



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



Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
جامعة الشاذلي بن جديد - الطارف  
Université Chadli Bendjedid – El Tarf  
كلية العلوم والتكنولوجيا  
Faculté des Sciences et de la Technologie  
قسم الكيمياء  
Département de Chimie

## PROJET DE FIN D'ETUDES

En vue de l'obtention du diplôme de licence

**Domaine :** Sciences de la matière

**Filière :** chimie

**Spécialité:** Chimie Analytique

### THEME

*Screening phytochimique de la plante de  
géranium et étude de son effet inhibiteur sur la  
corrosion d'un acier ordinaire*

**Présenté par: Belhani Insaf Maram**

**Soutenu le :19/06/2022**

**Devant le jury composé de :**

<b>Dr Necib Anissa</b>	<b>MAA</b>	Univ Chadli Bendjedid El Taref	Président
<b>Dr Bouasla Nabila</b>	<b>MCB</b>	Univ Chadli Bendjedid El Taref	Encadreur
<b>Dr Zerniz Nawel</b>	<b>MCB</b>	Univ Chadli Bendjedid El Taref	Examinatrice

**Année Universitaire : 2021-2022**

### Remerciements

*Nous avons toujours besoin de quelqu'un pour nous aider à réaliser nos objectifs. Certes, mes parents m'ont toujours soutenu, mais sans l'aide de Dieu, je n'aurais jamais pu mener à bien ce projet. Je remercie infiniment le bon Dieu de m'avoir donné la force et la patience pour réaliser ce travail.*

*Je remercie **Mme ABDERAHMANE SIHEM, Professeur et Directrice** du laboratoire d'ingénierie de surfaces (L.I.S) à l'université Badji-Mokhtar Annaba, d'avoir m'ouvrir les portes de son laboratoire pour réaliser mon projet de fin d'étude.*

*Je tiens à remercier mon encadreur **Dr BOUSLA NABILA**, pour ces efforts, sa patience, ces encouragements et ces précieux conseils qu'elle m'a donné au cours de la réalisation de ce mémoire.*

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

*Je remercie **Mme NECIB ANISSA** pour m'avoir fait l'honneur de présider le jury de ce Mémoire.*

*Je remercie **Dr ZERNIZ NAWEL** pour l'honneur qu'elle me fait en prenant la charge d'examiner mon travail.*

*Je remercie aussi les doctorantes **SARAH** et **KAMILYA** du Laboratoire d'Ingénierie de Surfaces (LIS).*

*Et finalement, je remercie beaucoup mes parents pour leurs sacrifices depuis ma naissance, pour leur soutien, leurs encouragements et leur motivation.*

## *Dédicace*

*Je dédie ce modeste travail à ceux qui ont été toujours là pour moi Qui je n'arriverais jamais à leur exprimer mon amour sincère.*

*À mon soutien vital, à ma source d'inspiration, à celui qui m'a enseigné et guidé, à celui qui a transformé la nuit en jour pour m'assurer les conditions appropriées.*

*À mon cher Père*

*À la femme qui a souffert sans me laisser souffrir. A celle qui m'a arrosé de tendresse et d'espoir. A Mon exemple dans la vie, à ma source d'Amour.*

*À ma chère Maman*

*À mes deux petits frères Abd EL Nour et Selsabil pour leurs amours et leurs encouragements.*

*À tous les membres de la famille pour leurs soutiens.*

*À mes meilleures amies Asma, Imen , Amal Qui ont été toujours à mes côté tous au long de ces années .*

*À Mimi pour ces encouragements et son soutien.*

*À la mémoire de. Ma grand-mère Snani.B et mon oncle Belhani.N.*

### Résumé

Dans ce travail un screening phytochimique a été réalisé sur les feuilles de la plante géranium afin de mettre en évidence la présence de groupes phytochimiques spécifiques, notamment les polyphénols totaux. Ainsi, des essais de perte de masse ont été effectués, pour mettre en évidence l'effet inhibiteur de l'extrait de feuilles de géranium (E.F.G) sur la corrosion de l'acier ordinaire X70 en milieu acide HCl à 1M. Les groupes fonctionnels présents dans l'E.F.G. ont été déterminés en utilisant la spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier. L'évolution de l'efficacité inhibitrice en fonction de la concentration de l'E.F.G. à un temps d'immersion de 24h a été étudiée. Les résultats obtenus montrent que les feuilles de géranium contiennent des saponines, des flavonoïdes, des tanins, des cardénolides et des phénols. L'efficacité inhibitrice maximale est de 89,39% obtenue à une concentration de 500ppm.

### Abstract

In this work a phytochemical screening was carried out on the leaves of the geranium plant in order to highlight the presence of specific phytochemical groups, in particular the total polyphenols. Thus, tests of mass loss were carried out, to highlight the inhibiting effect of the extract of geranium leaves (E.F.G) on the corrosion of ordinary steel X70 in acid medium HCl to 1M. The functional groups present in the E.F.G. were determined using Fourier transform infrared spectroscopy. The evolution of the inhibitory efficacy as a function of the concentration of the E.F.G. at an immersion time of 24h was studied. The results obtained show that geranium leaves contain saponins, flavonoids, tannins, cardenolides and phenols. The maximum inhibitory efficiency is 89.39% obtained at a concentration of 500ppm.

### ملخص

في هذا العمل ، تم إجراء فحص كيميائي نباتي على أوراق نبات إبرة الراعي من أجل تسليط الضوء على وجود مجموعات كيميائية نباتية معينة ، ولا سيما البوليفينول الكلي. تم استخدام طريقة فقدان الكتلة لإثبات التأثير المثبط لمستخلص أوراق إبرة الراعي (E.F.G) على تآكل الفولاذ X70 العادي في وسط حمض كلور الهيدروجين ذا تركيز 1 مول/لتر لمدة 24 ساعة .

باستخدام جهاز "فورييه" لتحويل طيف الأشعة تحت الحمراء تمت دراسة المجموعات الوظيفية الموجودة في E.F.G. أظهرت نتائج الفحص الكيميائي التي تم الحصول عليها أن أوراق إبرة الراعي تحتوي على صابونين، فلافونويد، عفس، كاردينوليد وفينولات. الكفاءة المثبطة القسوى للتآكل هي 89.39% تم الحصول عليها عند تركيز 500 جزء في المليون.

**Liste des figures**

<b>Figure</b>	<b>Titre</b>	<b>Page</b>
<b>Figure I.1</b>	La corrosion.	5
<b>Figure I.2</b>	Corrosion bactérienne.	6
<b>Figure I.3</b>	Corrosion uniforme (Attaque homogène de la surface)	6
<b>Figure I.4</b>	Corrosion par piqûres.	7
<b>Figure I.5</b>	Corrosion galvanique.	7
<b>Figure I.6</b>	La plante de géranium.	11
<b>Figure II.1</b>	Feuille de géranium après séchage	14
<b>Figure II.2</b>	Test des alcaloïdes.	15
<b>Figure II.3</b>	Test des saponines	16
<b>Figure II.4</b>	Test des flavonoïdes.	16
<b>Figure II.5</b>	Test des tannins .	17
<b>Figure II.6</b>	Test des cardénolides.	17
<b>Figure II.7</b>	Test des huiles volatils.	18
<b>Figure II.8</b>	Test des anthocyanes.	18
<b>Figure II.9</b>	Test des quinones .	19
<b>Figure II.10</b>	Test des phénols	19
<b>Figure II.11</b>	Montage de l'extraction Soxhlet.	20
<b>Figure II.12</b>	L'E.F.G après l'élimination du solvant.	21
<b>Figure II.13</b>	Balance analytique.	22
<b>Figure II.14</b>	Acier X70.	22
<b>Figure II.15</b>	Les morceaux d'acier.	22
<b>Figure II.16</b>	Polisseuse.	22
<b>Figure II.17</b>	Papier abrasif .	23
<b>Figure II.18</b>	L acier X70 avant (A) et après (B) le polissage .	23
<b>Figure II.19</b>	Immersion de l'acier X70 dans le milieu corrosif en absence de l'E.F.G (A) et en présence de l'E.F.G (B).	23
<b>Figure II.20</b>	Spectromètre à transformée de Fourier.	24
<b>Figure III.1</b>	Résultat du test des alcaloïdes.	26
<b>Figure III.2</b>	Résultat du test des saponines.	26
<b>Figure III.3</b>	Résultat du test des Flavonoïdes	27
<b>Figure III.4</b>	Résultat du test des des tanins.	27
<b>Figure III.5</b>	Résultat du test des des cardénolides.	27
<b>Figure III.6</b>	Résultat du test des des huiles volatils.	27
<b>Figure III.7</b>	Résultat du test des anthocyanes.	27
<b>Figure III.8</b>	Résultat du test des quinones.	27
<b>Figure III.9</b>	Résultat du test des phénols	28
<b>Figure III.10</b>	Composition des feuilles de géranium selon le screening phytochimique.	29
<b>Figure III.11</b>	Variation de la vitesse de corrosion et de l'efficacité inhibitrice de l'E.F.G à différentes concentrations sur l'acier X70 dans HCl 1M pendant une immersion de 24h.	31
<b>Figure III.12</b>	Spectre FTIR de l'E.F.G.	32

