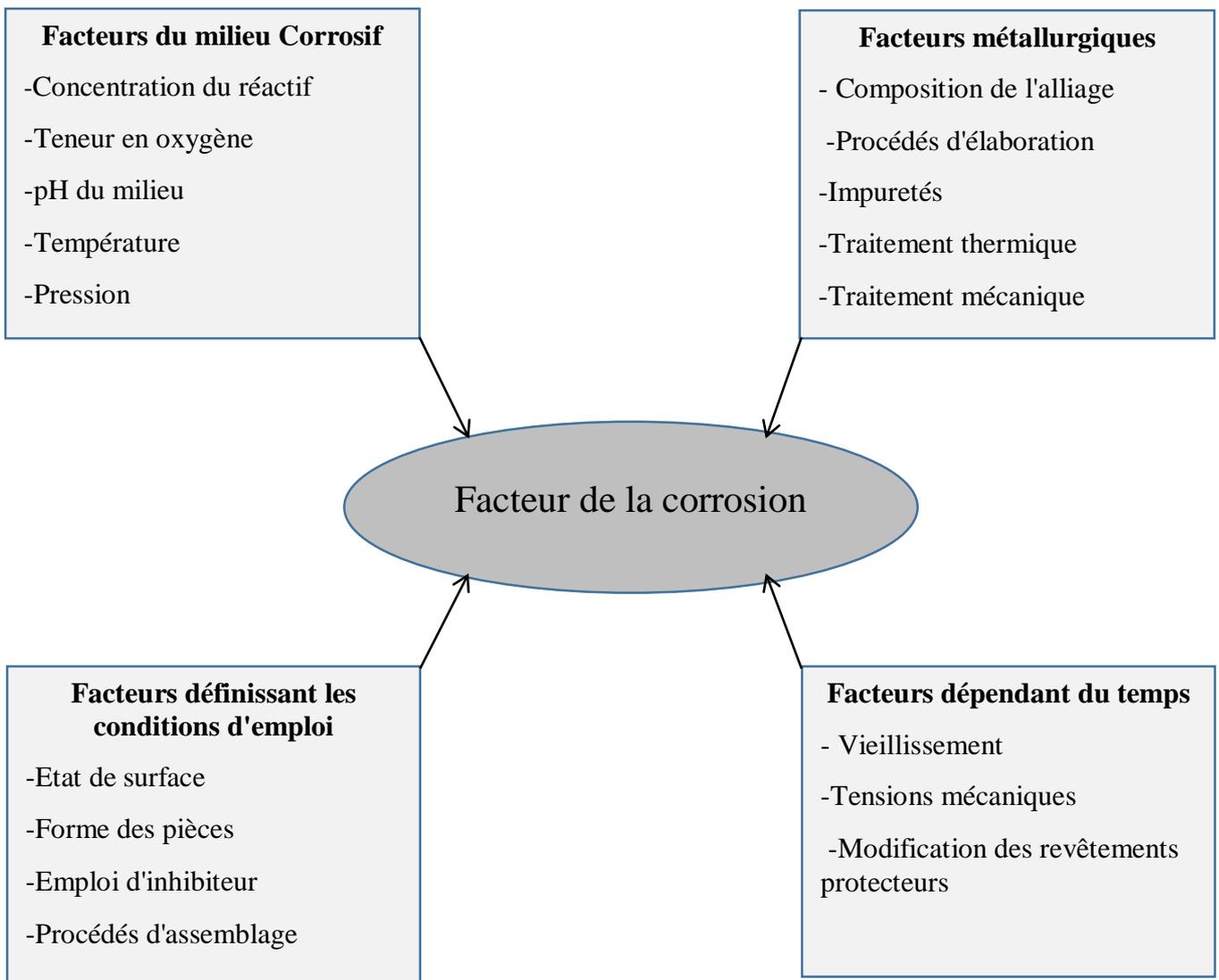
Dans l'eau pure, les réactions cathodiques associées sont :



Les couches de produits de corrosion formées lors de la dégradation de l'acier dans de l'eau aérée agissent comme une barrière de diffusion vis-à-vis de l'oxygène et de l'eau [1].

### I.1.2. Les principaux facteurs de la corrosion

Les phénomènes de la corrosion dépendent d'un grand nombre de facteurs. Ces derniers sont illustrés dans la **Figure I.1**.



**Figure I.1** : Les principaux facteurs de la corrosion

La vitesse de corrosion d'un métal dans un milieu corrosif dépend à la fois des caractéristiques de deux paramètres, La température et le pH 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> [8].

### ***I.1.2.1. 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 lequel se trouve le matériau [8].

### ***I.1.2.2. Effet de l'acidité***

La susceptibilité du matériau à la corrosion est fonction du pH de l'électrolyte. Une forte concentration en protons dans la solution augmente l'agressivité du milieu, ce qui modifie les équilibres des réactions chimiques et électrochimiques. La corrosion augmente avec la diminution du pH du milieu [8].

### ***I.1.2.3. Régime hydrodynamique***

Le transport des réactifs vers l'interface et des produits de réaction vers l'électrolyte peut modifier la cinétique des réactions électrochimiques en changeant la concentration des espèces et donc le potentiel d'équilibre. Les conditions hydrodynamiques fixent les vitesses de réactions en contrôlant le transport de matière par l'établissement d'une couche limite de diffusion des espèces, appelée couche de Nernst, ce qui explique l'importance de l'agitation de l'électrolyte lors des essais de corrosion en laboratoire [9].

### ***I.1.2.4. La salinité***

Les chlorures sont des ions agressifs, souvent à l'origine de corrosions localisées, leur présence en solution s'accompagne d'effets complémentaires, d'une part, leur concentration locale induit une acidification du milieu et d'autre part, la salinité a une influence sur la conductivité du milieu aqueux [9].

## **I.1.3. Les types de corrosion**

La corrosion peut se développer selon différents processus, qui caractérisent chacun un type de corrosion. On peut distinguer trois types de corrosion :

- ✓ Corrosion chimique,
- ✓ Corrosion électrochimique,
- ✓ Corrosion bactérienne (bio corrosion).

### **I. 1.3.1. Corrosion chimique**

Il s'agit d'une réaction purement chimique entre la surface d'un matériau et un gaz ou un liquide non électrolyte. Par exemple, l'oxydation de l'acier ordinaire à haute température par l'oxygène de l'air est une corrosion chimique [9].

### **I. 1.3.2. Corrosion biochimique**

C'est l'attaque bactérienne des matériaux métalliques, en particulier dans les canalisations enterrées et les réservoirs. En effet, le métabolisme du développement de certaines bactéries provoque la formation d'acide sulfurique qui attaque le métal [1].

### **I. 1.3.3. Corrosion électrochimique**

Caractérise plus particulièrement la corrosion des métaux et alliages au contact d'une solution contenant un électrolyte dissous. Elle apparaît chaque fois qu'il y a hétérogénéité dans l'un des constituant du couple formé par le métal et le réactif qui a pour conséquence la formation des piles ou des micro-piles, c'est-à-dire des anodes et des cathodes et ceci sur la même partie de la structure métallique. La corrosion de la partie anodique est accompagnée du passage d'un courant dans l'électrolyte, courant qui va de l'anode vers la cathode [10].

## **I. 1.4. Les formes de corrosion**

Il existe plusieurs formes de la corrosion, les plus importantes sont les suivantes :

### **I. 1.4.1. Corrosion généralisée ou uniforme**

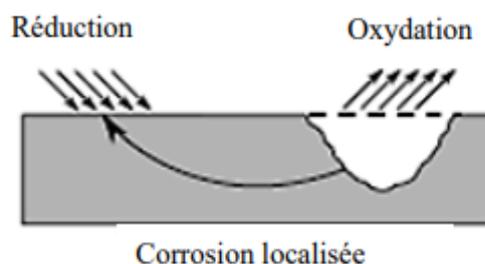
La corrosion uniforme ou généralisée est une perte de matière plus ou moins régulière à la même vitesse sur la totalité de la surface d'un métal donné en contact avec un milieu environnant corrosif. C'est la forme de corrosion la plus simple [7]. Le métal dans ce cas est dans l'état actif. Elle est aisément contrôlable par des mesures de perte de poids ou la diminution d'épaisseur du métal [9].



**Figure I.2 : Corrosion Généralisée**

### I. 1.4.2. Corrosion localisée

Ce mode de corrosion est le mode le plus fréquent et le plus ennuyeux car il vise uniquement certaines zones bien distinguées du matériau. Ainsi, il est dû à l'existence d'un gradient (de composition, de concentration, etc...), ce gradient induit une différence de potentiel et crée donc une anode et une cathode (pile de corrosion) [7] ;

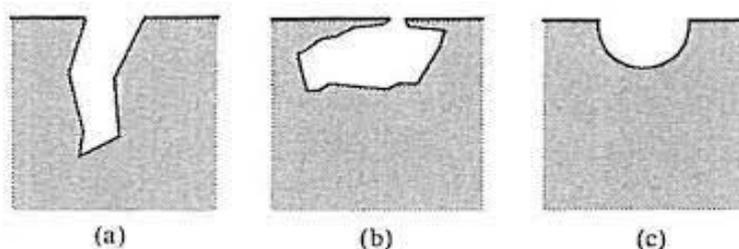


**Figure I.3** : Localisation d'une des demi-réactions anodique ou cathodique génère une corrosion localisée [6]

On distingue plusieurs types de corrosion localisée, à savoir :

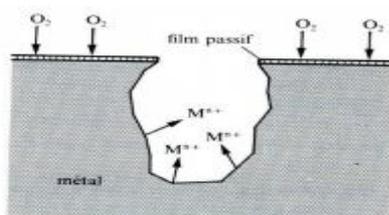
#### I. 1.4.2. a. Corrosion par piqûre

La corrosion par piqûre désigne une attaque locale d'une surface passive. Elle nécessite la présence d'anions agressifs, notamment les ions  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Br}^-$ ,  $\text{I}^-$  et d'un oxydant [11]. Elle se manifeste par la formation de petites cavités (piqûres), alors que la surface passive reste intacte. Le nombre et la forme des piqûres de corrosion varient selon les conditions expérimentales (**Figure I.4**) : on trouve des piqûres profondes montrant une attaque cristalline (a), des piqûres occluses (b) et des piqûres hémisphériques brillantes (c). Cette dernière morphologie apparaît souvent lors d'essais potentiostatiques. La dimension des piqûres varie de quelques micromètres à quelques millimètres.



**Figure I.4** : Morphologie de piqûres : piqûre profonde (a), piqûre occluse (b), piqûre hémisphérique(c)

La **Figure I.5** représente schématiquement le mécanisme de corrosion par piqûre. En présence d'oxygène ou d'un oxydant, tel que le  $\text{FeCl}_3$ . Une pile de corrosion se forme entre la surface extérieure, passive et cathodique, et l'intérieur de la piqûre, actif et anodique. Le rapport de surfaces anode/cathode étant petit, la corrosion peut devenir très rapide à l'intérieur de la piqûre. Bien qu'une petite quantité de métal se dissolve, les cavités ainsi créées deviennent vîtes profondes, au point de percer la paroi d'un tuyau.



**Figure I.5** : Corrosion par piqûre : réaction anodique et cathodique

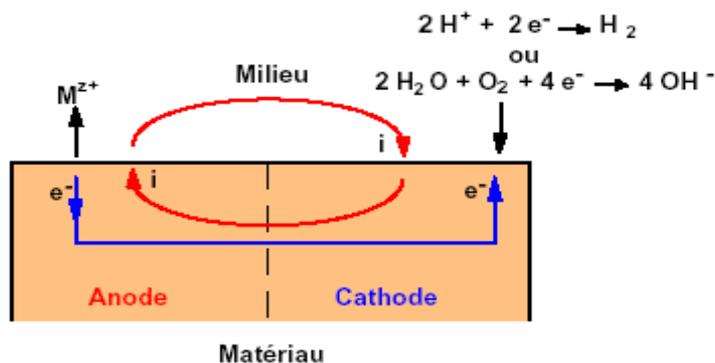
La vitesse moyenne de corrosion, déterminée par gravimétrie, ne permet donc pas d'apprécier l'importance d'une telle corrosion. Pour cette raison, on caractérise le degré d'attaque par le coefficient de piqûration  $F_p$  (pitting factor), défini par :

$$F_p = L_{\max} / L_{av} \quad \text{I.5}$$

Où,  $L_{\max}$  désigne la profondeur maximum de pénétration, mesurée normalement à l'aide d'un microscope optique et  $L_{av}$  la profondeur moyenne de dissolution, déterminée par perte de poids.

#### I. 1.4.2. b. Corrosion galvanique (corrosion bimétallique)

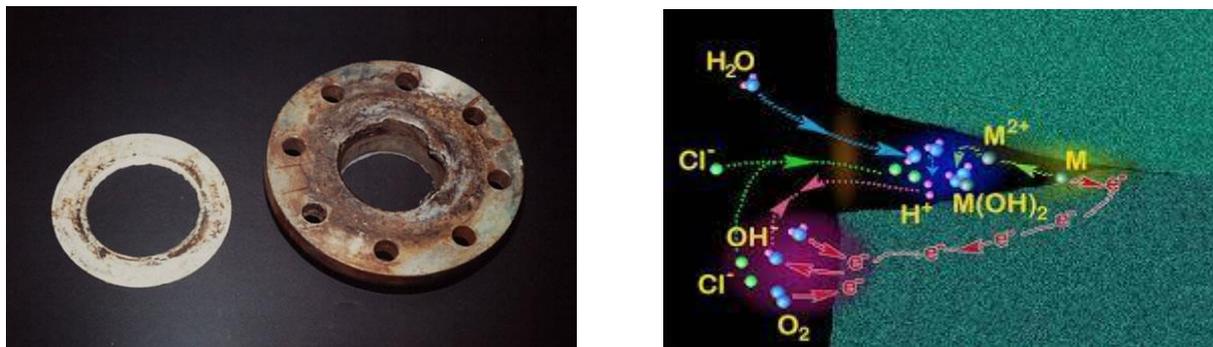
C'est l'une des formes les plus courantes de corrosion en milieu aqueux. Elle est due à la formation d'une pile électrochimique entre deux matériaux dans laquelle une des électrodes (l'anode) se consomme au bénéfice de l'autre (la cathode) qui reste intacte. Cette sélectivité des réactions est due à une hétérogénéité provenant soit du matériau, soit du milieu ou des conditions physicochimiques et thermodynamiques à l'interface [4].