**Liste des tableaux**

<b>Tableau</b>	<b>Titre</b>	<b>Page</b>
<b>Tableau I.1</b>	Aciers ordinaires ou acier au carbone non allié.	10
<b>Tableau II.1</b>	La composition chimique de l'acier X70.	21
<b>Tableau III.1</b>	Résultats de screening phytochimique	26
<b>Tableau III.2</b>	Vitesse de corrosion de l'acier ordinaire X70 dans HCl à 1 M en absence et en présence de l'E.F.G et efficacité inhibitrices calculées.	30

---

## Sommaire

Remerciements.....	II
Dédicace .....	III
Résumé .....	IV
Liste des figures.....	V
Liste des tableaux.....	VI
Sommaire.....	VII

## Chapitre I

### Aperçu bibliographique

Introduction.....	2
I.1. La corrosion.....	5
I.1.1. Définition.....	5
I.1.2. Classe de la corrosion.....	5
I.1.3. Formes de corrosion.....	6
I.1.4. La lutte contre la corrosion.....	7
I.2. Les inhibiteurs.....	8
I.2.1. Définition.....	8
I.2.2. Propriétés.....	8
I.2.3. Utilisations.....	8
I.2.4. Les classes d'inhibiteurs.....	9
I.2.5. Les inhibiteurs verts.....	9
I.3. Les aciers.....	9
I.3.1. Les différents types d'aciers.....	9
I.3.1.2. Les aciers au carbone ou ordinaires.....	10
I.3.2. L'acier X70.....	11
I.3.2.1. Nomenclature de l'acier X70...../.....	11
I.4. Le géranium.....	11
I.4.1. Définition.....	11
I.4.2. Histoire du géranium rosat (pélargonium graveolens).....	11
I.4.3. Géranium et pélargonium.....	12

## **Chapitre II**

### **Partie expérimentale**

II.1 Introduction.....	14
II .2 Matériel végétal.....	14
II.2.1 Préparation de la poudre de la plante.....	14
II.3. Produits chimiques.....	14
II.4. Screening phytochimique.....	15
II.4.1.Définition.....	15
II.4.2. Test des alcaloïdes.....	15
II.4. 3. Test des saponines (Test de mousse) .....	15
II.4.4. Test des flavonoïdes.....	16
II4.5. Test des tanins.....	16
II.4.6 Test de cardénolides.....	17
II.4.7. Test des huiles volatiles.....	18
II.4.8. Test des anthocyanes.....	18
II.4.9. Test des quinones.....	19
II.4.10. Test des phénols.....	19
II.5. Préparation de l´ extrait des feuilles de géranium par la méthode soxhlet.....	20
II.6. Étude de la corrosion de l´acier X70 dans un milieu acide.....	21
II.6.1. Matériau.....	21
II.6.2. Inhibiteur d´étude.....	21
II.6.3. Méthode de la perte de masse.....	21
II.7. Caractérisation spectroscopique.....	24
II.7.1. Spectroscopie infrarouge à transformé de fourier (FTIR).....	24

## **Chapitre III**

### **Résultats et discussion**

III.1. screening phytochimique.....	26
III.2. Etude de l´effet inhibiteur de l´E.F.G sur la corrosion de l´acier X70 par la méthode de la perte de masse .....	30

III.3. Caractérisation spectroscopique .....	32
III.3.1 caractérisation par FTIR .....	32
Conclusion générale.....	34
Références bibliographiques .....	35



# **Introduction générale**

## **Introduction générale**

La corrosion est la dégradation d'un matériau causée par une réaction chimique ou électrochimique avec l'environnement. En effet le matériau perd progressivement de sa substance là où il entre en contact avec le milieu environnant [1].

En raison de ses qualités physiques et mécaniques, l'acier ordinaire est largement employé dans l'industrie. Il est fréquemment utilisé dans les stations de pompage et les conduites d'eau, qui se corrodent au contact de l'eau naturelle, notamment dans le sud. L'eau naturelle contient du chlorure de sel et du sulfate de sodium, qui sont deux milieux agressifs pour l'acier ordinaire. Les coûts économiques de ces problèmes peuvent être énormes. Les inhibiteurs de corrosion peuvent être utilisés pour atténuer ces problèmes. [2].

Les inhibiteurs de corrosion sont un outil important, pour prévenir la corrosion des métaux. Un inhibiteur est un agent chimique qui est ajouté au milieu en petites quantités, pour limiter la vitesse de corrosion des matériaux. Il peut être utilisé soit pour une protection permanente de la pièce, soit pour une protection temporaire.

Les inhibiteurs de corrosion verts sont très demandés dans les domaines de la science et de la technologie. Au cours des dernières décennies, l'utilisation d'extraits de plantes comme inhibiteurs de corrosion verts a fait l'objet de diverses études en raison de leur non-toxicité et de leur biodégradabilité, de leur respect de l'environnement et de leur grande efficacité inhibitrice. Le screening phytochimique est un ensemble de méthodologies et de techniques pour l'analyse des composés organiques naturels des plantes. L'objectif principal de la recherche sur les plantes médicinales est souvent d'isoler un ou plusieurs composés responsables de la fonction spécifique de la plante.

Au cours de ce travail, nous nous sommes intéressées à la réalisation d'un screening phytochimique de la plante géranium et l'étude de son effet inhibiteur sur la corrosion de l'acier ordinaire X70 en milieu acide chlorhydrique à 1M, en utilisant comme méthode la perte de masse

Ce mémoire de licence comporte, une introduction générale, trois chapitres et une conclusion générale.

**Le premier chapitre** est consacré à un petit aperçu bibliographique sur la corrosion, la méthode de protection contre la corrosion et quelques généralités sur les aciers, notamment l'acier X70. Nous nous sommes ensuite intéressés à la plante géranium qui est utilisé comme inhibiteur dans cette étude

## *Introduction générale*

---

**Le deuxième chapitre** présente les conditions expérimentales de notre étude et la technique de caractérisation utilisée.

**Le troisième chapitre** présente une discussion des résultats expérimentaux obtenus.

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



**Aperçu bibliographique**

### I.1. La corrosion

#### I.1.1. Définition

La corrosion est un phénomène néfaste qui détruit un matériau et réduit ses propriétés, le rendant inutilisable pour une application prévue. L'étude de la corrosion et la protection des matériaux englobe aussi les phénomènes de dégradation dus aux sollicitations mécaniques et chimiques combinées. Parfois, selon l'utilisation, la corrosion est un phénomène souhaité. Elle réduit à leur état naturel un grand nombre de métaux et alliages abandonnés dans la nature. Certains procédés industriels font appel aussi à la corrosion, le polissage chimique ou électrochimique des métaux permet par dissolution (corrosion) du métal d'obtenir une surface lisse et brillante. L'absorption de l'hydrogène par l'acier est aussi considérée comme une réaction de corrosion. C'est pourquoi, la corrosion est définie généralement comme une réaction interfaciale irréversible d'un matériau avec son environnement [3].



**Figure I.1.** La corrosion.

#### I.1.2. Classe de la corrosion

Selon la nature du milieu environnant avec lequel le matériau rentre en interaction, la corrosion peut être classée en trois grandes classes : chimique, biochimique et électrochimique [4].

- a) **La corrosion chimique** : C'est un processus purement chimique qui se produit entre la surface d'un matériau et un gaz ou un liquide non électrolyte. Par exemple, est l'oxydation de l'acier ordinaire à haute température par l'oxygène de l'air La corrosion chimique.
- b) **La corrosion biochimique** : Elle est due à l'attaque bactérienne des éléments métalliques, notamment des canalisations et réservoirs enterrés. En effet, le

métabolisme de certaines bactéries conduit à la création d'acide sulfurique, qui détruit le métal.

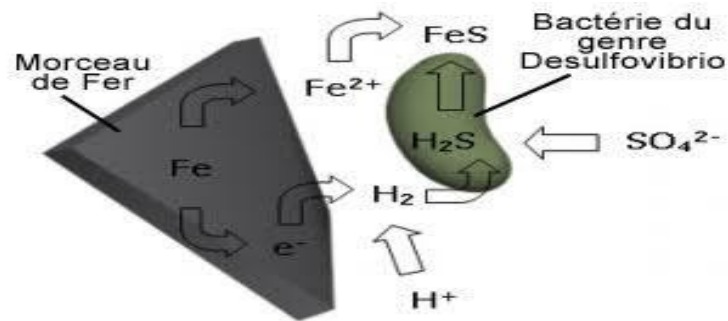


Figure I.2. Corrosion bactérienne.

- c) **La corrosion électrochimique** : C'est une réaction électrochimique entre la surface d'un matériau et un liquide électrolyte. Elle est accompagnée de la formation de piles qui sont le siège de circulation de courant électrique telle que la dégradation de l'aluminium par l'acide sulfurique dilué.

### I.1.3. Formes de corrosion

Il existe plusieurs formes de corrosion qui se distinguent par des modifications des propriétés physiques du métal parmi lesquelles on peut citer [5,6] :

1. **Corrosion uniforme** : La corrosion uniforme est définie comme une perte constante de matière sur toute la surface. Dans cette situation, le métal est dans un état actif. Elle est facilement gérée en mesurant la diminution du poids ou de l'épaisseur du métal [7].

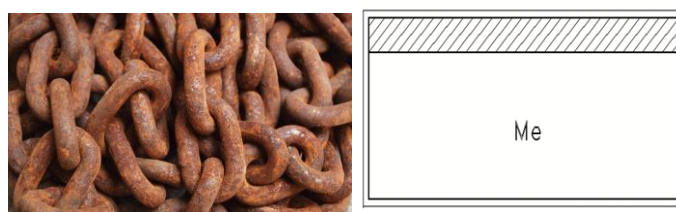
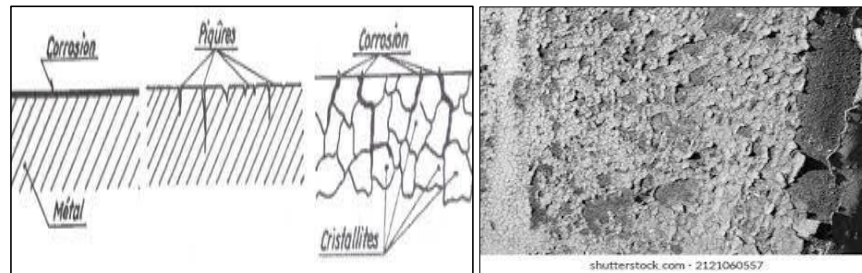


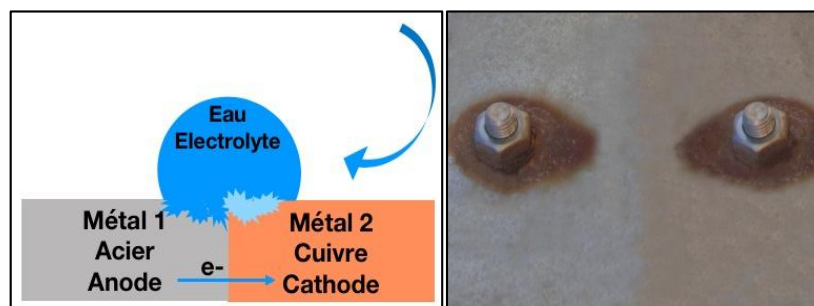
Figure I.3. Corrosion uniforme (Attaque homogène de la surface).

2. **Corrosion par piqûres** : La corrosion par piqûres est causée par certains anions, à savoir l'effet des chlorures sur des métaux tels que l'aluminium, le chrome, le cobalt, le cuivre, l'acier inoxydable, l'acier dans le béton, etc. Ce type de corrosion provoque des piqûres relativement localisées et peut s'étendre rapidement en profondeur



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

3. **Corrosion galvanique** : Le contact entre deux métaux dissemblables provoque fréquemment une corrosion galvanique. Cette corrosion est due à une différence de potentiel entre les deux métaux, l'un étant plus noble que l'autre. La corrosion du métal est provoquée par la création d'un électrolyte, qui peut se produire à cause de l'humidité, par exemple. La présence de cet électrolyte dégrade le métal le moins noble et provoque une corrosion galvanique [8].



**Figure I.5.** Corrosion galvanique.

### I.1.4. La lutte contre la corrosion

Le contrôle de la corrosion désigne l'ensemble des mesures qui peuvent être prises pour protéger les matériaux métalliques contre les effets néfastes de l'environnement. La protection immédiate la plus fiable est la prévention de la corrosion par l'utilisation de métaux ou d'alliages résistants à la corrosion. Pour éviter de nombreuses difficultés et garantir une durée de vie particulière, la protection contre la corrosion doit être envisagée dès la phase de conception d'une installation. La solution choisie doit être respectueuse de l'environnement et permettre le recyclage ou l'élimination des différents composants à la fin de leur vie utile.

Il existe de nombreuses méthodes de protection [9].

- ✓ Des revêtements métalliques, mais surtout organiques (peintures, ébonite...) ou même minéraux assurent l'isolation physique (fonte enduite de mortier de ciment).

- ✓ Préserver les propriétés chimiques de l'eau afin de limiter autant que possible la vitesse de corrosion.
- ✓ L'utilisation de potentiels électrochimiques dérivés d'une substance sacrificielle ou de sources extérieures (protection cathodique).
- ✓ Traitement de l'eau avec des inhibiteurs de corrosion.

### **I.2. Les inhibiteurs**

#### **I.2.1. Définition**

Selon la National Association of Corrosion Engineers (NACE), "un inhibiteur est un produit chimique qui, lorsqu'il est appliqué à de faibles concentrations dans un environnement, retarde la corrosion [10].

#### **I.2.2. Propriétés**

En général, un inhibiteur doit réduire la vitesse de corrosion d'un métal sans modifier ses propriétés physico-chimiques, notamment sa résistance mécanique (ex. : risque de fragilisation par l'hydrogène en milieu acide).

Il doit répondre aux exigences suivantes [11].

- Être stable en présence d'autres ingrédients du milieu, notamment les oxydants, et être stable aux températures d'utilisation.
- A faible concentration, il est efficace.
- Être conforme aux normes de non-toxicité et Peu onéreux.

#### **I.2.3. Utilisations**

Les inhibiteurs ont plusieurs domaines d'application [12] :

- 1) Le traitement des eaux (eaux sanitaires, eaux des procédés industriels, eaux de chaudières, etc).
- 2) 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.
- 3) Les peintures où les inhibiteurs de corrosion sont des additifs assurant la protection anticorrosion des métaux.

### **I.2.4. Les classes d'inhibiteurs**

Il existe de nombreuses façons de classer les inhibiteurs, notamment :

- ✓ La nature des produits (inhibiteurs organiques ou minéraux) .
- ✓ Le mécanisme d'action électrochimique (inhibiteurs cathodiques, anodiques ou combinés).
- ✓ Mécanismes et principes d'action à l'interface (adsorption sur la surface du métal et/ou création d'un revêtement protecteur) .
- ✓ Domaine d'application.

### **I.2.5. Les inhibiteurs verts**

L'utilisation de substances toxiques comme inhibiteurs, en particulier les chromates et les organophosphorées a été limitée en raison de leurs caractéristiques néfastes pour l'environnement. Plusieurs études ont suggéré que les inhibiteurs non toxiques ou bien verts redeviennent importants en raison de leurs sources respectueuses de l'environnement. Les plantes (les extraits et les huiles) jouent vraiment un grand rôle au tant qu'inhibiteur de corrosion dans différents milieux acides, non seulement ça mais aussi elles sont faciles à extraire avec un faible cout et une pollution minimale. Elles ont été choisies grâce à leurs disponibilités (on les trouve avec une grande quantité et abandonnées a l'air libre. Plusieurs extraits de plantes ont été employés comme inhibiteurs de corrosion dans diverses conditions pour divers aciers (ordinaires, au carbone et inoxydables) (acides, alcalins, etc.) [13-18].

### **I.3. Les aciers**

Un acier est un alliage métallique utilisé dans les domaines de la construction métallique et de la construction mécanique. L'acier est constitué de deux éléments au moins, majoritairement le fer puis le carbone dans des proportions comprises entre 0,02 % et 1,67 % 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. Les aciers sont élaborés pour résister à des sollicitations mécaniques ou des agressions chimiques ou une combinaison des deux. [19].

#### **I.3.1. Les différents types d'aciers**

Les aciers présentent un très grand nombre de nuance différente. 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 [2].

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

### I.3.1.2. Les aciers au carbone ou ordinaires

Les aciers ordinaires sont des aciers standards d'usage général. Ils sont constitués d'environ 80 % de la production des aciers [20]. Le **tableau I.1** illustre les différentes nuances de l'acier ordinaire.

**Tableau I.1. Aciers ordinaires ou acier au carbone non allié [20].**

Nuance	Pourcentage de Carbone C	Utilisation
Extra doux	$C < 0.15$	tôles pour carrosserie, feuillards, quincaillerie, pièces de forges
Doux	$0.15 < C < 0.20$	charpentes métalliques, profilés, constructions mécaniques courantes, boulons, fils ordinaires
Demi doux	$0.20 < C < 0.30$	pièces de machines pour applications mécaniques, pièces ou bâtis moulés, pièces forgées
Demi dur	$0.30 < C < 0.40$	. petit outillage, éléments de machines agricoles, organes de transmission
Dur	$0.40 < C < 0.60$	.pièces d'outillage, d'armement, glissières, rails et bandages, ressorts, coutellerie, pièces moulées et traitées
Extra dur	$0.60 < C$	outils d'usinage et découpe, câbles, ressorts

### I.3.2. L'acier X70

Les aciers X70 sont des aciers ordinaires, qui ont une microstructure ferritoperlitique. Ils sont faiblement alliés et contiennent moins de carbone (0,12 % de C). Les aciers X70 conviennent aux pipelines en raison de leur ductilité et de leur ténacité élevée. [21].

#### I.3.2.1. Nomenclature de l'acier X70

L'acier répond aux spécifications de la norme API (American Petroleum Institute). X70 désigne le grade de l'acier. Les autres grades sont A, B et X60. Le chiffre 70 indique la limite élastique de l'acier en psi, qui est de 70 000 psi « pound per square inch » (livre par pouce carré) [22].