**Figure I.6 :** Représentation schématique d'une pile de corrosion

### I. 1.4.2. c. Corrosion caverneuse

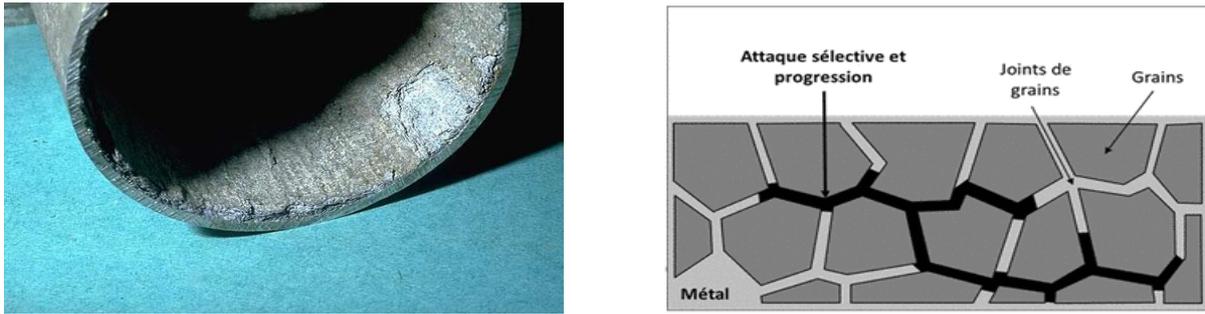
Elle est due à une différence d'accessibilité de l'oxygène entre deux parties d'une structure créant ainsi une pile électrochimique. Cette attaque sélective du métal est observée dans les fissures et autres endroits peu accessibles à l'oxygène. Souvent, la corrosion caverneuse est associée à la présence de petits volumes de solution corrosive stagnante dans des cavités et des surfaces jointives ou dans des dépôts discontinus [1].



**Figure I.7 :** Corrosion caverneuse

### I. 1.4.2. d. Corrosion inter-granulaire

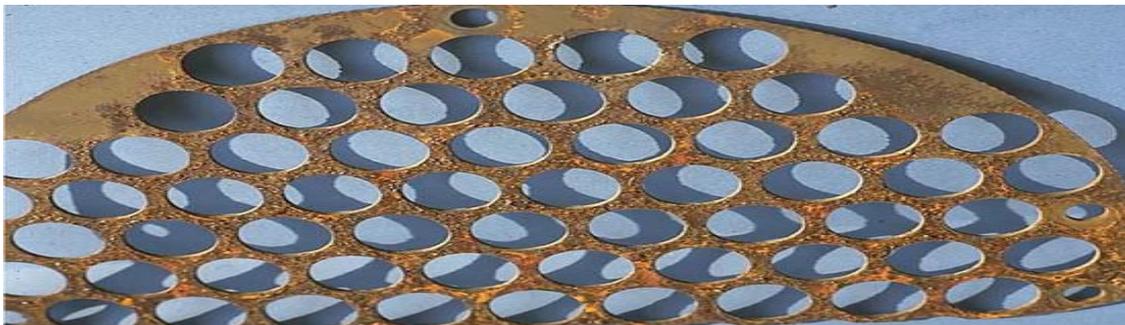
Dans certaines conditions, les joints de grains sont le siège d'une corrosion localisée très importante alors que le reste du matériau n'est pas attaqué. L'alliage se désagrège et perd toutes ses propriétés mécaniques. Ce type de corrosion peut être dû soit à la présence d'impuretés dans le joint, soit à l'enrichissement (ou l'appauvrissement) local en l'un des constituants [12].



**Figure I.8** : Corrosion inter-granulaire

### I. 1.4.2. e. Corrosion sélective

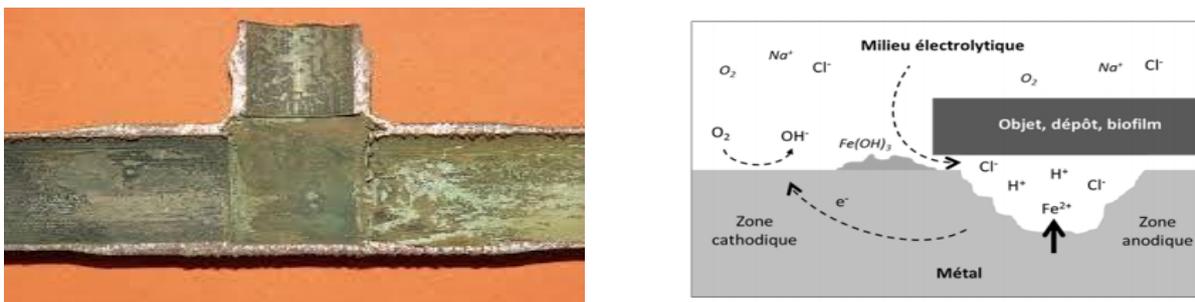
C'est l'oxydation d'un composant de l'alliage, conduisant à la formation d'une structure métallique poreuse [13].



**Figure I.9** : Corrosion sélective

### I. 1.4.2. f. Corrosion sous contrainte

C'est une fissuration du métal qui résulte de l'action commune d'une contrainte mécanique et d'une réaction électrochimique. Le processus se déroule en deux phases successives, d'initiation et de propagation. Ce processus dépend essentiellement de l'intensité des contraintes imposées, de la nature du matériau (composition chimique et structure), de l'état de surface, du milieu corrosif et de la température [1].



**Figure I.10** : Corrosion sous contrainte

**I. 1.4.2. g. Corrosion frottement**

Lorsque deux surfaces métalliques sont en contact et qu'elles se déplacent l'une par rapport à l'autre, leurs surfaces peuvent se détériorer rapidement et devenir impropres aux mouvements ultérieurs.

Pour que la corrosion par frottement puisse apparaître, il faut simultanément :

Il semble que le phénomène soit dû à l'arrachement et à l'oxydation des particules métalliques sous l'effet du frottement et de l'élévation de température qui en résulte. Les conséquences sont : l'augmentation des jeux, le grippage, l'apparition de défauts pouvant provoquer des ruptures de fatigue [14].



**Figure I.11** : Corrosion frottement

## **I. 2. Protection et lutte contre la corrosion**

### **I. 2.1. Introduction**

La prévention de la corrosion doit être envisagée dès la phase de conception d'une installation. En effet, des mesures préventives prises au bon moment permettent d'éviter de nombreux problèmes lorsqu'il s'agit de garantir une certaine durée de vie à un équipement notamment pour des industries. Le choix des moyens de protection doit être soigneusement analysé, nous ne citons ici que les principaux procédés applicables à l'anticorrosion :

- ✓ L'isolation électrique du métal par un élément organique ou minéral (revêtement, peinture, ...);
- ✓ Emploi d'alliage passivable (tels que les aciers inoxydables) ;
- ✓ L'action isolante par un métal plus noble (recouvrement du métal par un métal plus noble) ;
- ✓ Protection électrochimique : protection cathodique par anode sacrificielle ou la protection par courant imposé ou potentiel imposé et une protection anodique ;
- ✓ L'action physico-chimique de substances dites inhibitrices, qui sont absorbées à la surface et la protègent du milieu [15].

### **I. 2.2. Les aciers**

#### **I. 2.2.1. Définition**

L'acier est un alliage métallique constitué principalement de fer et de carbone, dans des proportions comprises entre 0,02% et 2% en masse. C'est essentiellement la teneur en carbone qui confère à l'alliage les propriétés du métal qu'on appelle « acier ». Il existe d'autres métaux à base de fer qui ne sont pas des aciers comme les fontes et les ferronickels par exemple [16].

Les aciers sont élaborés pour résister à des sollicitations mécaniques ou des agressions chimiques ou une combinaison des deux [17].

#### **I. 2.2.2. Les différents types des aciers**

Les aciers présentent un très grand nombre de nuances différentes. On peut classer les divers types d'alliages à base de fer selon leur composition chimique ou selon leur domaine d'utilisation. L'adoption de cette dernière nous permet de recenser quatre familles d'aciers [17] :

- Les aciers au carbone d'usage général ;
- Les aciers de traitements thermiques, alliés ou non ;
- Les aciers à outils ;
- Les aciers inoxydables.

### **I. 2.2.3. L'acier au carbone ou ordinaire**

Utilisable dans différentes techniques économiques de formation du métal (notamment le pressage), l'acier ordinaire au carbone est utilisé dans un très large éventail d'application. Ces matériaux combinent facilité de production et résistance adéquate, ainsi que d'excellentes caractéristiques qui permettent d'obtenir une bonne finition de surface [16].

## **I. 2.3. Protection de la corrosion par les inhibiteurs**

### **I. 2.3.1. Définition**

Les inhibiteurs de corrosion constituent un moyen de lutte original contre la corrosion des métaux et des alliages. L'originalité provient du fait que le traitement anticorrosion ne se fait pas sur le métal lui-même, mais par l'intermédiaire du milieu corrosif. Il ne s'agit pas, cependant, de modifier la nature de ce milieu, mais d'ajouter la formulation inhibitrice (molécule isolée, mélange de molécules) en faible quantité au milieu corrosif [18].

L'inhibiteur agit comme une barrière entre le métal et le milieu (formation d'oxydes, formation d'un film, modification de la cinétique des réactions, etc.). La protection obtenue par un inhibiteur peut être permanente ou temporaire.

La définition d'un inhibiteur de corrosion n'est pas unique. Celle retenue par la "National Association of Corrosion Engineers (NACE)" est la suivante : "un inhibiteur est une substance qui retarde la corrosion lorsqu'elle est ajoutée à un environnement en faible concentration" [15].

### **I. 2.3.2. Propriétés des inhibiteurs**

D'une manière générale un inhibiteur doit :

- ✓ Abaisser la vitesse de corrosion d'un métal, sans en affecter les caractéristiques physico-chimiques, en particulier la résistance mécanique (par exemple, risque de fragilisation par l'hydrogène en milieu acide) ;

- ✓ Être stable en présence des autres constituants du milieu, en particulier vis-à-vis des oxydants ;
- ✓ Être stable aux températures d'utilisation ;
- ✓ Être efficace à faible concentration ;
- ✓ Être efficace dans les conditions d'utilisation ;
- ✓ Être compatible avec les normes en vigueur de non-toxicité et de protection de l'environnement ;
- ✓ Peu onéreux par rapport aux économies qu'il permet de réaliser [15].

### I. 2.3.3. Conditions et domaine d'utilisation des inhibiteurs

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

- ✓ Soit comme protection permanente : l'inhibiteur permet alors l'utilisation de matériaux métalliques (ferreux non alliés, par exemple) dans des conditions satisfaisantes de résistance à la corrosion ; une surveillance de l'installation s'impose.
- ✓ Soit comme protection temporaire pendant une période où la pièce où l'installation est particulièrement sensible à la corrosion (stockage, décapage, nettoyage). Dans ce cas, le contrôle du système est a priori plus simple, la prévision du comportement de l'inhibiteur dans le temps étant plus facile à réaliser.
- ✓ Un inhibiteur (ou un mélange d'inhibiteurs) peut être combiné à un autre moyen de protection : protection supplémentaire d'un alliage à haute résistance à la corrosion, addition à un revêtement de surface tel que peinture, graisse, huile, etc..[5].

Les inhibiteurs ont plusieurs domaines traditionnels d'application :

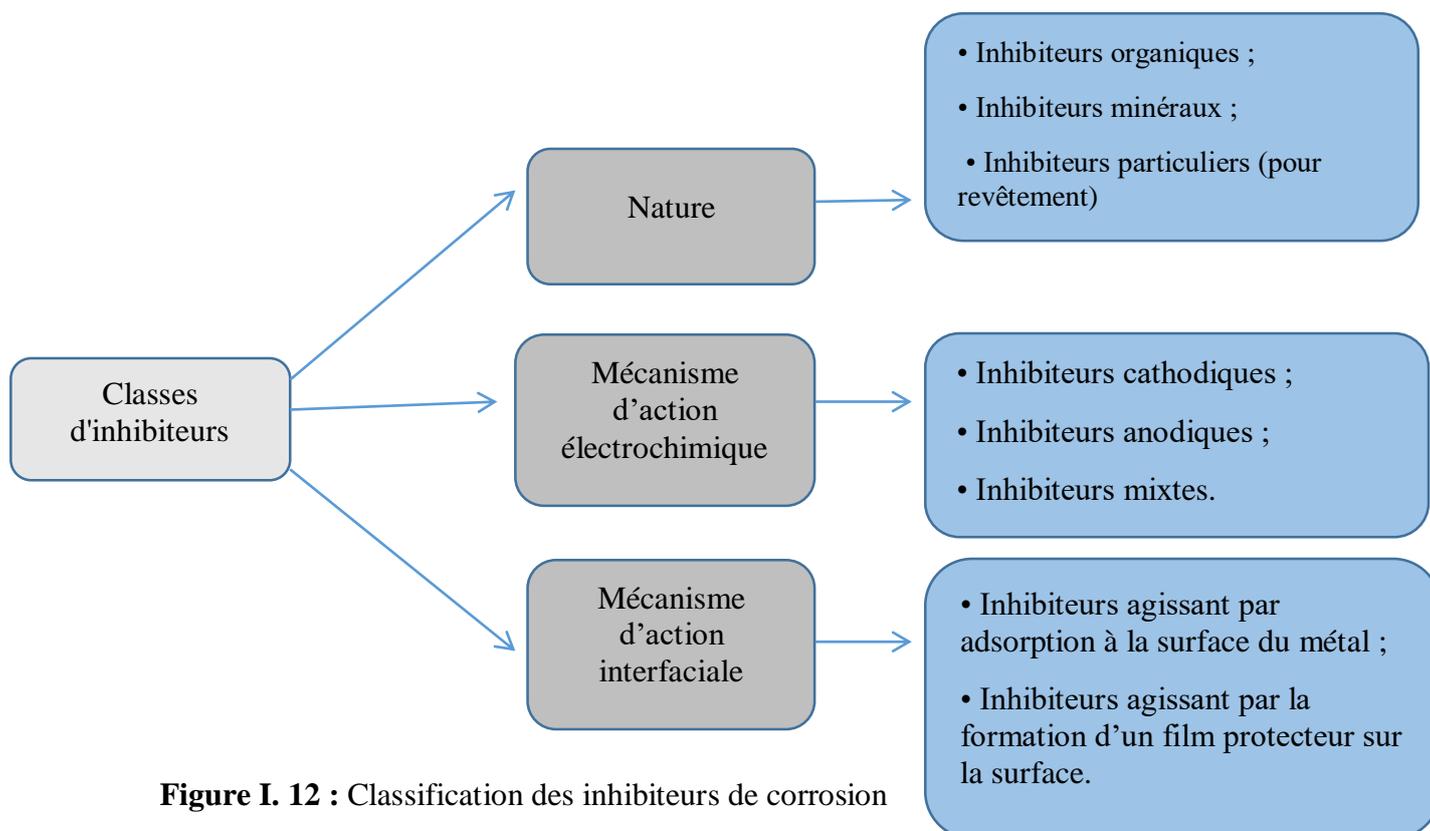
- ✓ Le traitement des eaux (eaux sanitaires, eaux des procédés industriels, eaux de chaudières, etc.) ;
- ✓ L'industrie du pétrole : forage, extraction, raffinage, stockage et transport. Dans cette industrie, l'utilisation des inhibiteurs de corrosion est primordiale pour la sauvegarde des installations ;

- ✓ Les peintures où les inhibiteurs de corrosion sont des additifs assurant la protection anticorrosion des métaux ;
- ✓ La protection temporaire des métaux, que ce soit pendant le décapage acide, le nettoyage des installations ou le stockage à l'atmosphère (inhibiteurs volatils, incorporation aux huiles et graisses de protection temporaire) ou pour le traitement des huiles de coupe [8].

### I. 2.3.4. Les classes d'inhibiteurs

On peut classer les inhibiteurs de plusieurs façons (**Figure I.12**) :

- ✓ Par domaines d'application (la formulation des produits : inhibiteurs organiques ou minéraux).
- ✓ Par mécanisme réactionnel (les mécanismes d'interface et principes d'action (adsorption et / ou formation d'un film)).
- ✓ Par réaction partielle (les mécanismes d'action électrochimique : inhibiteurs cathodiques, anodiques ou mixtes) [19].



**Figure I. 12** : Classification des inhibiteurs de corrosion

**I. 2.3.4. a. Selon la nature****✓ Les inhibiteurs organiques**

Les inhibiteurs organiques représentent un groupe très important d'inhibiteurs de corrosion. La plupart de ces inhibiteurs ont dans leur structure principalement des atomes d'azote, de soufre ou d'oxygène. Les inhibiteurs qui contiennent du soufre sont plus efficaces que ceux qui contiennent l'azote, parce que le soufre est un meilleur donneur d'électrons que l'azote. La principale caractéristique de ces inhibiteurs est leur efficacité élevée, même à faible concentration. L'effet inhibiteur augmente souvent avec le poids moléculaire de l'inhibiteur. L'utilisation d'inhibiteurs organiques est actuellement préférée à celle d'inhibiteurs inorganiques pour des raisons d'écotoxicité essentiellement. Les groupes fonctionnels usuels, permettant leur fixation sur le métal, sont les radicales amines (-NH<sub>2</sub>), mer capto (-SH), hydroxyle (-OH), carboxyle (-COOH).

Les inhibiteurs organiques les plus utilisés sont des sous-produits de l'industrie pétrolière qui sont moins onéreux [17].

**✓ Les inhibiteurs minéraux**

Les inhibiteurs minéraux sont utilisés le plus souvent en milieu proche de la neutralité, voir en milieu alcalin, et plus rarement en milieu acide. Les produits se dissocient en solution et ce sont souvent leurs produits de dissociation qui assurent les phénomènes d'inhibition (anions et cations). Les cations inhibiteurs 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>). Les principaux anions inhibiteurs sont les oxo-anions de type XO<sub>4</sub><sup>n-</sup> tels que les chromates, les molybdates, les phosphates, les silicates, ... [19]. Maintenant, l'emploi de la plupart de ces produits est réglementé car ils créent des problèmes pour l'environnement [4].

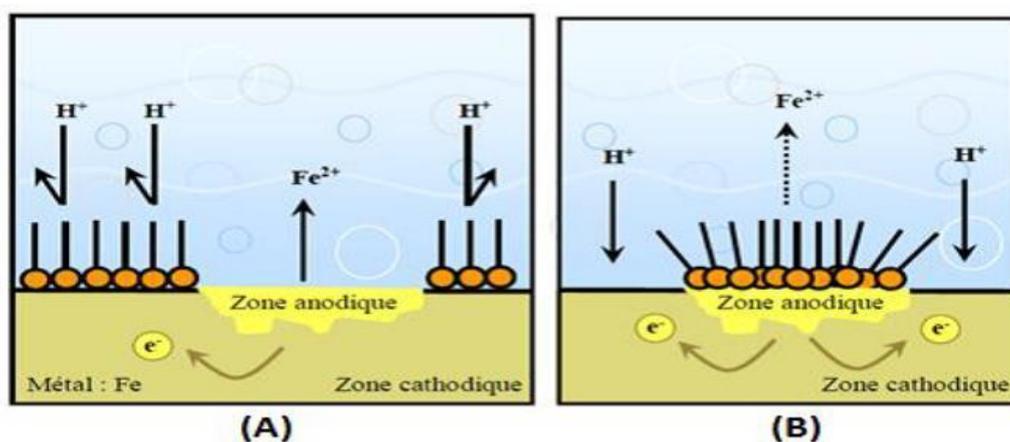
**I. 2.3.4. b. Selon les mécanismes d'action électrochimique****✓ Les inhibiteurs anodiques**

Les inhibiteurs anodiques sont très nombreux. Ce sont des substances inorganiques comme les orthophosphates, silicates, chromates,.... Leur mode d'action consiste à élever la valeur du potentiel de corrosion du matériau afin de l'amener à une valeur pour laquelle il y a formation d'un film passif protecteur sur l'anode [17]. Même si les inhibiteurs anodiques sont très efficaces et souvent utilisés, ils ont généralement une propriété indésirable : si la teneur en

inhibiteur est/ou devient progressivement abaissée, la surface métallique n'est plus entièrement couverte, et elle fonctionnera comme anode, obtenant ainsi une combinaison dangereuse, une petite anode et une grande cathode, conduisant à la corrosion par piqûres. Dans ce cas, l'inhibiteur fait plus de mal que de bien. C'est pour cela que les inhibiteurs anodiques sont souvent désignés comme dangereux [1].

#### ✓ *Les inhibiteurs cathodiques*

L'action des inhibiteurs cathodiques 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. Ces inhibiteurs sont plus « sûrs » que les inhibiteurs anodiques, en effet, ils ne risquent pas de favoriser la corrosion localisée, même en cas de sous-dosage [20].



**Figure I.13 :** Formation des couches barrières (A) cathodiques et (B) anodiques interférant avec les réactions électrochimiques, dans le cas d'une étude en milieu acide.

#### ✓ *Les inhibiteurs mixtes*

Les inhibiteurs mixtes diminuent la vitesse des deux réactions partielles en modifiant peu le potentiel de corrosion.

Les inhibiteurs de corrosion qui augmentent la résistance ohmique de l'électrolyte sont considérés, dans certains cas, comme inhibiteurs filmant (anodique et cathodique). La résistance de la solution augmente suite à la formation d'un film à la surface de corrosion du métal. Lorsque le film est déposé sélectivement sur la surface anodique, le potentiel de corrosion se

déplace vers des valeurs positives. Dans le cas où le film est déposé à la surface cathodique, le potentiel de corrosion balance vers des valeurs négatives [4].

#### I. 2.3.4. c. Selon le mécanisme d'action inter-faciale

C'est le troisième mode de classement des inhibiteurs, qui différencie ceux-ci à partir de leur mode de fixation sur la surface métallique. Les inhibiteurs d'adsorption, c'est-à-dire ceux qui agissent en formant des films de molécules adsorbées à la surface du métal, sont plutôt utilisés en milieu acide, alors que les inhibiteurs formant des films tridimensionnels de produits de réaction sont spécifiques des milieux neutres ou alcalins. Il existe certes des exceptions à ces règles de comportement et par exemple, certaines molécules organiques agissent par simple adsorption à la surface du métal (amines filmant pour la protection de l'acier) en milieu aqueux de pH neutre [21].

##### ➤ *Adsorption des molécules inhibitrices à la surface métallique*

L'adsorption est un phénomène de surface car toute surface est constituée d'atomes n'ayant pas toutes leurs liaisons chimiques satisfaites. Cette surface a donc tendance à combler ce manque en captant atomes et molécules se trouvant à proximité. Deux types d'adsorption peuvent être distingués : la physisorption et la chimisorption.

##### ✓ *Adsorption physique*

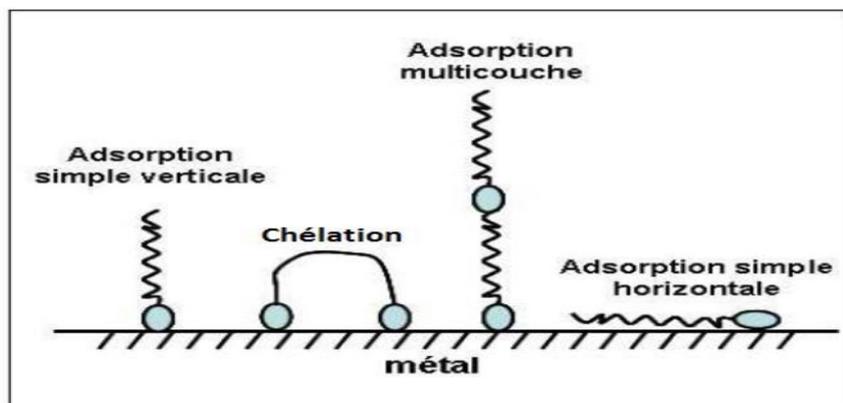
L'adsorption physique conserve l'identité aux molécules adsorbées ; trois types de forces sont à distinguer :

- Les forces de dispersion (de type Van der Waals) toujours présentes, ne sont pas assez énergétiques pour assurer à l'inhibiteur une fixation suffisante à la surface du métal.
- Les liaisons hydrogènes dues aux groupements hydroxyle ou amine,
- Les forces polaires, résultant de la présence de champs électriques (forces électrostatiques).

##### ✓ *Chimisorption*

La chimisorption est un mécanisme plus fréquent que le mécanisme de physisorption et conduit à une efficacité de l'inhibiteur plus importante, elle consiste, au contraire, en la mise en commun d'électrons entre la partie polaire de la molécule et la surface métallique, ce qui engendre la formation de liaisons chimiques bien plus stables car basées sur des énergies de liaison plus importantes. Les électrons proviennent en grande majorité des doublés non liants des molécules inhibitrices possédant des hétéroatomes tels que **O, N, S, P,...** (Tous ces atomes se distinguant

des autres de par leur électronégativité). L'adsorption chimique s'accompagne d'une profonde modification de la répartition des charges électroniques des molécules adsorbées ; la chimisorption est souvent un mécanisme irréversible.



**Figure I.14 :** Représentation schématique des modes d'adsorption de molécules organiques inhibitrices sur une surface métallique.

**Tableau I.1 :** Comparaison liaison physique - liaison chimique

Adsorption physique	Adsorption chimique
Force électrostatique	Liaison de coordination (recouvrement des charges ou transfert des charges entre métal et molécule).
Il n'y a pas contact direct inhibiteur-métal : une couche intermédiaire de molécules d'eau reste présente.	Il y a contact direct inhibiteur-surface métallique.
L'énergie d'adsorption est faible. Le processus est pratiquement indépendant de la température.	L'énergie d'adsorption est élevée et le processus est en principe favorisé par une élévation de température.
L'adsorption ne dépend pas de la nature du métal, seulement de la charge portée par le métal.	L'adsorption dépend de la nature du métal. Elle est favorisée par un métal ayant des orbitales électroniques vacantes et de faible énergie (métaux de transition).

Le tableau 1 met en évidence les différences essentielles entre les deux types d'adsorption. La meilleure efficacité généralement constatée pour les inhibiteurs chimisorbés provient essentiellement de l'énergie d'adsorption plus élevée, donc d'une molécule plus fortement fixée sur la surface métallique. Un inconvénient de cette fixation plus solide de la molécule doit être mentionné au plan de l'utilisation pratique de ce moyen de protection : il est plus difficile d'éliminer le film adsorbé que dans le cas d'un inhibiteur physisorbé, ce qui peut être un inconvénient si la surface ainsi protégée doit être ultérieurement soumise à un traitement superficiel (dépôt métallique en particulier).

➤ **Formation d'un film intégrant les produits de dissolution du substrat**

Cette forme d'inhibition, appelée également inhibition « d'interphase » traduit la formation d'un film tridimensionnel entre le substrat corrodé et les molécules d'inhibiteur. Les inhibiteurs d'interphase ne se contentent ainsi pas d'être adsorbés aux interfaces métal/oxyde et oxyde/électrolyte, mais sont également incorporés dans les couches barrières (en formant des complexes par exemple) ; ainsi ces molécules inhibitrices d'interphase conduisent à des réseaux homogènes et denses présentant de fait une faible porosité et une bonne stabilité [21].

### I. 2.3.5. Efficacité d'un inhibiteur de corrosion

L'expression la plus couramment utilisée pour exprimer l'efficacité d'un inhibiteur de corrosion est la suivante [1] :

✓ **Taux d'inhibition :**

$$P = \frac{u_0 - u}{u_0} \times 100 \quad (\%) \quad \text{I.6}$$

Où :

**$u_0$**  : la mesure de corrosion exprimée en perte de masse ou en intensité de corrosion en absence d'inhibiteur ;

**$u$**  : la mesure de corrosion en présence d'inhibiteur.

### I. 2.3.6. Inhibiteurs de la corrosion en milieu acide

Dans les milieux acides, les inhibiteurs les plus fréquemment utilisés sont des molécules de type organique. Ces inhibiteurs agissent d'abord par adsorption à la surface des métaux, avant même d'intervenir dans les processus réactionnels de corrosion pour en diminuer la vitesse [3].

Dans les solutions aqueuses, en raison de leur caractère polaire, les molécules d'eau s'adsorbent à la surface du métal. Les inhibiteurs organiques doivent donc déplacer les molécules d'eau adsorbées avant adsorption. D'après Bockris, l'adsorption d'une substance organique inhibitrice à la surface du métal peut être décrite par la réaction suivante :



Où  $n$  est le nombre de molécules d'eau déplacées à partir de la surface pour chaque molécule organique adsorbée. Le nombre  $n$  est indépendant du recouvrement et de la charge du métal, mais dépend de l'aire géométrique de la molécule organique par rapport à celle de l'eau. L'adsorption de la molécule organique se produit parce que l'énergie d'interaction entre la surface du métal et celle de la molécule organique est plus grande que l'énergie d'interaction entre le métal et les molécules d'eau.

L'inhibition de la corrosion au moyen des composés organiques résulte généralement de leur adsorption à la surface du métal. Le phénomène peut être mis en évidence par :

- L'étude des isothermes d'adsorption ;
- L'examen de la surface au moyen de techniques spécifiques : la microscopie électronique à balayage et la spectroscopie des photoélectrons.

La connaissance des facteurs qui influencent le phénomène d'adsorption des inhibiteurs est indispensable pour mieux comprendre le mécanisme d'inhibition de ces substances [20].

### I. 2.3.7. Influence de la concentration sur l'effet inhibiteur

Les lois de variation de la quantité adsorbée en fonction de la concentration en inhibiteur peuvent souvent être représentées par l'une des deux isothermes classiques suivantes : Langmuir et Temkin [23] :

#### ✓ *Langmuir*

Le modèle de Langmuir suppose qu'il existe à la surface un nombre fixe de sites. Chacun de ces sites ne peut adsorber qu'une seule particule. De plus, comme on néglige les interactions entre particules adsorbées, l'énergie d'adsorption est constante. La vitesse d'adsorption est proportionnelle à la concentration en inhibiteur  $C_{\text{inh}}$  et à la fraction de sites d'adsorption non occupée  $(1-\theta)$ , sachant que  $\theta$  représente la fraction de sites occupés par l'inhibiteur ( $0 < \theta < 1$ ).

$$V_{\text{ads}} = K_{\text{ads}} (1-\theta) C_{\text{inh}} \quad \mathbf{I.8}$$

Inversement, la vitesse de désorption est proportionnelle à la fraction de sites occupés par les particules adsorbées :

$$V_{des} = K_{des} \theta \quad \text{I.9}$$

A l'équilibre, les deux vitesses sont égales.

$$K_{ads}(1-\theta)C_{inh} = K_{des}\theta \quad \text{I.10}$$

Ce qui nous donne l'équation de l'isotherme de Langmuir suivante :

$$\theta / (1 - \theta) = K_{ads} / (K_{des} C_{inh}) = b C_{inh} \quad \text{I.11}$$

La fraction de sites occupés  $\theta$ , aussi appelée taux de recouvrement de la surface est donnée par la formule :

$$\theta = b C_{inh} / (1 + b C_{inh}) \quad \text{I.12}$$

Dans cette équation,  $b$  désigne le coefficient d'adsorption.