### I.4. Le géranium

#### I.4.1. Définition

*Pelargonium roseat*, *Pelargonium graveolens* est une plante de la famille des Geraniaceae originaire d'Afrique australe. Ce sous-arbrisseau porte trois lobes côtelés rougeâtres sur de longues feuilles vertes, découpées et duveteuses. Les fleurs sont minuscules et possèdent cinq pétales blanc pourpre, dont deux sont tachés de rouge violacé [23].



**Figure I.6.** La plante de géranium.

#### I.4.2. Histoire du géranium rosat (*pélargonium graveolens*)

Le *pélargonium graveolens* est une plante originaire d'Afrique australe qui a été introduite dans les jardins européens à la fin du XVIIe siècle [24]. Au milieu du IXe siècle, elle était devenue rare et le prix de son huile essentielle s'est envolé. Dès le début du XXe siècle, la culture du géranium rosat s'est répandue dans diverses parties du monde, notamment en Corse (France), en Italie, en Espagne, au Portugal, au Maroc, en Tunisie, en Égypte, en Russie, aux

Comores, en Afrique du Sud, au Congo, en Inde, au Brésil et en Chine [25]. Cette plante a été introduite en Algérie le 19<sup>ème</sup> siècle ou elle a atteint des proportions gigantesques pendant la période coloniale[26].

### **1.4.3. Géranium et pélargonium**

Le grand public, ainsi que les marchands de plantes et les praticiens de la médecine alternative, notamment les professionnels de l'aromathérapie, sont souvent perplexes face aux termes géranium et pélargonium. Cette confusion est survenue avant le naturaliste suédois Carl Von Linnaeus (1753) et sa méthode de classification binomiale, qui incluait les deux genres sous le nom de géranium. Malgré le fait que l'horticulteur britannique Robert Sweet (1820) et d'autres botanistes les aient reclassés sous deux genres, leur adoption par le grand public et les pépinières reste faible. Selon Miller (2002), les genres Géranium et Pélargonium sont membres de la famille des Geraniaceae et ont des fruits allongés avec 5 méricarpes portant chacun une seule graine [27].



**Partie expérimentale**

### **II.1 Introduction**

Dans ce chapitre on va présenter les tests utilisés pour réaliser le screening phytochimique du géranium et la méthode d'extraction utilisée pour préparer l'extrait de feuilles de géranium (E.F.G). Ainsi on va présenter les méthodes expérimentales utilisées pour étudier l'effet de la concentration de l'E.F. G, utilisé comme inhibiteur sur la corrosion d'un acier ordinaire X70 dans une solution d'acide chlorhydrique 1 M. La spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier

( FTIR ) a été utilisé pour caractériser l'E.F.G.

### **II .2 Matériel végétal**

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

La plante de géranium utilisée dans ce travail est indigène de la côte algérienne (Commune El Kala, wilaya d'El Taref). Après un mois de séchage à l'ombre et à température ambiante (**Figure II.1.**), les feuilles de cette plante ont été broyées avec un moulin électrique. La poudre obtenue est conservée dans un flacon en verre teinté, fermé hermétiquement pour éviter la lumière, l'humidité et la chaleur.



**Figure II.1.** Feuilles de la plante géranium après séchage.

### **II.3. Produits chimiques**

Les produits chimiques utilisés dans cette étude proviennent des sociétés Biochem Chemopharma, VWR International S.A.S, Rankem, et Aldrich.

### II.4. Screening phytochimique

#### II.4.1. Définition

Le screening phytochimique représente l'ensemble des techniques qualitatives permettant de déterminer les différents groupes chimiques contenus dans un organe végétal. Il s'agit de réactions physico-chimiques qui permettent la détection de composés chimiques. Il existe plusieurs classes phytochimiques, mais les plus importantes sont : les polyphénols, qui comprennent les flavonoïdes, les anthocyanes, les tanins, les alcaloïdes, les saponosides, les stéroïdes, les stérols, les terpènes, etc. [28].

#### II.4.2. Test des alcaloïdes

Pour mettre en évidence la présence des alcaloïdes dans les feuilles de géranium, nous avons fait une macération de 1g de la poudre des feuilles dans 10mL d'HCl à 5% v/v pendant 15 minutes. Après nous avons filtré le mélange et nous avons rajouté au filtrat quelques gouttes du réactif de Mayer (**Figure II.2**). Le changement de couleur indique la présence des alcaloïdes.



**Figure II.2.** Test des alcaloïdes.

#### II.4.3. Test des saponines (Test de mousse)

Pour réaliser le test des saponines, nous avons versé 20 mL d'eau distillée dans un bécher de 80 mL, puis nous avons ajouté 1g de la poudre des feuilles et nous avons laissée bouillir ce mélange pendant 5 minutes. Après filtration avec du papier filtre, nous avons rajouté au filtrat 10mL de l'eau distillée. Ensuite nous avons secoué ce dernier mélange vigoureusement et enfin nous avons laissé reposer pendant 30 minutes (**Figure II.3**). La présence des saponines se traduit par la formation d'une mousse dans la partie supérieure du tube.



**Figure II.3.** Test des saponines.

### II.4.4. Test des flavonoïdes

Afin de confirmer la présence ou l'absence des flavonoïdes dans le géranium, nous avons fait la macération de 10g de la poudre des feuilles de géranium dans 150 mL d'HCl à 1% v/v. Après 24h nous avons filtré le mélange et nous avons ajouté au filtrat quelques gouttes de NaOH à 1M (**Figure II.4**). La formation d'une partie jaune claire sur la partie supérieure de tube indique la présence des flavonoïdes.



**Figure II.4.** Test des flavonoïdes.

### II.4.5. Test des tanins

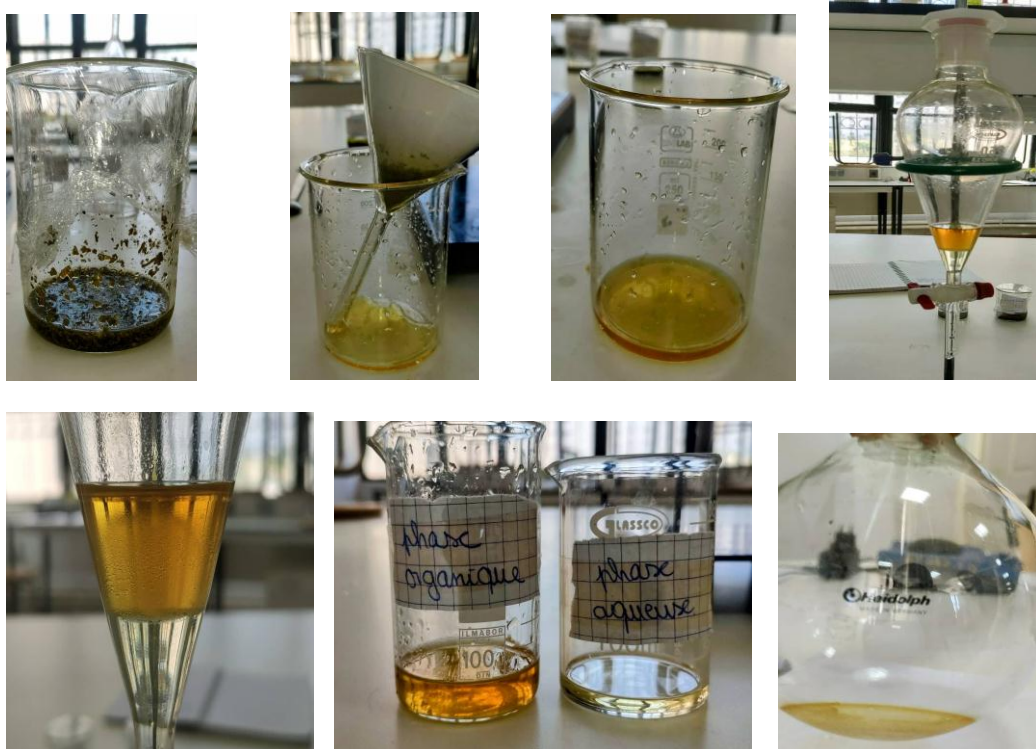
Le test des tanins est réalisé comme suit : nous avons introduit 10g de la poudre des feuilles dans 100mL de méthanol. Après 15 minutes nous avons filtré la solution et nous avons ajouté quelques gouttes de  $\text{FeCl}_3$  à 1% g/v (**Figure II.5**). Le virage du couleur vers le vert bleu indique la présence des tanins.



**Figure II.5.** Test des tanins.

### II.4.6. Test de cardénolides

Afin de mettre en évidence la présence ou l'absence des cardénolides dans le géranium, nous avons fait la macération de 1g de la poudre des feuilles dans 20 mL pendant 3h. Après filtration, nous avons prélevé 10 mL du filtrat et nous avons ajouté 5 mL de chloroforme et 5 mL de l'éthanol, puis nous avons séparé la phase organique et la phase aqueuse en utilisant une ampoule à décanter. A l'aide d'un rotavapor, nous avons évaporé la phase organique, jusqu'à l'obtention d'un précipité. Ensuite nous avons dissous ce dernier dans 3 mL d'acide acétique glacial. Enfin nous avons ajouté quelques gouttes de  $\text{FeCl}_3$  à 1%  $g/v$  et 1mL de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (**Figure II.6**). S'il y a des cardénolides on obtient une couleur vert bleu.