✓ *Temkin*

$$b C_{inh} = \exp(a\theta) - 1 / 1 - \exp[-a(1 - \theta)] \quad \text{I.13}$$

Où  $a$  est une constante d'interaction entre particules adsorbées,  $b$  désigne le coefficient d'adsorption et  $C_{inh}$  la concentration de l'inhibiteur dans l'électrolyte.

## I. 3. Les méthodes d'évaluation de la corrosion

### I. 3.1. Méthode gravimétrique

Cette méthode est relativement simple, ne nécessite pas un appareillage important, mais ne permet pas l'approche des mécanismes mis en jeu lors de la corrosion. Elle consiste à exposer des échantillons de surface ( $S$ ) dans un milieu corrosif maintenue à température constante pendant un temps ( $t$ ), et à mesurer la différence de masse des ( $\Delta m$ ) échantillons avant  $m_i$  et après  $m_f$  chaque essai. La vitesse de corrosion est donnée par la relation suivante :

$$V_{Corr} = \Delta m / (t.S) \quad \text{I.14}$$

- $V_{corr}$  peut être exprimé en  $mg/cm^2.h$
- $\Delta m = m_i - m_f$  perte de masse exprimé en  $mg$
- $S$  : surface de l'échantillon exposé en  $cm^2$

- **t** : temps d'immersion en **h**
- L'efficacité inhibitrice est donnée par la relation suivante :

$$P \ \% = (V_{corr} - V_{corr\ inhib} * 100) / (V_{corr}) \quad \mathbf{I.15}$$

Avec ( $V_{corr}$ ) et ( $V_{corr\ inhib}$ ) sont les vitesses de corrosion de l'échantillon après immersion dans la solution respectivement sans et avec inhibiteur [24].

### I. 3.2. Méthodes électrochimiques

Les méthodes électrochimiques utilisées permettant l'étude de phénomène de corrosion peuvent être divisées en deux catégories [4] :

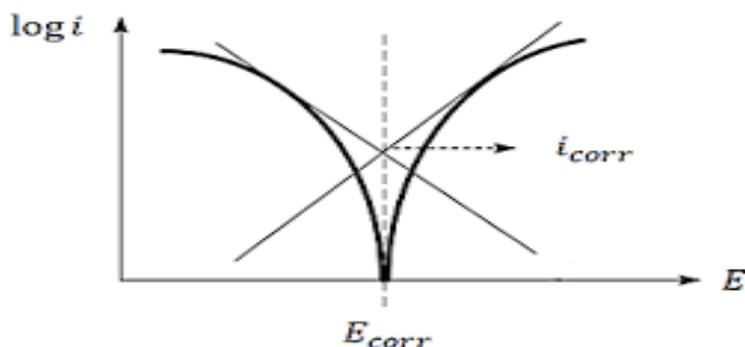
- Méthode stationnaire
- Méthode transitoire

#### ✓ *Méthode stationnaire : courbes de polarisation*

La courbe de polarisation de l'interface métal-solution est une caractéristique fondamentale de la cinétique électrochimique, mais ne rend compte que de l'étape la plus lente du processus global à l'interface électrochimique. Pour déterminer une courbe de polarisation potentiostatique, on applique à l'aide d'un potentiostat, différents potentiels entre l'électrode de travail et une électrode de référence. On mesure le courant stationnaire qui s'établit après un certain temps dans le circuit électrique entre cette électrode de travail et une contre-électrode.

Cette méthode permet de déterminer d'une façon précise les paramètres électrochimiques d'un métal au contact de l'électrolyte à savoir : la vitesse instantanée de corrosion ( $I_{corr}$ ), le potentiel de corrosion ( $E_{corr}$ ), les pentes de Tafel, les résistances de polarisations ( $R_p$ ), les courants limites de diffusion. Elle donne des mesures rapides et sa mise en œuvre est relativement simple.

La détermination de la vitesse de corrosion à partir des courbes de polarisation est étroitement liée à la cinétique régissant le processus électrochimique. Pour déterminer expérimentalement les paramètres électrochimiques ( $I_{corr}$ ,  $E_{corr}$ ) une présentation logarithmique de la densité de courant est en général préférable, car elle met en évidence la relation linéaire entre le logarithme de la densité de courant et le potentiel (**Figure I.15**).



**Figure I.15** : Détermination des paramètres électrochimiques à partir des droites de Tafel

✓ *Méthode transitoire : la spectroscopie d'impédance électrochimique (S.I.E)*

Les méthodes non stationnaires peuvent être classées en deux catégories à savoir : la méthode de perturbation de grande amplitude (voltamétrie cyclique) et la méthode de faible amplitude (impédancemétrie électrochimique). Des travaux antérieurs ont montré que la spectroscopie d'impédance électrochimique est susceptible d'identifier les étapes élémentaires intervenant dans le processus global se déroulant à l'interface métal-solution, sous formes de diverses constantes de temps.

La méthode d'impédancemétrie consiste à mesurer la réponse de l'électrode face à une modulation sinusoïdale de faible amplitude du potentiel en fonction de la fréquence. On peut superposer une telle modulation à un potentiel anodique ou cathodique imposé ou potentiel de corrosion. Une alternative consiste à moduler le courant et mesurer le potentiel. On appelle parfois spectroscopie d'impédance les mesures d'impédance présentées en fonction de la fréquence de modulation. L'analyse de la réponse du système conduit à disséquer les étapes élémentaires intervenant dans le processus électrochimique global.

Dans le domaine de la corrosion, la S.I.E. présente plusieurs avantages. Elle permet la détermination précise de la vitesse de corrosion même dans le cas où le métal est recouvert d'une couche protectrice. La S.I.E. permet l'évaluation de taux de d'inhibition, la caractérisation des différents phénomènes de corrosion (dissolution, passivation, piqûration,...) et l'étude des mécanismes réactionnels à l'interface électrochimique. Toutefois, la S.I.E nécessite un appareillage spécifique (analyseur de fonction de transfert) et leur exploitation est toujours plus délicate que les autres méthodes.

## I. 4. Le Géranium (*Pelargonium graveolens*)

### I. 4.1. Histoire

Le *Pelargonium graveolens* provient du Cap de Bonne Esperance en Afrique du Sud. Il a été introduit en Europe à la fin du 17<sup>ème</sup> siècle dans les jardins botaniques.

Au milieu du 19<sup>ème</sup> siècle, la véritable Rose du Levant (*Rosa damascena* Mill.) devenant rare et le prix de son huile essentielle très élevé, contraignit les parfumeurs de l'époque de rechercher de nouvelles sources d'essences à odeur de rose, d'où les essais de culture de Géranium rosat par Demerson et les premières plantations dans la région de Grasse en France pour la production d'huile essentielle. Cependant, la culture s'accommodait mal aux contraintes climatiques et économiques du Sud de la France. Très rapidement, de nouvelles plantations furent développées en Algérie. Dès le début du 20<sup>ème</sup> siècle, la culture du Géranium rosat est apparue dans d'autres régions : Corse (France), Italie, Espagne, Portugal, Maroc, Tunisie, Egypte, Russie, Comores, Afrique du Sud, Congo, Inde, Brésil, Chine [25].

### I. 4.2. Caractérisation botanique

#### I. 4.2.1. Morphologie

Sous arbrisseau à port érigé, très ramifiant formant une touffe arrondie. Il peut atteindre jusqu'à 1m30 de hauteur et 1 mètre de diamètre. Les tiges sont vertes et tendres, elles se lignifient et deviennent plus foncées avec l'âge. Les feuilles sont opposées, persistantes, odorantes, douces et découpées en 5 à 7 lobes (**Figure I.16**). L'inflorescence est terminale et constituée de 3 à 10 semi-ombelles de couleur rose. Ses fleurs roses, à cinq pétales sont souvent veinées d'une coloration plus foncée [25].



**Figure I.16** : Inflorescences et Feuilles de *Pelargonium graveolens*

## I. 4.2.2. Mode de culture

### ✓ Milieu naturel

Les conditions climatiques ont une forte influence sur le développement du Géranium rosat qui demande un climat chaud, sec et sans vent nuisible. La température doit rester supérieure ou égale à 3/5 C. Des précipitations de l'ordre de 1 000 à 1 500 mm d'eau par an sont recommandées. Les faibles gelées sont à craindre d'autant que les plants sont plus jeunes. Idéalement, le Géranium croît dans des conditions climatiques et édaphiques ni trop humides, ni trop sèches. En effet, des conditions trop humides sont favorables au développement de la rouille capable de détruire une plantation en quelques jours. En revanche, des conditions trop sèches entrainent un retard de croissance [25].

## I. 5. Extraction des huiles essentielles

Il existe plusieurs méthodes pour extraire les huiles essentielles. Les principales sont basées sur l'entraînement à la vapeur, l'expression, la solubilité et la volatilité. Le choix de la méthode la mieux adaptée se fait en fonction de la nature de la matière végétale à traiter, des caractéristiques physico-chimiques de l'essence à extraire, de l'usage de l'extrait et l'arôme du départ au cours de l'extraction [26].

Il existe plusieurs méthodes de distillation dont voici les principales :

### I. 5.1. Extraction par entraînement à la vapeur d'eau

L'entraînement à la vapeur d'eau est l'une des méthodes officielles pour l'obtention des huiles essentielles. A la différence de l'hydrodistillation, cette technique ne met pas en contact direct l'eau et la matière végétale à traiter.

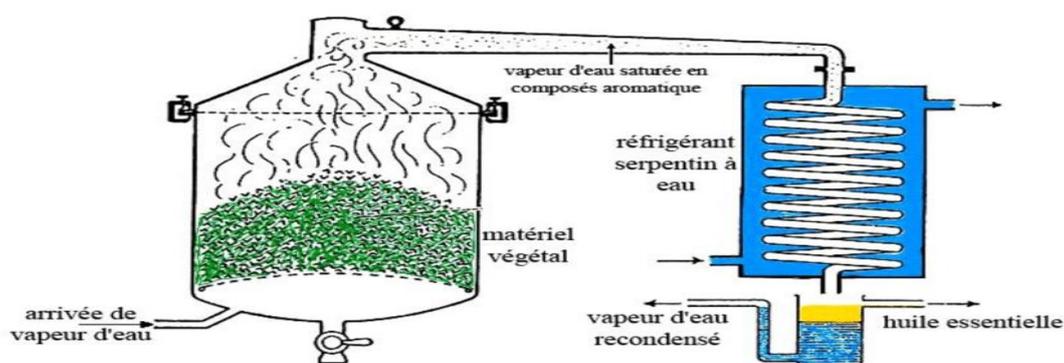
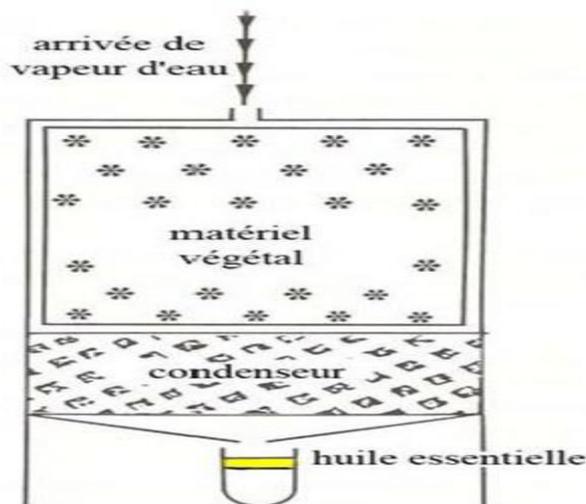


Figure I.17 : Entraînement à la vapeur d'eau

De la vapeur d'eau fournie par une chaudière traverse la matière végétale située au-dessus d'une grille. Durant le passage de la vapeur à travers le matériel, les cellules éclatent et libèrent l'huile essentielle qui est vaporisée sous l'action de la chaleur pour former un mélange « eau + huile essentielle ». Le mélange est ensuite véhiculé vers le condenseur et l'essencier avant d'être séparé en une phase aqueuse et une phase organique.

L'hydrodiffusion est une variante de l'entraînement à la vapeur (**Figure I.18**).



**Figure I.18** : Hydrodiffusion

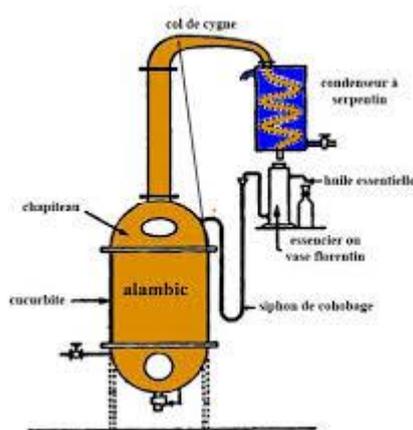
Dans le cas de l'hydrodiffusion, le flux de vapeur n'est pas ascendant mais descendant. Comme pour l'entraînement à la vapeur d'eau, l'hydrodiffusion présente l'avantage de ne pas mettre en contact le matériel végétal et l'eau. De plus, l'hydrodiffusion permet une économie d'énergie due à la réduction de la durée de la distillation et donc à la réduction de la consommation de vapeur [27].

## I. 5.2. L'hydrodistillation et ses variantes

L'hydrodistillation proprement dite, est la méthode normée pour l'extraction d'une huile essentielle, ainsi que pour le contrôle de qualité. Le principe de l'hydrodistillation correspond à une distillation hétérogène. Le procédé consiste à immerger la matière première végétale dans un bain d'eau. L'ensemble est ensuite porté à ébullition généralement à pression atmosphérique (**Figure I.19**).

La chaleur permet l'éclatement et la libération des molécules odorantes contenues dans les cellules végétales. Ces molécules aromatiques forment avec la vapeur d'eau, un mélange azéotropique.

- La distillation peut s'effectuer avec ou sans recyclage (cohobage) de la phase aqueuse obtenue lors de la décantation.
- La durée d'une hydrodistillation peut considérablement varier, pouvant atteindre plusieurs heures selon le matériel utilisé et la matière végétale à traiter.
- Afin de traiter des matières premières pour lesquelles il est difficile d'extraire l'huile essentielle ou pour les essences difficilement entraînaibles, l'hydrodistillation à pression réduite représente une bonne alternative. Cette technique est en outre utilisée pour le santal, le girofle ou les rhizomes de vétyver, de gingembre et d'iris [27].



**Figure I.19 :** L'hydrodistillation

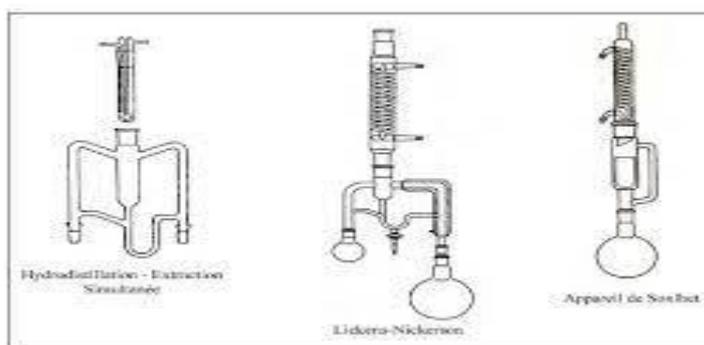
La turbodistillation est un procédé d'hydrodistillation accélérée en discontinue. Cette technique est prédestinée aux matières premières végétales difficiles à traiter (les racines, les ligneux ou les graines, exemple : badiane de Chine ou les graines de céleri). Elle représente une alternative à des hydrodistillations de longue durée. Le réacteur contenant la matière végétale est équipé d'une turbine qui permet d'une part, la dilacération des matières végétales, d'autre part, une agitation turbulente, d'où un meilleur coefficient de transfert thermique et une augmentation de la surface de vaporisation.