**Figure II.6.** Test des cardénolides.

### **II.4.7. Test des huiles volatiles**

Pour réaliser le test des huiles volatiles, nous avons fait la macération de 10g de la poudre des feuilles de géranium dans 40mL d'eau distillée. Après une agitation de 30 minutes, nous avons filtré l'extrait obtenu, puis nous avons versé 2mL du filtrat dans un tube à essais et nous avons ajouté 0,1mL de NaOH et HCl dilués (**Figure II.7**). La formation d'un précipité blanc indique la présence des l'huiles volatiles.

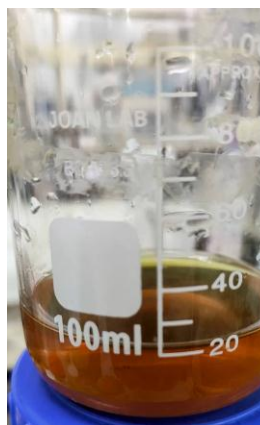


**Figure II.7.** Test des huiles volatils.

### **II.4.8. Test des anthocyanes**

Pour mettre en évidence la présence ou l'absence des anthocyanes dans les feuilles de géranium, nous avons ajouté à 100 mL de l'eau bouillante 5 g de la poudre des feuilles. Après 15 minutes, nous avons filtré cette solution et nous avons ajouté au filtrat quelques gouttes de NaOH

(**Figure II.8**). Le changement de couleur indique la présence des anthocyanes.



**Figure II.8.** Test des anthocyanes.

### II.4.9. Test des quinones

Le test des quinones est réalisé comme suit : dans un bécher, nous avons introduit 1g de la poudre des feuilles de géranium et 30mL d'éther de pétrole. Ce mélange est mis sous agitation pendant 24h, puis il est filtré. Ensuite nous avons placé le filtrat au rotavapor, pour éliminer le solvant. Enfin nous avons ajouté quelques gouttes de NaOH 1M à l'extrait obtenu (**Figure II.9**). Le changement de couleur (jaune ,rouge ou violet ) indique la présence des quinones.

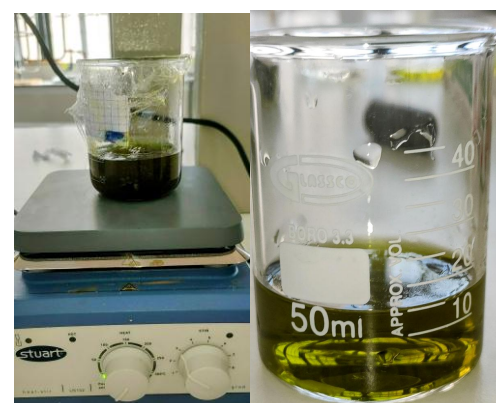


**Figure II.9.** Test des quinones.

### II.4.10. Test des phénols

Pour mettre en évidence la présence ou l'absence des phénols dans les feuilles de géranium, nous avons traité l'extrait méthanoliques des feuilles de géranium avec 3 à 4 de chlorure ferrique à 2% g/v (**Figure II.10**). La formation de couleur noir bleuâtre indique la présence de phénols.

Nous avons préparé l'extrait méthanolique comme suit : nous avons introduit 1g de la poudre des feuilles de géranium, dans un bécher contenant 100mL de méthanol, puis nous avons mis cette solution sous agitation pendant 24h. Enfin nous avons filtré cette solution à l'aide de papier filtre.



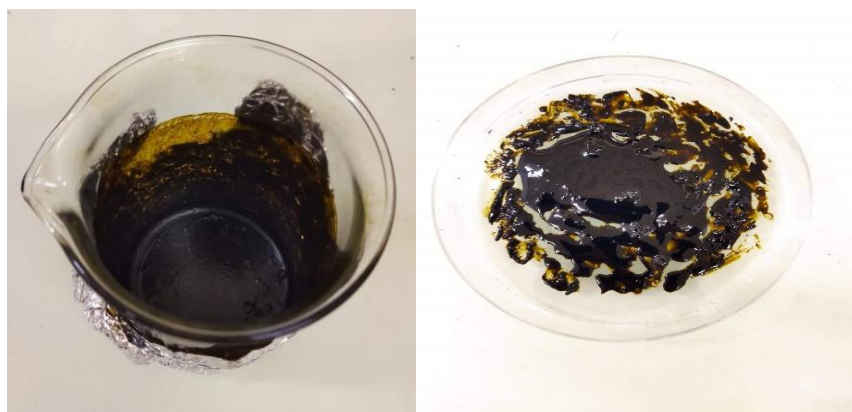
**Figure II.10.** Test des phénols.

### **II.5. Préparation de l' extrait des feuilles de géranium (E.F.G) par la méthode Soxhlet**

Pour préparer l'extrait des feuilles de géranium, nous avons utilisé le montage de Soxhlet représenté dans la **Figure II.11**. L'installation Soxhlet se compose d'un corps en verre (extracteur) avec une cartouche en cellulose et un réfrigérant. L'extracteur est placé au-dessus d'un ballon contenant le solvant d'extraction. Le ballon est chauffé pour permettre à son contenu de bouillir. La cartouche contenant la poudre des feuilles de géranium est insérée dans l'extracteur, qui est surmonté d'un réfrigérant pour liquéfier les vapeurs de solvant. Lorsque le ballon est chauffé, le liquide est porté à ébullition et les vapeurs de solvant traversent la tubulure avant d'être liquéfiées dans le réfrigérant. Le condensat retourne ensuite dans l'extracteur, où il fait macérer la poudre de la plante dans le solvant. Une fois que le solvant condensé et s'est accumulé à hauteur du coude, l'extracteur se vidange automatiquement. En conséquence, le solvant dans le ballon devient progressivement plus riche en composants solubles. Le processus d'extraction est répété. Dans notre travail nous avons réalisé huit cycles. La séparation du solvant de l'extrait (**Figure II.12.**) est faite en plaçant notre mélange dans l'étuve à une température de 70°C pendant une nuit.



**Figure II.11.** Montage de l'extraction Soxhlet.



**Figure II.12.** L'E.F. G après l'élimination du solvant.

### II.6. Étude de la corrosion de l'acier X70 dans un milieu acide

#### II.6.1. Matériau

Le matériau utilisé dans cette étude est l'acier ordinaire X70. Il possède la composition indiqué dans le tableau ci-dessous :

**Tableau II.1.** La composition chimique de l'acier X70.

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni
0,078	0,28	1,854	0,016	0,007	0,032	0,019
Mo	Al	Co	Cu	Nb	Ti	V
0,004	0,031	0,003	0,027	0,074	0,007	0,004

#### II.6.2. Inhibiteur d'étude

Dans notre étude, nous avons utilisé un inhibiteur vert qui est l'extrait des feuilles de la plante de géranium (E.F.G) préparé par l'extraction de Soxhlet.

#### II.6.3. Méthode de la perte de masse

Sur la base des mesures de la perte de masse, nous pouvons calculer la vitesse de corrosion de l'acier X70 immergé dans une solution HCl contenant des ions chlorures comme agents agressifs. À l'aide d'une balance analytique de marque IIAXIS (**Figure II.13**), des mesures de perte de masse ont été effectuées au temps d'immersion 24h à une température ambiante de 25°C sans agitation. L'acier de cette étude (X70) provenant du complexe El Hadjar-Annaba (**Figure II.14**). Il a été découpé en morceau (**Figure II.15**), ensuite il a été poli à l'aide d'une

polisseuse (**Figure II.16**) au papier abrasif (**Figure II.17**) de différents tailles (SiC : 120,180, 320, 600, 800,1000,1200, 2400 et 4000). Après le polissage de l'acier (**Figure II.18**), il a été lavé avec de l'eau distillé et l'acétone et séché avec un séchoir à froid, avant d'être immergé dans 100mL d'HCl à 1M en absence et en présence des différentes concentrations de l'E.F.G (**Figure II.19.**)

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

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

**Avec :**  $V_{corr}$  : vitesse de corrosion ( $g/m^2 \cdot h$ ),  $S$  : surface de l'échantillon et  $t$  : temps d'immersion

Pour l'efficacité de l'inhibiteur elle s'exprime par la relation (2) :

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

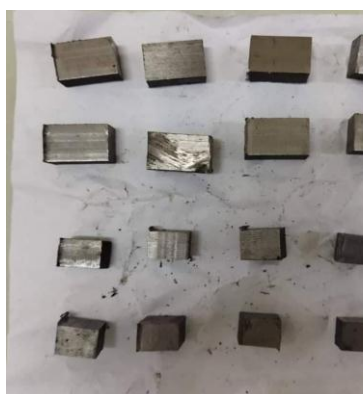
**Avec :**  $E$  : l'efficacité inhibitrice,  $V_{AI}$  : la vitesse de corrosion avec inhibiteur et  $V_{SI}$  : la vitesse de corrosion sans inhibiteur.



**Figure II.13.** Balance analytique.



**Figure II.14.** Acier X70.



**Figure II.15.** Morceaux de l'acier X70.



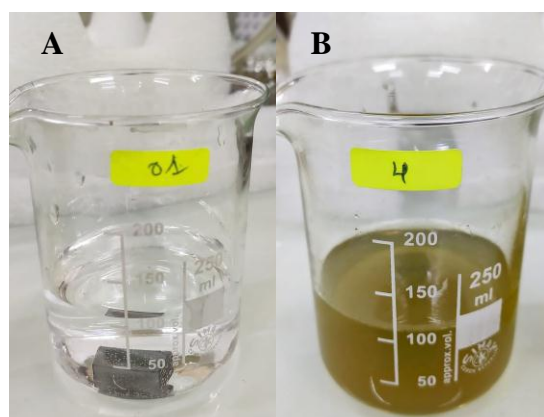
**Figure II.16.** Polisseuse.



**Figure II.17.** Papier abrasif.



**Figure II.18.** L'acier X70 avant (A) et après (B) le polissage.



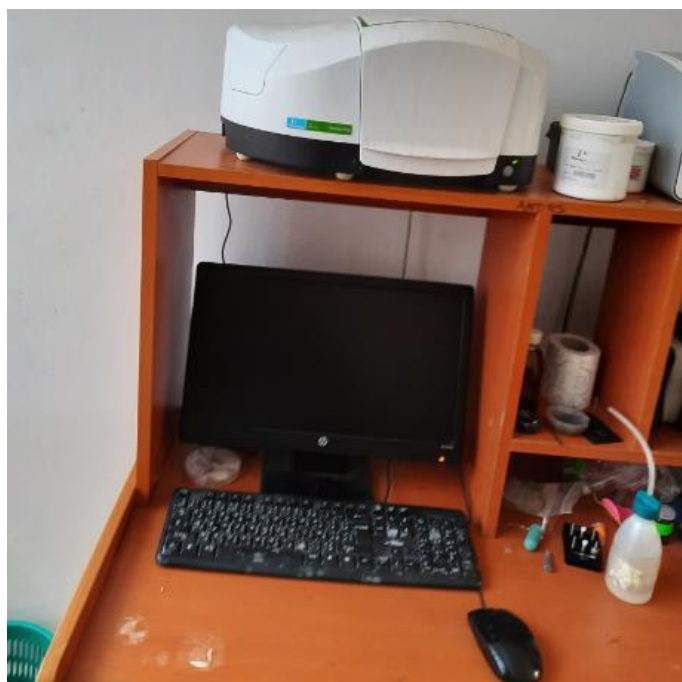
**Figure II.19.** Immersion de l'acier X70 dans le milieu corrosif en absence de l'E.F. G (A) et en présence de l'E.F. G (B).

### **II.7. Caractérisations spectroscopiques**

#### **II.7.1. Spectroscopie infrarouge à transformée de fourrier (FTIR)**

La spectroscopie infrarouge à transformée de fourrier est basée sur l'absorption d'un Rayonnement infrarouge par l'échantillon à analyser. Cet échantillon peut être à l'état gazeux, solide ou liquide. Elle permet via l'absorption des vibrations caractéristiques des liaisons chimiques, de déterminer la présence de certains groupements fonctionnels présents dans la matière.

La caractérisation structurale, de l'extrait de la plante de géranium préparé par Soxhlet est assuré par l'instrument spectromètre à transformée de Fourier de marque perkinElmer (**Figure. II.20.**). Cet extrait a été dilué dans le dichlorométhane



**Figure. II.20.** Spectromètre à transformée de Fourier.



## **Résultats et discussion**

### III.1. Screening phytochimique

Le screening phytochimique a été effectué sur les feuilles de géranium à l'aide de réactifs de révélation spécifiques basés sur des réactions de précipitation ou un changement de couleur spécifique.

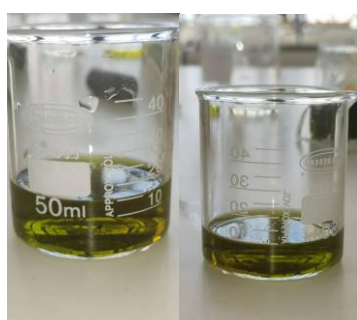
Les résultats de l'analyse phytochimique sont classés en fonction de différentes observations.

- Réaction négative : si le réactif ne produit aucune précipitation ni coloration.
- Réaction positive : si le réactif produit une précipitation ou une coloration, traduisant la présence de composés chimiques recherchés.

Les résultats du screening phytochimique sont regroupés dans le **tableau III.1**

**Tableau III.1.** Résultats de screening phytochimique

Test	Résultat
Alcaloïdes	(-) <b>Figure III.1</b>
Saponines	(+) <b>Figure III.2</b>
Flavonoïdes	(+) <b>Figure III.3</b>
Tannins	(+) <b>Figure III.4</b>
Cardénolides	(+) <b>Figure III.5</b>
Huiles volatiles	(-) <b>Figure III.6</b>
Anthocyanes	(-) <b>Figure III.7</b>
Quinones	(-) <b>Figure III.8</b>
Phénols	(+) <b>Figure III.9</b>



Avant      Après

**Figure III.1.** Résultat du test des alcaloïdes.



Après

**Figure III.2.** Résultat du test des saponines.



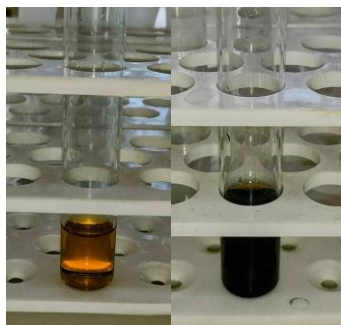
Avant                  Après

**Figure III.3.** Résultat du test des Flavonoïdes.



Avant                  Après

**Figure III.4.** Résultat du test des tanins.



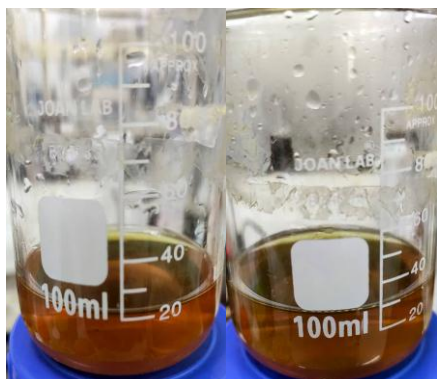
Avant                  Après

**Figure III.5.** Résultat du test des cardénolides.



Avant                  Après

**Figure III.6.** Résultat du test des huiles volatils.



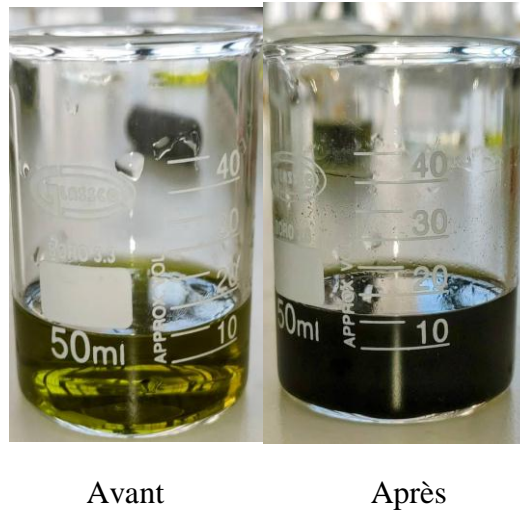
Avant                  Après

**Figure III.7.** Résultat du test des anthocyanes.



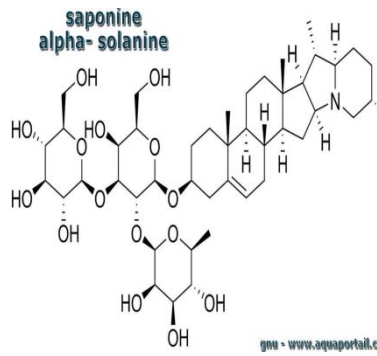
Avant                  Après

**Figure III.8** Résultat du test des quinones.

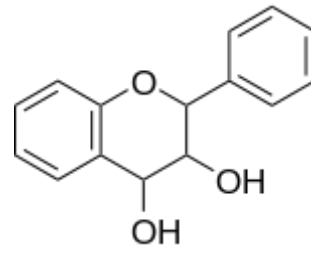


**Figure III.9.** Résultat du test des phénols.

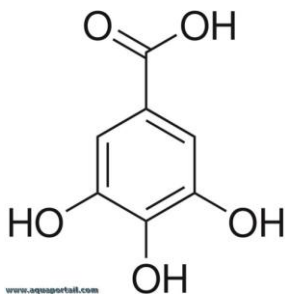
D'après ces résultats on peut déduire que l'analyse phytochimique a révélé la présence de saponines, de flavonoïdes, de tanins, de cardénolides et de phénols (**Figure III.10**) dans les feuilles de géranium. Ce résultat nous a encouragé d'utiliser les feuilles de cette plante comme inhibiteur de corrosion suite à la présence des atomes oxygène et azote, ainsi que les doubles liaisons du cycle aromatique dans les composés cités précédemment.