### I. 5.3. L'extraction par solvants

La technique d'extraction par solvant, consiste à placer dans un extracteur un solvant volatil et la matière végétale à traiter. Grâce à des lavages successifs, le solvant va se charger en molécules aromatiques, avant d'être envoyé au concentrateur pour y être distillé à pression atmosphérique. Le produit ainsi obtenu est appelé « concrète ». Cette concrète pourra être par la suite brassée avec de l'alcool absolu, filtrée et glacée pour en extraire les cires végétales.

Après une dernière concentration, on obtient une « absolue ».

- Les rendements sont généralement plus importants par rapport à la distillation.
- L'intervention de solvants organiques qui peut entraîner des risques d'artéfacts et des possibilités de contamination de l'échantillon par des impuretés parfois difficile à éliminer.
- Le choix du solvant : le méthanol, l'éthanol, l'éther de pétrole ou encore le dichlorométhane.
- Cette technique d'extraction a été récemment combinée aux micro-ondes et aux ultra-sons.



**Figure I.20 :** Les différents types d'extraction par solvants volatils

L'extraction par solvant organique volatil reste très pratiquée. Les solvants les plus utilisés à l'heure actuelle sont l'hexane, cyclohexane, l'éthanol moins fréquemment le dichlorométhane et l'acétone [27].

#### **I. 5.4. Extraction par les corps gras**

La méthode d'extraction par les corps gras est utilisée en fleurage dans le traitement des parties fragiles de plantes telles que les fleurs, qui sont très sensibles à l'action de la température. Elle met à profit la liposolubilité des composants odorants des végétaux dans les corps gras. Le principe consiste à mettre les fleurs en contact d'un corps gras pour le saturer en essence végétale. Le produit obtenu est une pommade florale qui est ensuite épuisée par un solvant qu'on élimine sous pression réduite. Dans cette technique, on peut distinguer l'enfleurage où la saturation se fait par diffusion à la température ambiante des arômes vers le corps gras et la digestion qui se pratique à chaud, par immersion des organes végétaux dans le corps gras [26].

#### **I. 5.5. Extraction par micro- ondes**

Le procédé d'extraction par micro-ondes appelée Vacuum Microwave Hydrodistillation (VMHD) consiste à extraire l'huile essentielle à l'aide d'un rayonnement micro-ondes d'énergie constante et d'une séquence de mise sous vide. Seule l'eau de constitution de la matière végétale

traitée entre dans le processus d'extraction des essences. Sous l'effet conjugué du chauffage sélectif des micro-ondes et de la pression réduite de façon séquentielle dans l'enceinte de l'extraction, l'eau de constitution de la matière végétale fraîche entre brutalement en ébullition. Le contenu des cellules est donc plus aisément transféré vers l'extérieur du tissu biologique, et l'essence est alors mise en oeuvre par la condensation, le refroidissement des vapeurs et puis la décantation des condensats. Cette technique présente les avantages suivants : rapidité, économie du temps d'énergie et d'eau, extrait dépourvu de solvant résiduel [26].

## I. 6. Conclusion

Les inhibiteurs de corrosion constituent un moyen de lutte contre la corrosion des métaux et des alliages. Ils présentent l'originalité d'être le moyen efficace d'intervention sur le milieu corrosif. Les molécules inhibitrices peuvent agir suivant différents mécanismes, leur conférant ainsi des performances d'inhibition dépendantes du matériau et du milieu d'étude. Les inhibiteurs verts obtenus à partir des plantes (feuilles, graines, fleurs, écorces...) contenant les groupements amines ou acides carboxyliques, présentent des pouvoirs protecteurs intéressants et sont actuellement les plus utilisés, notamment en raison de leur faible toxicité vis-à-vis de l'environnement.

# *Chapitre II*

## *Conditions expérimentales*

## II. 1. Introduction

Dans ce chapitre, l'inhibition de la corrosion de l'acier au carbone en milieu acide par une huile essentielle de géranium, sera évaluée en utilisant la méthode gravimétrique, appelée aussi la mesure de perte de masse.

Lors de ce travail expérimental, le système électrochimique Métal /Solution considéré est composé par :

- ✓ Un échantillon d'acier au carbone.
- ✓ Un milieu acide HCl 1M en présence et en absence de l'huile essentielle du Géranium.

## II. 2. Matériaux d'étude

### II. 2.1. La composition chimique de l'acier

L'acier utilisé dans ce travail est un acier API 5CT grade P110. C'est un acier qui présente de propriétés mécaniques et une résistance aux chocs favorables. Cela en fait un acier largement utilisé dans le marché du gaz et du pétrole. Sa composition est :

**Tableau II.1** : Composition chimique de l'acier API 5CT grade P110

L'élément	C	Mn	Mo	Cr	Ni	p	S
Pourcentage massique	<0.5	<1.9	<1.1	<10	0.99	0.03	0.03

### II. 2.2. Composition de l'huile essentielle

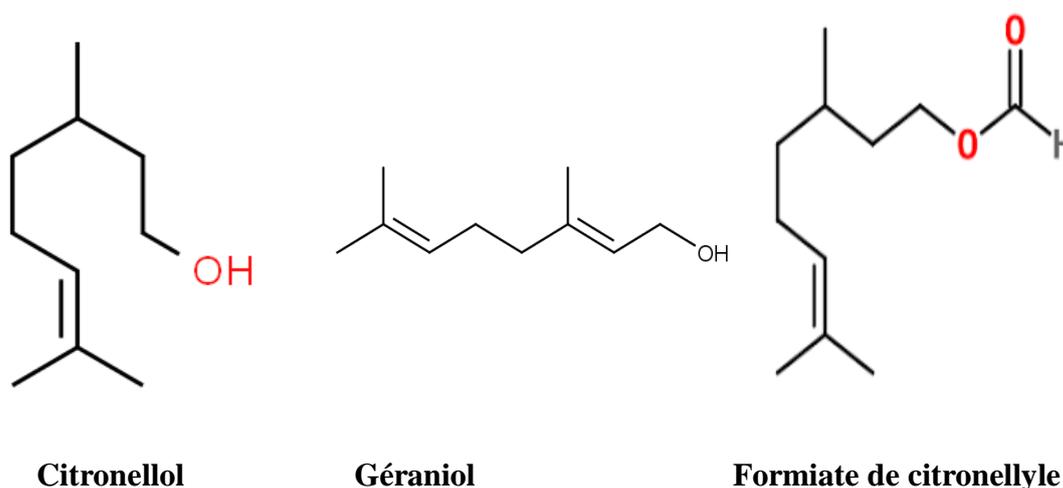


**Figure II.1** : *Pelargonium graveolens* (Géranium)

Dans notre travail nous avons utilisé une huile essentielle de géranium commerciale de marque arkopharma 100% pure et naturelle.

La composition de l'huile essentielle varie par le pourcentage des composés majoritaires (citronellol et géranol) et certains composés ne se retrouvent pas dans toutes les huiles de géranium. L'huile essentielle obtenue à partir de plantes possède généralement 61 composés, dont 69 % de monoterpènes oxygénés, 16,2 % de sesquiterpènes oxygénés et 9,7 % de sesquiterpènes hydrocarbonés [28].

Les composants majeurs dans l'huile de géranium utilisée dans notre travail, mentionnés sur l'étiquette du produit, pour 6 gouttes soit 160 mg de l'huile essentielle, sont : le citronellol (62 mg soit 38%), le géranol (11 mg soit 7%) et le formiate de citronellyle.



**Figure II.2 :** Composés majoritaires de l'huile essentielle des feuilles de *Pelargonium graveolens* (Géranium)

## II. 3. Préparation des échantillons et polissage

### II. 3.1. préparation des échantillons

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



**Figure II.3 :** Formes et dimensions des échantillons

## II. 3.2. Polissage

L'opération de polissage a été effectuée avec du papier abrasif de différentes granulométries : 60, 200, 220, 400, et 600 afin d'obtenir un état de surface adéquat. Ensuite, les échantillons sont nettoyés à chaque fois à l'aide de l'eau distillée et on finit par un séchage afin d'éviter la formation immédiate des produits de corrosion. Ces traitements sont nécessaires afin de rendre la surface chimiquement active.



**Figure II.4 :** Papiers abrasifs de différentes granulométries

## II. 4. Préparation des solutions

### II. 4.1. Préparation de la solution corrosive

Au cours de notre travail nous avons utilisé comme solutions corrosives la solution aqueuse d'acide chlorhydrique 1M. La solution acide est préparée à partir de la solution concentrée acide chlorhydrique (35 -36%) en utilisant de l'eau distillée.

**Tableau II.2 :** Les propriétés physico-chimiques de l'acide chlorhydrique

<b>Masse molaire</b>	<b>36.46 g/mol</b>
<b>Densité</b>	<b>1.180 g/cm</b>
<b>Pureté</b>	<b>35.5%</b>
<b>T° ébullition</b>	<b>48°C</b>
<b>Solubilité</b>	<b>700 g.l<sup>-1</sup></b>
<b>Viscosité dynamique</b>	<b>1.53Pa.s à 25°C</b>

### II. 4.2. Solutions inhibitrices

Dans ce travail, on a adopté un inhibiteur naturel à savoir l'huile essentielle de géranium ; On a prélevé 3ml de cet inhibiteur et on l'a dilué dans 47 ml d'une solution hydro alcoolique (70 % éthanol).

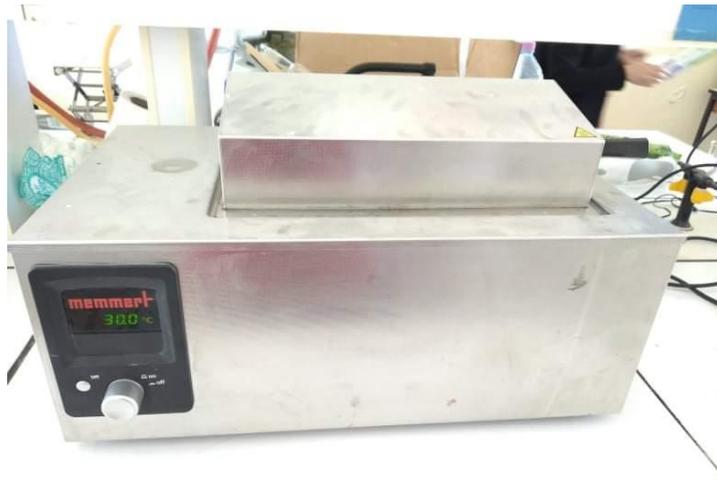
## II. 5. Méthode de perte de masse

Les mesures de la perte de poids sont souvent prises comme une première approche de l'étude de l'inhibition de la corrosion d'un métal dans une solution électrolytique.

C'est une des plus anciennes techniques d'étude de la corrosion, cette méthode présente l'avantage d'être d'une mise en œuvre simple et de ne pas nécessiter un appareillage important. Elle est basée sur l'immersion d'un coupon métallique dans le milieu d'essai. Après une période de temps prédéterminée, il est retiré, lavé, séché et enfin pesé.

**II. 5.1. Matériels**

- L'échantillon (acier ordinaire)
- 6 Bécher
- Balance analytique de précision
- Spatule
- Papier abrasif
- Bain thermostat
- Eprouvette graduée
- Pipette

**Figure II.5 : Balance analytique****Figure II.6 : Eprouvette graduée****Figure II.7 : Bain thermostat**

## II. 5.2. Conditions opératoires

Pour l'étude des phénomènes de corrosion, nous avons considéré les conditions suivantes :

- Le volume de la solution étudiée est de 50ml.
- Le polissage avec un papier abrasif jusqu'au grade de 600 avant chaque essai.
- Le rinçage avec l'eau distillée et séchage.
- La mesure de la différence de masse des échantillons avant et après chaque essai.

## II. 5.3 Protocole de la Méthode gravimétrique

Une série de mesure de perte de masse a été effectuée dans une solution corrosive sans et avec addition d'inhibiteur. Les paramètres étudiés dans notre travail sont : le temps d'immersion, la concentration de l'inhibiteur et la température. Le protocole expérimental suit les étapes suivantes :

- Après le polissage des échantillons, leur nettoyage avec l'eau distillé et le séchage, on mesure leur surface.
- L'échantillon est pesé juste avant de l'immerger dans le milieu.
- Les échantillons sont immergés dans les béchers en verre contenant de HCl 1M pendant un temps d'immersion choisi, en présence et en absence d'une solution d'inhibitrice et à une température désirée moyennant un bain thermostaté.
- Après une durée d'immersion bien déterminée, les échantillons sont retirés, séchés puis de nouveau pesés à l'aide d'une balance analytique.



**Figure II.8 :** Echantillons d'acier dans une solution corrosive avec et sans solution inhibitrice

✓ Le taux de corrosion par la méthode de perte de masse, est déterminé par la formule suivante :

$$\Delta m = m_0 - m_1 \quad \text{II.1}$$

**m<sub>0</sub> (g)** : la masse de l'échantillon avant l'essai.

**m<sub>1</sub> (g)** : la masse de l'échantillon après l'essai.

**Δm (g)** : la perte de masse (le taux de corrosion) de l'échantillon.

✓ La vitesse de corrosion (**V**) est déterminée par l'équation suivante :

$$v = \frac{\Delta m}{S * t} \quad (\text{g/cm}^2.\text{h}) \quad \text{II.2}$$

**Δm** : la perte de masse en **g**.

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

**t** : le temps d'exposition dans la solution en heure.

✓ L'efficacité d'inhibition est calculée à partir de la relation suivant :

$$P (\%) = \frac{V - V_i}{V} * 100 \quad \text{II.3}$$

**V** : la vitesse de corrosion sans inhibiteur.

**V<sub>i</sub>** : la vitesse de corrosion en présence d'inhibiteur.

# *Chapitre III*

## *Résultats & discussions*

### III. 1. Introduction

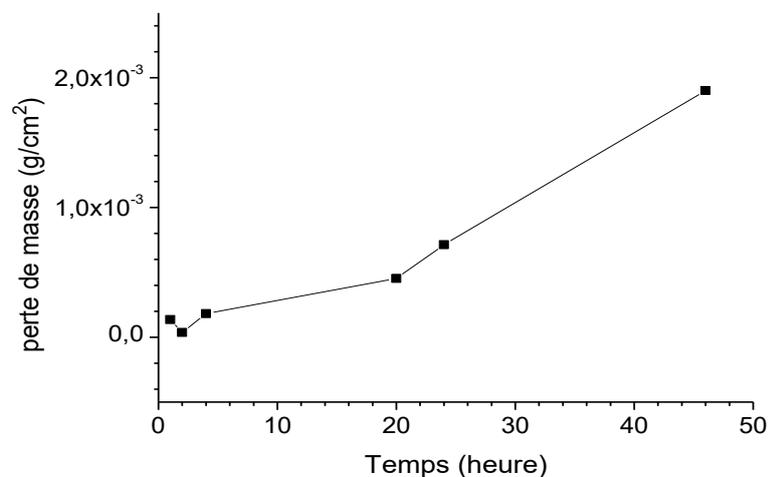
Dans Ce chapitre, Nous avons étudié l'effet de la concentration et la température sur le pouvoir d'inhibition de la corrosion de l'acier ordinaire en milieu HCl 1M. L'influence du temps d'immersion sur le pouvoir inhibiteur a également été étudiée par la méthode gravimétrique. Les résultats obtenus sont présentés sous forme des tableaux et des graphes.

#### III. 1.1. Effet du temps d'immersion

Nous avons testé différents temps d'immersion de l'acier ordinaire dans HCl 1M.

**Tableau III.1** : Les valeurs de la perte de la masse moyenne de l'acier ordinaire en fonction du temps d'immersion dans 1M de HCL

Temps(h)	Surface (cm <sup>2</sup> )	m <sub>0</sub> (g)	m <sub>1</sub> (g)	Δm(g)	Δm (g /cm <sup>2</sup> )	V <sub>corr</sub> (g/cm <sup>2</sup> .h)
1	5,87	7,6655	7,6647	0,0008	1,3628. 10 <sup>-4</sup>	1,36286. 10 <sup>-4</sup>
2	8,3	12,1842	12,1839	0,0003	0,3614. 10 <sup>-4</sup>	0,18072. 10 <sup>-4</sup>
4	6,57	9,0981	9,0969	0,0012	1,8264. 10 <sup>-4</sup>	0,45662. 10 <sup>-4</sup>
20	9,06	13,1304	13,1263	0,0041	4,5253. 10 <sup>-4</sup>	0,22577. 10 <sup>-4</sup>
24	8,55	14,1279	14,1218	0,0061	7,1345. 10 <sup>-4</sup>	0,29727. 10 <sup>-4</sup>
46	4,84	6,4325	6,4233	0,0092	19,0082. 10 <sup>-4</sup>	0,41322. 10 <sup>-4</sup>



**Figure III. 1** : Variation de la perte de masse moyenne Δm de l'acier ordinaire en fonction du temps d'immersion dans HCL 1M

D'après le tableau et la courbe ci-dessus, nous remarquons une légère augmentation de la perte de masse moyenne de l'acier dans HCl 1M après début d'immersion. Cette augmentation devient relativement plus importante après 20h d'immersion. Ceci est dû à la dissolution continue du métal dans le milieu corrosif.

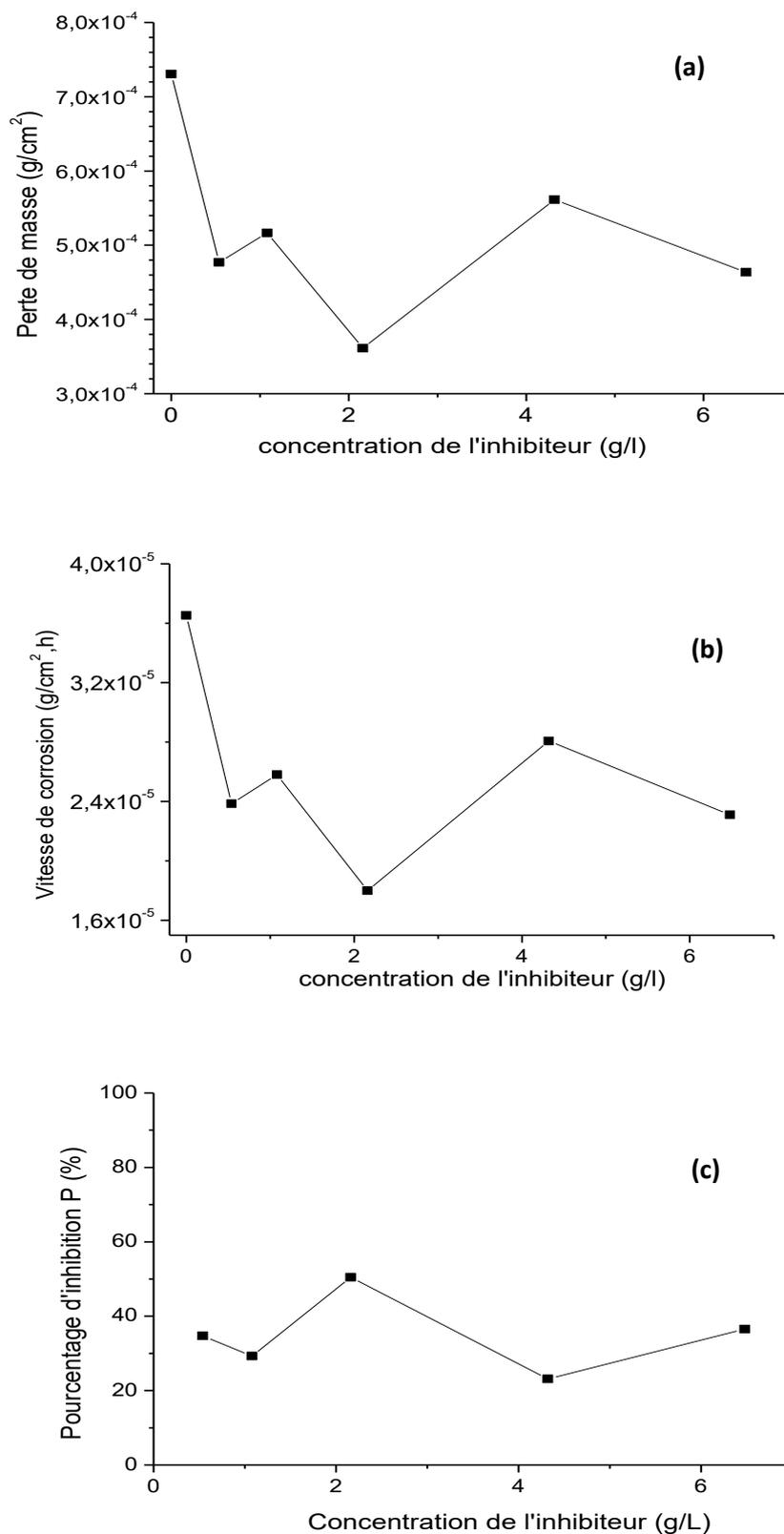
### III. 1.2. Effet de concentration d'inhibiteur

Dans cette partie de l'étude, nous avons calculé plusieurs paramètres tels que la perte de masse moyenne de l'acier, la Vitesse de corrosion  $V_{\text{corr}}$  ainsi que l'efficacité inhibitrice (P%) en milieu HCl 1M pendant un temps d'immersion de 20 heures, en absence et en présence de l'inhibiteur à différentes concentrations et à la température ambiante. L'inhibiteur utilisé est une huile essentielle de géranium. Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau suivant.

**Tableau III.2 :** Perte de masse moyenne de l'acier, vitesse de corrosion et l'efficacité inhibitrice dans HCl 1M en absence et en présence de l'inhibiteur

Temps (h)	Conc g/L	surface (cm <sup>2</sup> )	m <sub>0</sub> (g)	m <sub>1</sub> (g)	Δm (g)	Δm /S (g/cm <sup>2</sup> )	V <sub>corr</sub> (g/cm <sup>2</sup> .h)	p (%)
20	0	6,57	9,060	9,056	0,0048	7,305. 10 <sup>-4</sup>	0,365. 10 <sup>-4</sup>	/
20	0.54	5,87	7,656	7,653	0,0028	4,770. 10 <sup>-4</sup>	0,238. 10 <sup>-4</sup>	34,7
20	1	4,84	6,3421	6,339	0,0025	5,165. 10 <sup>-4</sup>	0,258. 10 <sup>-4</sup>	29,3
20	2.1	8,3	12,171	12,168	0,003	3,614. 10 <sup>-4</sup>	0,180. 10 <sup>-4</sup>	<b>50,5</b>
20	4.3	8,55	14,012	14,007	0,0048	5,614. 10 <sup>-4</sup>	0,280. 10 <sup>-4</sup>	23,15
20	6.5	9,06	13,018	13,014	0,0042	4,635. 10 <sup>-4</sup>	0,231. 10 <sup>-4</sup>	36,55

L'évolution de la perte de masse moyenne, vitesse de corrosion  $V_{\text{corr}}$  et de l'efficacité inhibitrice P(%) avec la concentration des inhibiteurs sont présentée par le **Figure III.2**.



**Figure III. 2 :** Variation de : (a) : Perte de masse de l'acier ordinaire, (b) : Vitesse de corrosion et (c) : l'efficacité inhibitrice dans HCL 1M en absence et en présence de différentes concentrations d'inhibiteur

Globalement, la perte de masse et la vitesse de corrosion, qui varient d'une façon identique en fonction de la concentration de l'inhibiteur, se trouvent diminuées en présence de l'inhibiteur et cela quelque soit sa concentration. Cette diminution n'est pas continue et elle est maximale à la concentration de 2.1 g/L.

En absence d'inhibiteur, la valeur de vitesse de corrosion est de  $3,65 \cdot 10^{-5}$  (g/cm<sup>2</sup>.h) ; elle devient  $1,8 \cdot 10^{-5}$  (g/cm<sup>2</sup>.h) et l'efficacité inhibitrice enregistre un maximum de 50,5 % à cette concentration. Cette inhibition de la corrosion est due à la formation d'un film protecteur bloquant la surface du métal, par l'adsorption des différents composés organiques présents dans l'huile essentielle du géranium.

Aux concentrations de 1 et 4,3g/L d'inhibiteur, une légère reprise de la vitesse de corrosion a été obtenue sans qu'elle atteigne sa valeur en absence d'inhibiteur. Cela peut être interprété par un détachement du film protecteur de la surface du métal. Les valeurs de l'efficacité inhibitrice sont alors autour de 29 et 23% respectivement.

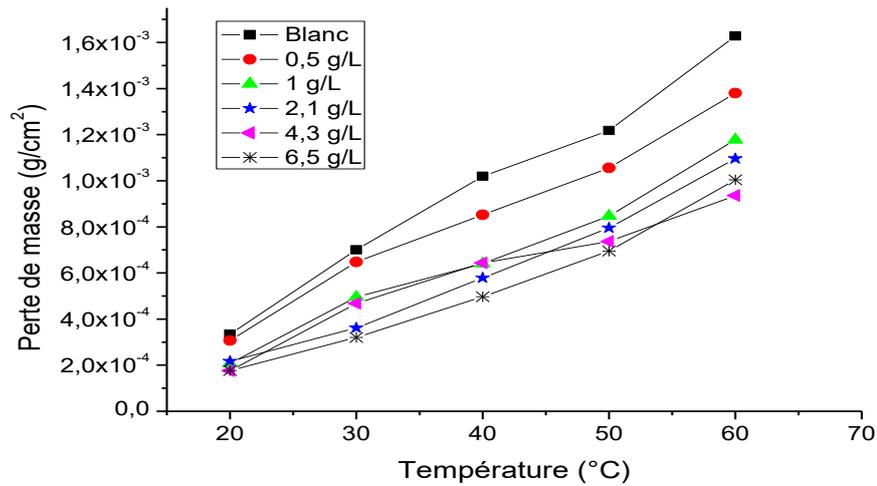
### **III. 1.3. Effet de Température**

La température est l'un des facteurs qui peuvent modifier à la fois le comportement des inhibiteurs et des substrats dans un milieu agressif donné. Les composés organiques ou les complexes formés peuvent se dissoudre plus facilement quand la température augmente. L'augmentation de la température peut ainsi provoquer un affaiblissement de la résistance à la corrosion de l'acier [29].

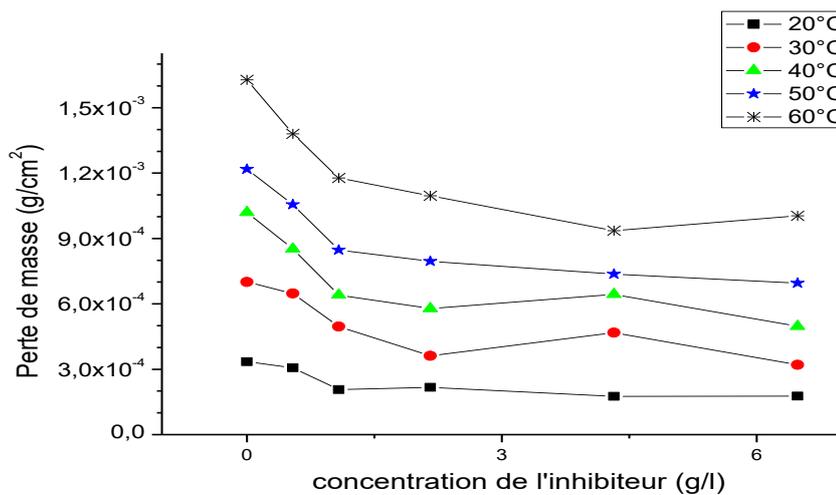
Dans l'objectif d'examiner l'influence de la température sur la corrosion de l'acier ordinaire en présence et en absence de inhibiteur à différente concentration dans HCl (1M), nous avons reproduit l'expérience précédente à différente température de 20, 30, 40 ,50 et 60°C à l'aide d'un bain thermostaté pour un temps d'immersion de 4 heures. Les résultats obtenus après 4h d'immersion sont récapitulés dans le **Tableau III.3**.