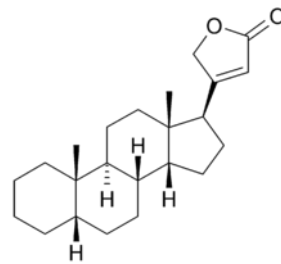
**Les saponines**



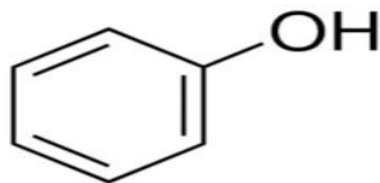
**Les flavonoïdes**



**Les tanins**



**Les cardénolides**



**Le phénol**

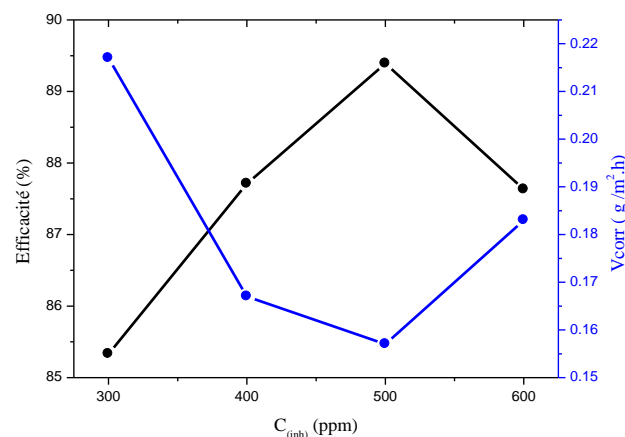
**Figure III.10.** Composition des feuilles de géranium selon le screening phytochimique.

### III.2. Etude de l'effet inhibiteur de l'E.F. G sur la corrosion de l'acier X70 par la méthode de la perte de masse

**Tableau III.2.** Vitesse de corrosion de l'acier ordinaire X70 dans HCl à 1 M en Absence et en présence de l'E.F. G et efficacité inhibitrices calculées.

Paramètres Essais	[EFG] (ppm)	$\Delta m$ (g)	Vitesse de corrosion $V_{corr}(g/m^2.h)$	Efficacités (%)
1	Sans inhibiteur	0,0627	2,2140	/
	200 ppm	0,0051	0,1908	91,38
	400 ppm	0,0024	0,1388	93,73
	600 ppm	0,0034	0,1620	92,68
2	Sans inhibiteur	0,0316	1,0960	/
	200 ppm	0,0041	0,1533	86,01
	400 ppm	0,0036	0,2380	78,28
	600 ppm	0,0008	0,0462	95,78
3	Sans inhibiteur	0,0196	0,692	/
	100 ppm	0,0029	0,1917	72,29
	50 ppm	0,0035	0,311	55,05
4	Sans inhibiteur	0,0373	1,3171	/
	50 ppm	0,0049	0,183	86,08
	100 ppm	0,0056	0,357	72,83
	200ppm	0,0026	0,160	87,80
	300ppm	0,0082	0,342	74,00
	400ppm	0,0051	0,198	84,92
	600 ppm	0,0025	0,097	92,60
	700ppm	0,0033	0,123	90,63
5	Sans inhibiteur	0,0388	1,370	/
	300 ppm	0,0046	0,168	87,37
	400 ppm	0,0021	0,134	90,21
	500 ppm	0,0022	0,123	91,24
	700 ppm	0,0021	0,087	93,64
6	Sans inhibiteur	0,0422	1,592	/
	300 ppm	0,007	0,247	84,48
	500 ppm	0,0052	0,203	87,24
	800 ppm	0,0045	0,168	89,44

7	Sans inhibiteur	0,0301	1,127	/
	200 ppm	0,0031	0,116	89,70
	300 ppm	0,0037	0,138	87,75
	400 ppm	0,0034	0,127	88,73
	500 ppm	0,0012	0,08	92,90
	700 ppm	0,0032	0,128	88,64
	800 ppm	0,027	0,101	91,02
8	Sans inhibiteur	0,0258	1,48	/
	300 ppm	0,0058	0,217	85,33
	400 ppm	0,0026	0,167	88,71
	500 ppm	0,0042	0,157	89,39
	600 ppm	0,0049	0,183	87,63



**Figure III.11.** Variation de la vitesse de corrosion et de l'efficacité inhibitrice de l'E.F. G à différentes concentrations sur l'acier X70 dans HCl 1M pendant une immersion de 24h.

Le **tableau III.2** montre les résultats obtenus de la méthode de perte de masse, utilisée pour étudier le comportement de la corrosion de l'acier X70 dans HCl à 1M en absence et en présence de l'Extrait des Feuilles de Géranium (E.F.G) pendant 24 heures à différentes concentrations.

Après tous ces essais réalisés (huit essais) les résultats (**Tableau III.2**) montrent que la meilleure gamme de concentration correspond à l'essai n°8. En effet en absence d l'E.F. G la vitesse de corrosion est de 1.48 g/ m<sup>2</sup> .h et en présence de l'E.F. G elle est de 0.217 g/ m<sup>2</sup> , d 0.167 g/ m<sup>2</sup> .h et 0.167 g/ m<sup>2</sup> .h à 300, 400, 500ppm respectivement. A 600ppm elle est de 0.183 g/ m<sup>2</sup> .h.

La **figure III.11**, qui présente la variation de la vitesse de corrosion de l'acier ordinaire X70 en fonction de la concentration de l'E.F. G pendant un temps d'immersion de 24h, montre qu'en absence de l'E.F. G, la vitesse de corrosion atteint sa valeur maximale, tandis qu'en présence de différentes concentrations de l'EFG à savoir 300,400,500 et 600 ppm la vitesse de corrosion diminue de manière significative. Ceci est dû à la formation d'un film inhibiteur relativement stable recouvrant la surface de l'acier.

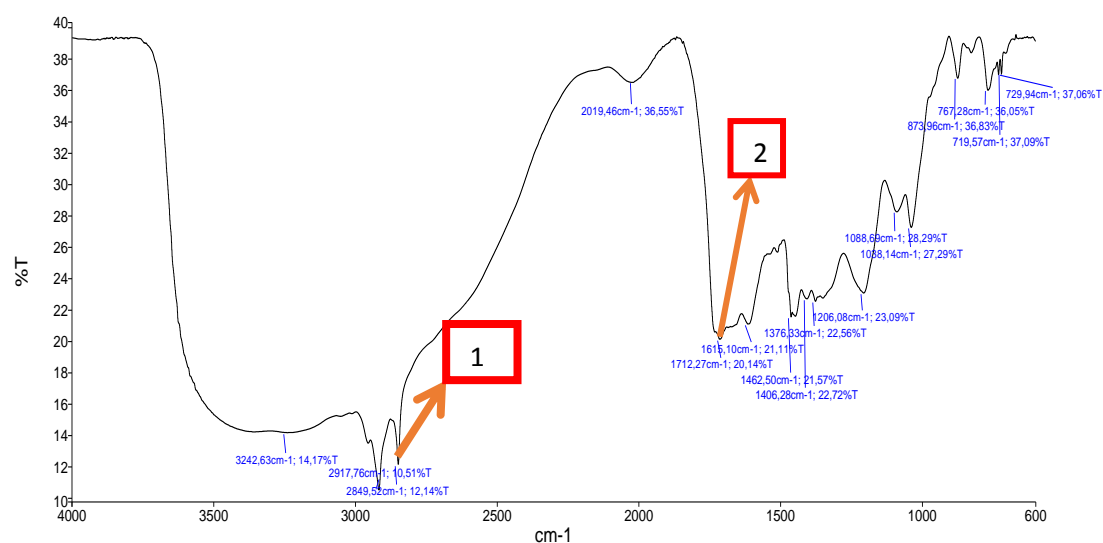
La **figure III.11** montre l'évolution de l'efficacité inhibitrice en fonction de la concentration de l'E.F.G. Nous constatons que l'efficacité inhibitrice augmente avec l'augmentation de la concentration de l'EFG, avec un maximum de 89,39 % à une concentration de 500ppm, au-delà de cette concentration (600ppm), l'efficacité inhibitrice chute à 87,63%.

Nous pouvons conclure que 500ppm présente la meilleure concentration pour protéger l'acier ordinaire X70 immergé dans HCl à 1M.