**Tableau III.3 :** La perte de masse moyenne de l'acier ordinaire, vitesse de corrosion et l'efficacité inhibitrice dans HCL 1M sans et avec addition inhibiteur à différentes concentrations après 4h d'immersion et à différentes températures

T(C)	C (g/l)	S (cm <sup>2</sup> )	Δm (g)	Δm /S (g/cm <sup>2</sup> )	V <sub>corr</sub> (g/cm <sup>2</sup> .h)	P(%)
<b>20</b>	Blanc	6,57	0,0022	3,34855. 10 <sup>-4</sup>	0,83714. 10 <sup>-4</sup>	—
	0,54	5,87	0,0018	3,06644. 10 <sup>-4</sup>	0,76661. 10 <sup>-4</sup>	8,43
	1	4,84	0,0010	2,06612. 10 <sup>-4</sup>	0,51653. 10 <sup>-4</sup>	3,83
	2,1	8,3	0,0018	2,1687. 10 <sup>-4</sup>	0,54217. 10 <sup>-4</sup>	3,52
	4,3	8,55	0,0015	1,75439. 10 <sup>-4</sup>	0,4386. 10 <sup>-4</sup>	4,76
	6,5	9,06	0,0016	1,7660. 10 <sup>-4</sup>	0,4415. 10 <sup>-4</sup>	4,73
	<b>30</b>	Blanc	6,57	0,0046	7,0015. 10 <sup>-4</sup>	1,7504. 10 <sup>-4</sup>
0,54		5,87	0,0038	6,4736. 10 <sup>-4</sup>	1,6184. 10 <sup>-4</sup>	7,54
1		4,84	0,0024	4,9587. 10 <sup>-4</sup>	1,2397. 10 <sup>-4</sup>	29,17
2,1		8,3	0,0030	3,6145. 10 <sup>-4</sup>	0,90361. 10 <sup>-4</sup>	48,37
4,3		8,55	0,0040	4,6784. 10 <sup>-4</sup>	1,1696. 10 <sup>-4</sup>	33,18
6,5		9,06	0,0029	3,2009. 10 <sup>-4</sup>	0,80022. 10 <sup>-4</sup>	54,28
<b>40</b>		Blanc	6,57	0,0067	10,19787. 10 <sup>-4</sup>	2,5495. 10 <sup>-4</sup>
	0,54	5,87	0,0050	8,51789. 10 <sup>-4</sup>	2,1295. 10 <sup>-4</sup>	16,47
	1	4,84	0,0031	6,40496. 10 <sup>-4</sup>	1,6012. 10 <sup>-4</sup>	37,20
	2,1	8,3	0,0048	5,78313. 10 <sup>-4</sup>	1,4458. 10 <sup>-4</sup>	43,29
	4,3	8,55	0,0055	6,43275. 10 <sup>-4</sup>	1,6082. 10 <sup>-4</sup>	36,92
	6,5	9,06	0,0045	4,96689. 10 <sup>-4</sup>	1,2417. 10 <sup>-4</sup>	51,30
	<b>50</b>	Blanc	6,57	0,0080	12,17656. 10 <sup>-4</sup>	3,0441. 10 <sup>-4</sup>
0,54		5,87	0,0062	10,562118. 10 <sup>-4</sup>	2,6405. 10 <sup>-4</sup>	13,26
1		4,84	0,0041	8,47107. 10 <sup>-4</sup>	2,1178. 10 <sup>-4</sup>	30,43
2,1		8,3	0,0066	7,95181. 10 <sup>-4</sup>	1,988. 10 <sup>-4</sup>	34,69
4,3		8,55	0,0063	7,36842. 10 <sup>-4</sup>	1,8421. 10 <sup>-4</sup>	39,49
6,5		9,06	0,0063	6,95364. 10 <sup>-4</sup>	1,7384. 10 <sup>-4</sup>	42,39
<b>60</b>		Blanc	6,57	0,0107	16,28615. 10 <sup>-4</sup>	4,0715. 10 <sup>-4</sup>
	0,54	5,87	0,0081	13,79898. 10 <sup>-4</sup>	3,4497. 10 <sup>-4</sup>	15,27
	1	4,84	0,0057	11,77686. 10 <sup>-4</sup>	2,9442. 10 <sup>-4</sup>	27,69
	2,1	8,3	0,0091	10,96386. 10 <sup>-4</sup>	2,741. 10 <sup>-4</sup>	32,68
	4,3	8,55	0,0080	9,35673. 10 <sup>-4</sup>	2,3392. 10 <sup>-4</sup>	42,55
	6,5	9,06	0,0091	10,04415. 10 <sup>-4</sup>	2,511. 10 <sup>-4</sup>	38,33



**Figure III.3 :** Variation de la perte de masse moyenne dans HCL 1M en absence et en présence de différentes concentrations d'inhibiteur en fonction de la température



**Figure III.4 :** Variation de la perte de masse moyenne dans HCL 1M à différentes températures en fonction de la concentration d'inhibiteur

Nous remarquons, que pour toutes les concentrations en inhibiteur, la perte de masse moyenne croît avec la température, mais prend des valeurs inférieures à des concentrations élevées en inhibiteur. Ce qui nous permet de constater que l'efficacité inhibitrice P(%) augmente lorsque la température diminue. Cette évolution est, cependant, plus marquée pour les plus fortes concentrations en inhibiteur.

➤ **Détermination d'énergie d'activation :**

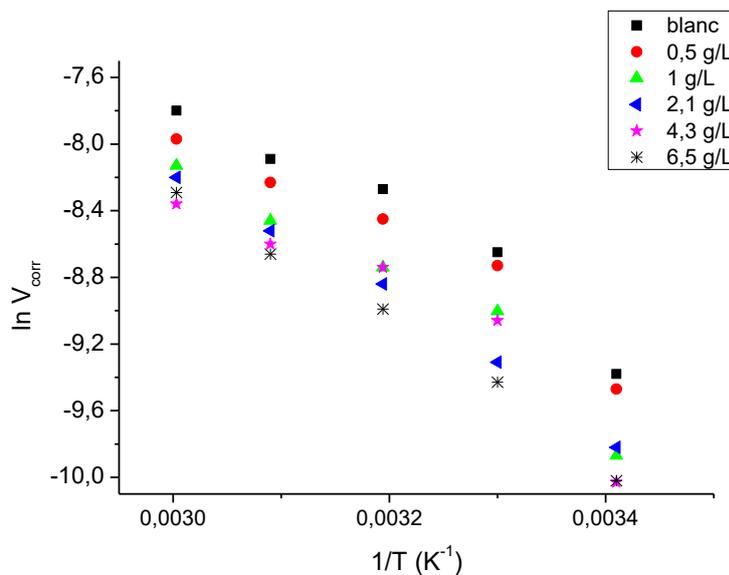
Dans le cas de la corrosion en milieu acide, de nombreux auteurs [30] utilisent l'équation d'Arrhenius pour rendre compte de l'effet de la température (**T**) sur la vitesse de corrosion et considèrent donc que le logarithme de la vitesse de corrosion  $V_{\text{corr}}$  est une fonction linéaire de  $T^{-1}$  :

$$\ln V_{\text{corr}} = \ln A - E_a/RT \quad \text{III.1}$$

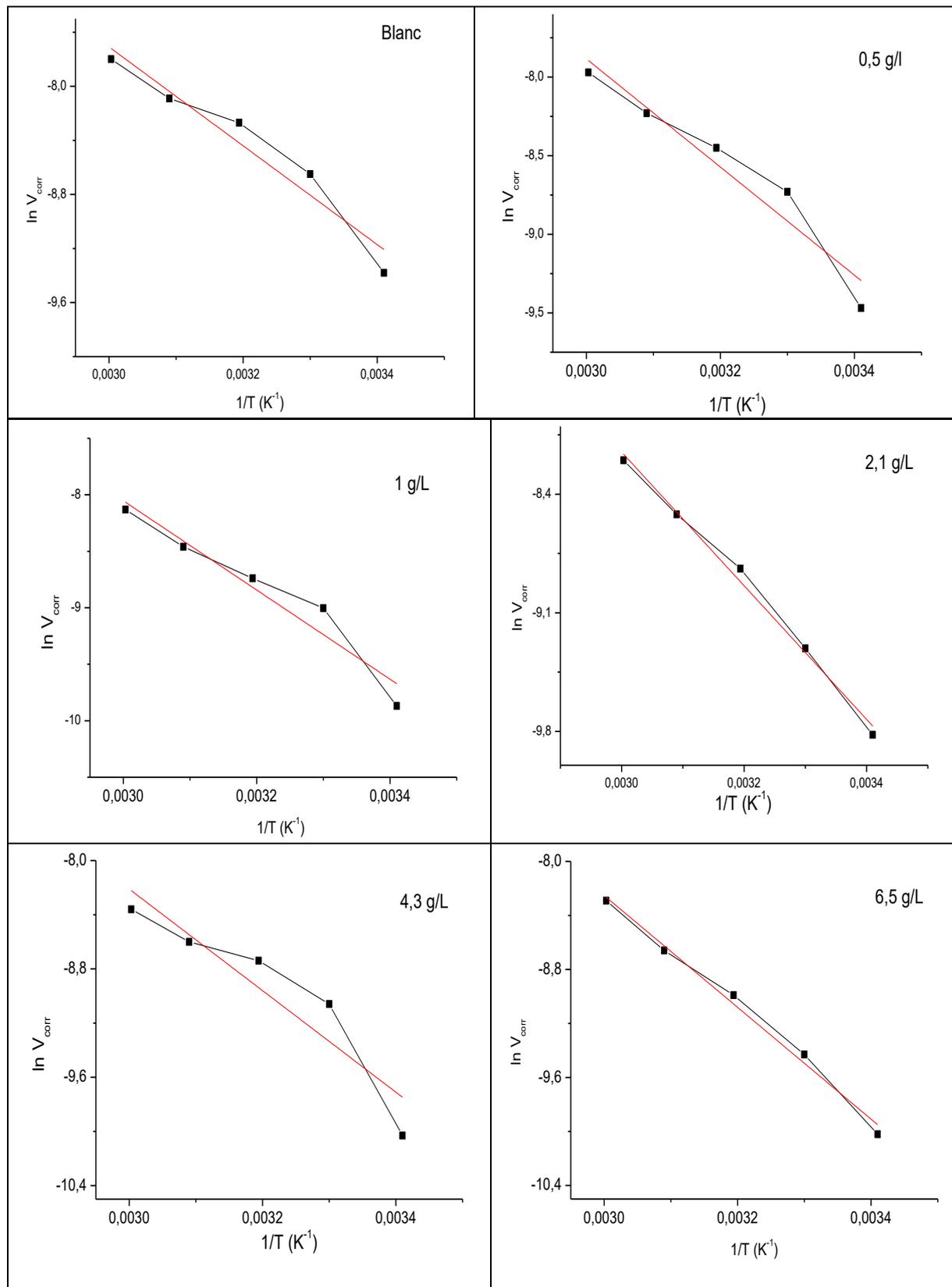
Dans cette relation, **E<sub>a</sub>** représente l'énergie d'activation apparente et **A** le paramètre pré-exponentiel d'Arrhenius.

- **V<sub>corr</sub>** : La vitesse de corrosion
- **A** : Le facteur pré-exponentiel d'Arrhenius
- **E<sub>a</sub>** : L'énergie d'activation apparente
- **R** : La constante des gaz parfait
- **T** : La température absolue

Les énergies d'activation apparentes (**E<sub>a</sub>**) et le facteur pré-exponentiel (**A**) à des concentrations différentes d'inhibiteur sont déterminées par régression linéaire entre  $\ln V_{\text{corr}}$  et  $1/T$  (**Figure III. 5 et 6**).



**Figure III. 5 :** Variation de  $\ln V_{\text{corr}}$  en fonction de  $1/T$  dans HCl 1M en absence et en présence d'inhibiteur

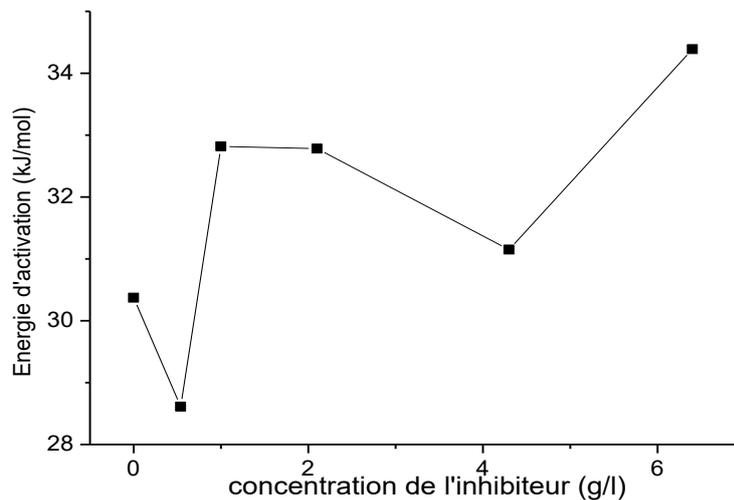


**Figure III.6 :** Les variations de  $\ln V_{\text{corr}}$  en fonction  $1/T$  dans HCl 1M en absence et en présence d'inhibiteur

Les valeurs d'énergies d'activations à différentes concentrations d'inhibiteur sont reportées dans le tableau III.4.

**Tableau III.4 :** Les valeurs d'énergies d'activations pour l'acier ordinaire dans HCL 1M en présence d'inhibiteurs de différentes concentrations

Concentration de l'inhibiteur	Energie d'activation
0.54	28,61
1	32,82
2.1	32,78
4.3	31,15
6.5	34,39



**Figure III.7 :** Variation d'énergie d'activation en fonction de concentration d'inhibiteur

Généralement les interactions inhibiteur/métal peuvent être élucidées par l'utilisation de paramètres thermodynamiques telle l'énergie d'activation. Radovici [31] a proposé un classement des inhibiteurs reposant sur la comparaison des énergies d'activation obtenues en leur présence ( $E$ ) ou en leur absence ( $E_a$ ). Il distingue :

- Les inhibiteurs pour lesquels  $E_{ai} > E_a$  s'adsorbent sur le substrat par des liaisons de natures électrostatiques (physisorption). Ce type de liaisons sensibles à la température ne permet pas de lutter efficacement contre la corrosion quand la température augmente (Physisorption).

- Les inhibiteurs pour lesquels  $Ea_i < Ea$  : ces inhibiteurs présentent, quant à eux, une augmentation du pouvoir protecteur avec la température. Les molécules organiques de l'inhibiteur s'adsorbent à la surface métallique par des liaisons fortes (chimisorption). Putilova et al. Considèrent que l'augmentation du pouvoir protecteur avec l'augmentation de la température est due au changement de la nature de l'adsorption : à des faibles températures, l'inhibiteur est adsorbé physiquement tandis que la chimisorption est favorisée à haute température [32].

Les valeurs des énergies d'activation  $Ea$  obtenues en présence d'inhibiteur sont supérieures qu'en absence de ce dernier. Ce comportement est dû donc, au phénomène de physisorption d'inhibiteur à la surface du métal. Ce résultat indique que l'HE de géranium est adsorbé fortement à la surface de l'acier par des interactions électrostatiques en formant un film superficiel plus adhérent et donc plus efficace [33].

### III. 1.4. Isothermes d'adsorption :

Afin de confirmer ou d'infirmer l'hypothèse que l'action de l'inhibiteur est basée sur un mécanisme d'action par simple adsorption à la surface du métal, bloquant ainsi les sites actifs, nous avons essayé de corréliser les résultats expérimentaux avec le tracé des isothermes d'adsorption. Dans la présente étude, notre choix est porté sur l'isotherme d'adsorption de Langmuir. Ce dernier donne la meilleure description du comportement d'adsorption de l'inhibiteur étudié. Pour cela, une représentation du taux de recouvrement  $\theta$  de la surface métallique en fonction de la concentration en inhibiteur sera tracée **Figure III 8**.

L'équation de Langmuir cité comme suite :

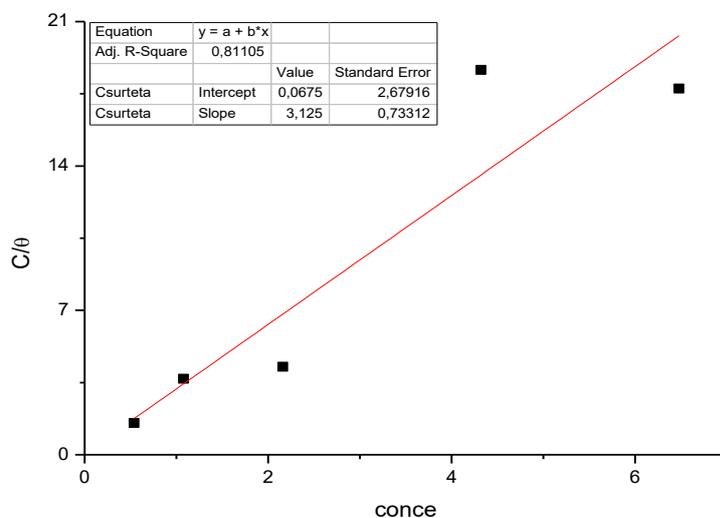
$$C_{inh}/\theta = 1/K_{ads} + C_{inh} \quad \text{III.2}$$

Ou :

- $K_{ads}$  : Constante d'équilibre du processus d'adsorption.
- $C_{inh}$  : Concentration de l'inhibiteur.
- $\theta$ : est le taux de recouvrement de la surface donné par la relation:

$$\theta = \frac{p}{100} \quad \text{III.3}$$

- $p$  : taux d'inhibition.



**Figure III.8 :** Isotherme d'adsorption d'HE de géranium sur l'acier ordinaire dans 1 M HCl selon le modèle de Langmuir

Selon Langmuir, une adsorption idéale correspond à une pente égale à **1**, ce qui correspond à une forte interaction électrique entre l'inhibiteur et l'acier. Dans notre étude ; la pente est égale à **3,12**. Cette déviation de l'unité peut être expliquée sur la base des interactions entre l'espèce adsorbée sur la surface du métal. Cela n'est pas étrange dans le cas des molécules organiques ayant des groupements ou des atomes polaires qui sont adsorbés sur les sites anodiques ou cathodiques de la surface métallique. De telles espèces adsorbées peuvent interagir par des répulsions ou des attractions mutuelles ce qui écarte le modèle d'adsorption de celui de Langmuir.

# *Conclusion générale*

## Conclusion générale

L'objectif principal de ce travail est de proposer de nouvelles voies d'inhibition de la corrosion de l'acier en vue de remplacer l'utilisation des inhibiteurs chimiques pour des raisons d'écotoxicité essentiellement, par des inhibiteurs éco-compatibles.

Dans ce travail nous avons étudié l'inhibition de la corrosion de l'acier au carbone de nuance API 5CT grade P110, par l'huile essentielle de géranium, dans un milieu agressif d'acide chlorhydrique (1M) par la méthode gravimétrique.

Tout d'abord, nous avons étudié le comportement de l'acier dans le milieu HCl 1M seul, puis nous avons testé les facteurs qui affectent la vitesse de corrosion de l'acier, notamment la concentration de l'inhibiteur, le temps d'immersion et la température.

Pour réaliser cette étude nous avons utilisé la méthode de perte de poids. Cette méthode présente l'avantage d'être d'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  $\Delta m$  subie par un échantillon de surface  $S$ , pendant le temps  $t$  d'immersion dans une solution corrosive maintenue à température constante.

Les résultats obtenus par cette méthode ont permis de tirer les points suivants :

- La perte de masse de l'acier augmente avec l'augmentation de temps d'immersion, ce qui traduit une dissolution continue de ce métal dans l'acide chlorhydrique HCl (1M) considéré.
- L'effet inhibiteur d'HE de géranium sur la corrosion de l'acier au carbone en milieu HCl (1M) a montré un résultat plus ou moins satisfaisant même à faibles concentrations. En effet, l'efficacité inhibitrice maximale (50,5%) a été enregistrée à la concentration de 2,1g/L pendant un temps d'immersion de 20 heures à température ambiante.
- L'influence de la température a été menée à 20, 30, 40, 50 et 60°C. Les données obtenues illustrent que l'augmentation de la température se traduit par une diminution de l'efficacité inhibitrice pour une même concentration de l'HE de géranium notamment dans les faibles concentrations (48,37 % à 30°C, 43,29% à 40°C, 34,69% à 50°C, 32,68 % à 60°C pour la concentration 2,1g/L par exemple). Ce qui laisse supposer que l'huile essentielle devient moins stable au fur et à mesure que la température augmente.

- L'augmentation de l'énergie d'activation en présence de l'inhibiteur par rapport à son absence, indique qu'il y a une physisorption de l'inhibiteur à la surface de l'acier étudié. Ce phénomène de physisorption issu des réactions électrostatiques entre les molécules de l'inhibiteur et le métal est sensiblement influencé par la température.
- Les résultats cinétiques montrent que le modèle d'adsorption de l'inhibiteur de corrosion à la surface n'obéit pas à l'isotherme de Langmuir.

Enfin, ce travail a permis de mettre en valeur les propriétés inhibitrices d'HE de géranium, et les résultats trouvés sont prometteurs.

Nous pouvons envisager quelques perspectives pour la poursuite de ce travail :

- L'évaluation de l'efficacité d'HE de géranium comme inhibiteur de la corrosion par d'autres méthodes électrochimiques telles que les courbes de polarisation, diagrammes des impédances...
- L'étude de la morphologie de la surface de l'acier par le MEB.
- L'extraction du géranium locale et la purification de ses constituants.

*Références*  
*Bibliographiques*

## Références Bibliographiques

- [1] A.OULABBAS, Thèse de Doctorat, Effet des inhibiteurs verts sur la corrosion des aciers ordinaires dans deux milieux acides, 2019, Université Badji Mokhtar-Annaba.
- [2] H.HAMANI, Thèse de Doctorat, Synthèse, caractérisation et étude du pouvoir inhibiteur de nouvelles molécules bases de Schiff, 2015, UNIVERSITE FERHAT ABBAS – SETIF-1.
- [3] C.ZAOUI, S.MAHDIA, Mémoire de Master, Étude de l'effet inhibiteur du Thymol sur la corrosion de l'acier en milieu acide chlorhydrique. Approche électrochimique et théorique (DFT) ,2017-2018, Université de DJILALI BOUNAAMA DE KHEMIS MILIANA.
- [4] D.IABBASSEN, F.BOUMEGUET, Mémoire de Master, Etude de l'inhibition de la corrosion de zinc dans l'acide chlorhydrique par l'extrait de la plante d'Ortie, 06/2017, Université A.MIRA- BEJAIA.
- [5] K. DOB, Thèse de Doctorat, Etude électrochimique de l'efficacité inhibitrice de substances vertes sur la corrosion de l'acier au carbone dans un milieu aqueux, 09/07/2018, Université 20 Août 1955, Skikda.
- [6] F .KAOU DJ, H.ZIOUI, Mémoire de Master, Propriétés inhibitrices de l'extrait de la plante d'ortie vis-à-vis de la corrosion de l'acier XC38 en milieu H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 23/01/2020, Université A. M. OULHADJ – Bouira.
- [7] Z.BENSOUDA, Thèse de Doctorat, Extraction, Caractérisation et potentiel inhibiteur des huiles essentielles contre la corrosion d'acier doux dans une solution chlorhydrique molaire, juillet 2018, Université Sidi Mohamed Ben Abdellah.
- [8] B.MEZHOU D, Mémoire de Magister, Synthèse des inhibiteurs contre la corrosion des aciers, 03/2011, Université Mentouri-Constantantine.
- [9] A.BENDAHIR, N.ABEKHIT, Mémoire de Master, Corrosion dans les installations pétrolières de surface causes, effet et remèdes, Juin 2019, Université d'Adrar.
- [10] A.KHENADEKI, Mémoire de Magister, Etude théorique et Expérimentale de l'effet d'inhibition de la corrosion d'un acier au carbone par les dérivées de base de Schiff en milieu acide chlorhydrique, 02/2013, Université Abou-Bekr Belkaid Tlemcen.
- [11] Y.BELLAL, Mémoire de Magister, Protection d'acier de construction vis-à-vis de la corrosion par des dérivés iminiques, 2011, Université Ferhat Abbas-Setif.
- [12] <https://www.cdcorrosion.com/mode-Corrosion/Corrosion-intergranulaire.htm>
- [13] K. Abdelhalim, Mémoire de Master, L'effet synergétique de la gomme arabique et les halogènes pour l'inhibition de l'acier API5L X70 en milieu HCl, 9 juillet 2019, Université Mohamed Khider de Biskra.
- [14] M.C.NEBBAR, Mémoire de Master, Etude de la tenue à la corrosion de l'acier N80 et évaluation de l'efficacité d'un inhibiteur de corrosion, 08/04/2010, Université Mohamed Khider – Biskra.

- [15] H.BELGHARBI, Mémoire de Master, Etude de l'effet inhibiteur de corrosion de l'huile essentielle de Cyprés : Extraction, caractérisation et application, 2020, Université 8 Mai 1945 Guelma.
- [16] A.BENSAHA, A.SABROU, Mémoire de Master, Etude d'inhibition de la corrosion du fer en milieu acide par l'extrait de periploca, 17/09/2020, Université de Ghardaïa.
- [17] H .MARMI, Thèse de Doctorat, Amélioration de la résistance à la corrosion électrochimique des aciers par utilisation des inhibiteurs, 06/07/2017, UNIVERSITE MOHAMED KHIDER-BISKRA.
- [18] F. SUEDILE, Thèse de Doctorat, Extraction, caractérisation et étude électrochimique de molécules actives issues de la forêt amazonienne pour la protection du zinc contre la corrosion, 30 Septembre 2014, Université des Antilles et de la Guyane(France).
- [19] B.HAROUNE, S.KAIM, Mémoire de Master, Effet d'un polysavon 80C12 réducteur de frottement hydrodynamique sur le comportement électrochimique de l'acier en milieux agressifs, 04 Juillet 2019, Université A. MIRA – BEJAIA.
- [20] F.Milcard, Thèse de Doctorat, 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), 18 Janvier 2013 à Cayenne, Université des Antilles et de la Guyane (France).
- [21] M. SAID, Mémoire de Master, ETUDE DU POUVOIR INHIBITEUR DES AMINES SUR LA CORROSION D'UN ACIER EN MILIEU ACIDE, 17/06/2009, UNIVERSITE DE MENTOURI-CONSTANTINE.
- [22] K.SOUDAKI, Mémoire de Master, Emploi de l'histidine, un produit ami de l'environnement contre la corrosion d'un acier au carbone en milieu NaCl 3%,2010/2011, Université SAAS-DAHLAB DE BLIDA.
- [23] M.SAID, Thèse de Doctorat, ETUDE DU POUVOIR DES INHIBITEURS AMINES SUR LA CORROSION DES ACIERS EN MILIEU ACIDE, 17/08/2018, UNIVERSITE DES FRERES MENTOURI CONSTANTINE.
- [24] A. Benothmane, A. Fetatnia, Mémoire de Master, Inhibition de la corrosion de l'acier AM9 avec l'extrait de feuilles de fenouil (EFF), 2020, Université 8 mai 1945 Guelma.
- [25] I. ATAILIA, Thèse de Doctorat, Sensibilité bactérienne aux extraits bio-actifs de *Pelargonium graveolens* (Géranium rosat), 2015/2016, UNIVERSITE BADJI MOKHTAR – ANNABA.
- [26] A. BBES, Mémoire de Master, EVALUATION DE L'ACTIVITE ANTIOX JIZE, HUILES ESSENTIELLES D'AMMOIDES VERTICILLATA « NOUKHA » DE LA REGION DE TLEMCEN, 25 Juin 2014, Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen.
- [27] D, BENOUALI, Mémoire de Master, Extraction et identification des huiles essentielles, 2015-2016, UNIVERSITE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE D'ORAN « MOHAMED BOUDIAF ».
- [28] M. RALAMBONDRAINNY, Thèse de Doctorat, Caractérisation chimique et biologique de trois huiles essentielles répulsives issues de la biodiversité régionale contre l'alphavirus Ross River, 27 septembre 2017, Université de La Réunion(France).

- [29] J. Crousier, C. Antonione, Y. Massiani, J.P. Crousier, *Mat. Chem.*, 7 (1982) 587.
- [30] A. E. Stoyanova, E. I. Sokotova et S. N. Raicheva, *Corros. Sci.*, 39 (1997)1595
- [31] O. Radovici, Proc. 7 th European Symposium on Corrosion Inhibitors, Ann. Univ. Ferrara, Italy, (1990)  
p. 330
- [32] Putilova N., Balezin S.A., Barannik V.P., 1960. *Metallic Corrosion Inhibitors*, Pergamon Press, Oxford,  
London
- [33] D. Ben Hmamou, R. Salghi, A. Zarrouk, H. Zarrok, O. Benali, M. Errami, B. Hammouti, *Res ChemIntermed.*,  
DOI 10.1007/s11164-012-0840-2.

### **Résumé :**

La lutte contre la corrosion par les inhibiteurs de corrosion est la méthode la plus commune pour protéger l'acier au carbone dans le milieu acide. L'inhibiteur de la corrosion se compose essentiellement de molécules organiques qui forment une couche protectrice à la surface du métal.

L'objectif de ce travail est l'étude d'un moyen de lutte contre la corrosion de l'acier API 5CT grade P110 par l'utilisation d'inhibiteur de corrosion à base de l'huile essentielle de géranium, en milieu acide HCl 1M par la méthode expérimentale de perte de masse.

Nous avons étudié cet inhibiteur à différentes concentrations (0,54 g/l ; 1g/l ; 2,1g/l ; 4,3g/l et 6,5g/l) et à différentes températures (20, 30, 40, 50 et 60°C). Une étude cinétique vient compléter et conclure le modèle d'adsorption de cet inhibiteur.

**Mots clés :** Corrosion, acier, inhibiteur de corrosion, géranium, perte de masse

### **Abstract :**

Combating corrosion with corrosion inhibitors is the most common method of protecting carbon steel in the acidic environment. The corrosion inhibitor consists primarily of organic molecules that form a protective layer on the surface of the metal.

The objective of this work is the study of corrosion inhibition of API 5CT grade P110 steel by the use of an inhibitor based on essential oil of geranium, in 1M HCl medium, by the experimental method of mass loss.

We have studied this inhibitor at different concentrations (0.54 g / l; 1g / l; 2.1g / l; 4.3g / l and 6.5g / l) and different temperatures (20, 30, 40, 50 and 60 ° C). A kinetic study completes and concludes the adsorption model of this inhibitor.

**Key words:** Corrosion, steel, corrosion inhibitor, geranium, mass loss.

### **ملخص:**

يعد التحكم في التآكل باستخدام مثبطات التآكل الطريقة الأكثر شيوعاً لحماية الفولاذ الكربوني في البيئة الحمضية. يتكون مانع التآكل بشكل أساسي من جزيئات عضوية تشكل طبقة واقية على سطح المعدن. الهدف من هذا العمل هو دراسة وسيلة لمكافحة تآكل فولاذ P110 من الدرجة API 5CT باستخدام مثبط التآكل المعتمد على الزيت العطري لنبات جيرانيوم، في وسط حمض الهيدروكلوريك الحمضي M1 بالطريقة التجريبية لفقدان الكتلة.

لقد درسنا هذا المانع بتركيزات مختلفة (0.54 جم / لتر؛ 1 جم / لتر؛ 2.1 جم / لتر؛ 4.3 جم / لتر و6.5 جم / لتر) وعند درجات حرارة مختلفة (20، 30، 40، 50 و60 درجة مئوية). دراسة حركية تكمل وتنتهي من نموذج الامتزاز لهذا المانع.

**الكلمات المفتاحية:** التآكل ، الفولاذ ، مانع التآكل، جيرانيوم ، فقدان الكتلة.