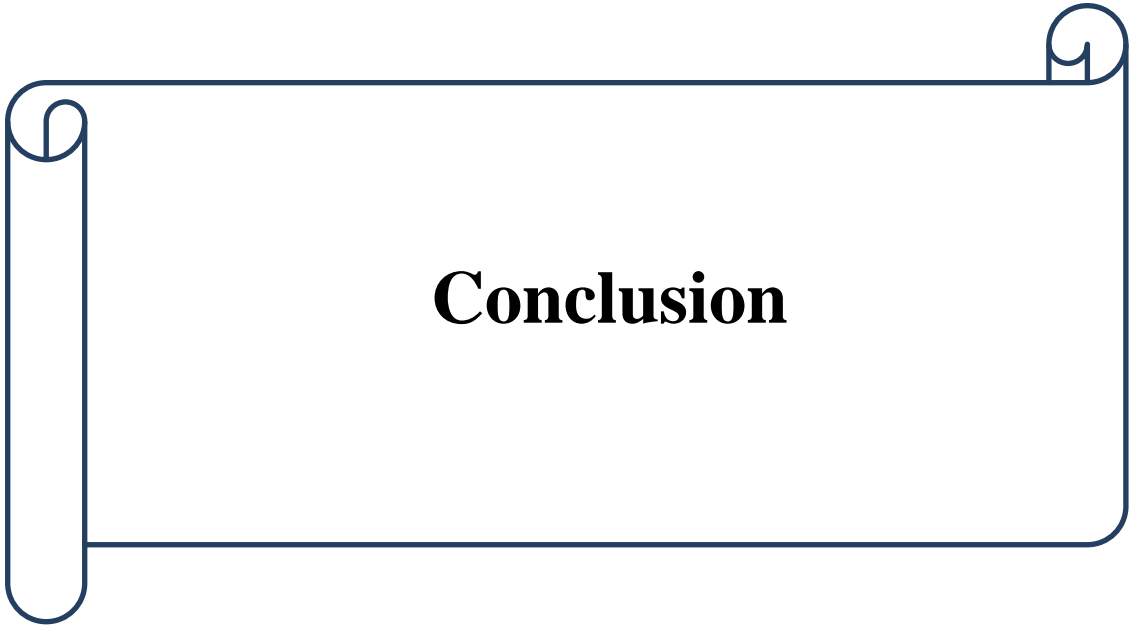
### III.3. Caractérisation spectroscopique

#### III.3.1 caractérisation par FTIR

D'après la **Figure III.12** qui représente le spectre FTIR de l'E.F. G on observe l'apparition d'une bande d'absorption entre 2649-2617  $\text{cm}^{-1}$  (1) qui appartient à la double liaison d'un cycle aromatique et une bande entre 1615 et 1712  $\text{cm}^{-1}$  attribuée au groupement carbonyle (C=O).



**Figure III.12.** Spectre FTIR de l'E.F.G.



**Conclusion**

### Conclusion

Le but de ce travail est l'étude du pouvoir inhibiteur de l'extrait des feuilles de géranium (E.F.G) préparé par la méthode d'extraction de soxhlet, contre la corrosion de l'acier ordinaire X70 dans un milieu acide chlorhydrique à 1M.

Pour cela un screening phytochimique a été réalisé pour mettre en évidence la présence de polyphénols totaux, et des essais de perte de masse ont été effectués pour suivre l'évolution de de l'effet inhibiteur de l'E.F.G.

La spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier a été utilisée afin de déterminer les différents groupes fonctionnels présent dans l'E.F.G.

Les résultats obtenus sont :

Les tests photochimiques ont révélé la présence des saponines, des flavonoïdes, des tannins, des cardinolides et des phénols.

La spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier a montré la présence des groupements C=O et C=C.

La méthode de perte de masse a montré que 500ppm est la concentration qui donne la meilleur efficacité inhibitrice (89,39%) de la corrosion de l'acier X70 dans HCl à 1M..

En perspective, il est intéressant de :

- ✓ Caractériser la surface de l'acier X70 en l'absence et en présence de L'E.F.G par microscope électronique optique et à balayage.
- ✓ Étudier l'effet inhibiteur de l'E.G.G par des méthodes électrochimiques.

### Références Bibliographiques

- [1] **k. DOUIDI**, « étude de l'influence des paramètres opératoires sur l'efficacité inhibitrice de l'extrait brut de *trigonella foenum-graecum* l vis -a-vis de la corrosion de l'acier au carbone en milieu d'acide chlorhydrique 1M HCL », mémoire de master académique, université Ziane Achour- djelfa , (2014) .
- [2] **H. Marmi**, «amélioration de la résistance à la corrosion électrochimique des aciers par utilisation des inhibiteurs », thèse de doctorat, Université Mohamed KHider -Biskra , (2017).
- [3] **Banerjee, S., Srivastava, V., & Singh, M. M. (2012)**. Chemically modified natural polysaccharide as green corrosion inhibitor for mild steel in acidic medium. *Corrosion Science*, 59, 35-41.
- [4] **A. OULABBAS** , «effets des inhibiteurs verts sur la corrosion des aciers ordinaires dans deux milieux acides» , thèse de doctorat , Université Badji Mokhtar -Annaba , (2019) .
- [5] **C. CASENAVE**, «Etude de la protection contre la corrosion d'un alliage d'aluminium au moyen des systèmes de peinture contenant des inhibiteurs non chromatisés», Ecole Nationale supérieure de chimie Toulouse, Thèse de doctorat, (2004).
- [6] **ROTHWELL**, «Corrosion phenomena in introduction» NPL, pp 1-9, (2003).
- [7] **A. ALDYKIEWICZ, H. ISAACS et A. DAVENPORT**, «The investigation of cerium as a cathodic inhibitor for aluminum-copper alloys» Journal of the Electrochemical Society, vol. 142, pp. 3342-3350, (1995).
- [8] [https://www.tube-acier.net/corrosion\\_des\\_métaux/](https://www.tube-acier.net/corrosion_des_métaux/)(2022)
- [9] <https://2u.pw/pplI2>,(2022)
- [10] **ZAMFIR, R. VIDU et V.BRÎNZOI**, «Corrosion des matériaux», Maison d'édition didactique pédagogique, Romania, (1994).
- [11] **D. Neggaz**, « Optimisation des méthodes de Réparation des Gazoducs », thèse de doctorat, Université des sciences et technologies-Mohamed Boudiaf-Oran , (2020).
- [12] **J. Barralis et G. Maeder**, Précis de métallurgie, Paris, Afnor, Nathan, (1991), 4 e éd. (ISBN 978-2-09-194017-5.
- [13] **Boulmerka, R., & Abderrahmane, S. (2020)**. Opuntia ficus-indica as a durable and eco-friendly corrosion inhibitor on AISI 410 stainless steel in 0.5 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> *Bulletin of Materials Science*, 43(1), 1-16.

## Références bibliographiques

- [14] Oulabbas, A., Abderrahmane, S., Salcı, A., Geçibesler, İ. H., & Solmaz, R. (2022). Adsorption and Corrosion Inhibition of Cactus cladode Extract and Effect of KI Addition on Mild Steel in 0.5 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. *ChemistrySelect*, 7(19), e202200212.
- [15] Sameh, A., Sihem, A., Fadila, B., & Kardas, G. (2018). A study of the effect of Agave Americana extract inhibitor on the corrosion of mild steel in 0.5 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. *Materials research express*, 6(1), 016504.
- [16] Fadila, B., Sihem, A., Sameh, A., & Kardas, G. (2019). A study on the inhibition effect of expired amoxicillin on mild steel corrosion in 1N HCl. *Materials Research Express*, 6(4), 046419
- [17] Alibakhshi, E., Ramezanzadeh, M., Bahlakeh, G., Ramezanzadeh, B., Mahdavian, M., & Motamedi, M. (2018). Glycyrrhiza glabra leaves extract as a green corrosion inhibitor for mild steel in 1 M hydrochloric acid solution: experimental, molecular dynamics, Monte Carlo and quantum mechanics study. *Journal of Molecular Liquids*, 255, 185-198.
- [18] A. KANU, "Performance Evaluation of Corrosion Inhibitors in Pipelines using Cannon Amuricata (CM) and Cassuttidfilifurmis Leaf (CF) Plant Extracts" Federal University of Technology, Owerri. Thèse de doctorat, (2018).
- [19] IMohamed, H. A. D. J. A. D. J., Noura, M. E. D. D. O. U. R. A., DAKMOUCHE, M. D. M., & Mokhtar, S. A. I. D. I. (2011). L'INIBITION DE CORROSION DE L'ACIER XC52 À 20% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> PAR 3-METHYLTHIO-4-TOLYL-1, 2-DITHIOLYLIUM CONTRE ANION I. *Annals of Science and Technology*, 3(1), 8-8.
- [20] H. Marouf, Thèse de magister en génie mécanique, Université Tizi-Ouzou, (2012).
- [21] LAbassi, "Étude microstructurale d'un joint soudé par procédé SMAW d'acier X70", université Mohamed Khider-Biskra, (2020).
- [22] M. Djellab, "Corrosion des installations pétrolières : Effet de la synergie des ions iodures et des inhibiteurs naturels sur la protection contre la corrosion de l'acier API 5L X70 en milieux acides", Thèse de Doctorat, Université de Biskra, (2019).
- [23] <https://www.passeportsante.net/fr/Solutions/HerbierMedicinal/Plante.aspx?doc=pelargonium-pelargonium-graveolens-pelargonium-roseum-bienfaits-cette-plante> ;(2022)
- [24] RECLEZ . DISTILLATION DU géranuim à lyon en 1819 .Pharm .journal London (1852) ; 11 : 325.
- [25] L . PEYRON . Histoire du « Géranium rosat pour parfumerie » dans le pays de Grasse . Association historique du pays de Grasse . France, (2013).
- [26] HEUZE G . " Les plante industrielles ". Librairie de L. HACHETE et Cie , (1859) , Paris , pp : 282-285.s.

## *Références bibliographiques*

---

[27] LIS- BALCHIN M (2002) Geranium and Pelargonium. The genera Geranium and Pelargonium (Ed ) Taylor and Francis . South Bank University , London , UK , 49-51 , 116-131 , 147-165 , 184-217.

[28] A. Behloul, Contribution à l'étude phytochimique et biologique des parties aériennes de la fumeterre, *Fumaria officinalis* L., Fumariaceae de la region d'El Harrach. Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme d'étude médicales spécialisée. Université Badji Mokhtar-Annaba, (2020).