

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE



SCIENTIFIQUE

Université 8 Mai 1945 Guelma

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département : Génie des Procédés

Mémoire de Projet de Fin d'Etudes

2^{ème} Année Master

=====
**Etude gravimétrique de l'inhibition de corrosion de
l'aluminium par l'huile essentielle de menthe verte
(*mentha spicata*) en milieu salin (3.0 % NaCl)**
=====

**Filière: Génie des Procédés
Spécialité: Génie chimique**

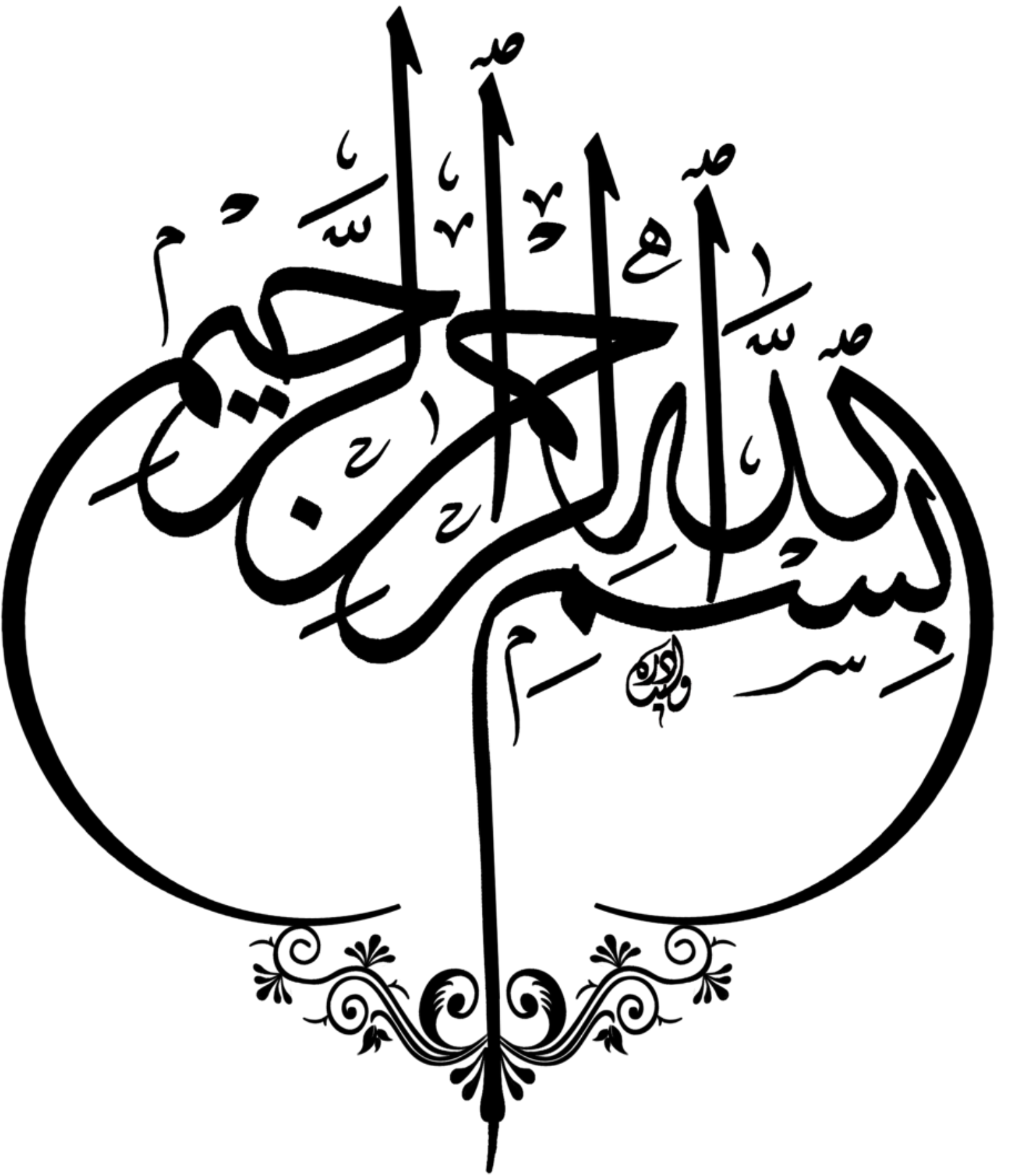
Présenté par:

HAOUAME Hanane

BENSAADA Zineb

Sous la Direction de: Dr. BAHLOUL Abida

2021 - 2022



Dédicace

Je remercie Dieu qui m'a donné la foi et la volonté d'étudier et m'a orienté dans
le droit sentier.

Je remercie Dieu qui m'a aidé à élaborer ce modeste travail, que je dédie à:

A la plus belle chose de ma vie

« Ma Mère »

Au symbole de la bonne volonté, de force et d'affection mon exemple
dans ma vie

« Mon Père »

A ma très chère sœur: « Wissem »

A mes frères: « Houssem » et « Bilel »

A mes neveux:

« Israa » et « Anfel » et « Rahime »

Je tiens aussi à remercier mes amis : Sara, Faïroz, Rania, Djohaina, Sana

A toute ma famille

Je n'oublierais pas de remercier tous mes collègues (les étudiants de master de
génie chimique) de l'Université 8 mai 1945 de Guelma.

A tous ceux que j'aime

REMERCIEMENTS

Mes remerciements vont en premier lieu à Allah le tout Puissant pour la volonté, la santé et la patience qu'il m'a données durant ce travail.

Nous voudrions présenter nos remerciements à notre encadreur le

Dr. BAHLOUL ABIDA

Ce travail a été réalisé au laboratoire pédagogique de la faculté des sciences et de la technologie, Département de Génie des Procédés de l'Université 8 Mai 1945.

Haouame Hanane

Dédicace

Je remercie Dieu qui m'a donné la foi et la volonté d'étudier et m'a orienté dans
le droit sentier.

Je remercie Dieu qui m'a aidé à élaborer ce modeste travail, que je dédie à:

Mes très chers parents pour leur amour, leurs sacrifices et leur soutien

«Mama et papa »

A toute ma famille

Je n'oublierais pas de remercier tous mes collègues (les étudiants de master de
génie chimique) de l'Université 8 mai 1945 de Guelma.

A tous ceux que j'aime

REMERCIEMENTS

Mes remerciements vont en premier lieu à Allah le tout Puissant pour la volonté, la santé et la patience qu'il m'a données durant ce travail.

Nous voudrions présenter nos remerciements à notre encadreur le

Dr. BAHLOUL ABIDA

Ce travail a été réalisé au laboratoire pédagogique de la faculté des sciences et de la technologie, Département de Génie des Procédés de l'Université 8 Mai 1945.

Bensaada Zineb

Table des matières

Introduction générale-----	1
Chapitre I: Aspects théoriques et revue bibliographiques	
I.1. Introduction-----	3
I.2. Notions de corrosion des métaux -----	3
I.3. Différents types de corrosion-----	4
I.4. Classification des différents types de corrosion-----	11
I.6. Paramètres influençant la corrosion de l'aluminium -----	13
I.7. Protection contre la corrosion-----	14
I.8. Généralités sur l'aluminium-----	15
I.9. Production de l'aluminium-----	16
I.10. Principales caractéristiques d'aluminium -----	16
I.11. Les domaines d'utilisation de l'aluminium -----	18
I.12. Diagrammes d'équilibre électrochimique de Pourbaix -----	19
Chapitre II : Les huiles essentielles et les inhibiteurs	
II.1. Généralité sur l'inhibition de la corrosion -----	21
II.2. Propriétés des inhibiteurs -----	221
II. 3. Les classes d'inhibiteurs -----	221
II.4. Les facteurs affectant la performance des inhibiteurs -----	255
II.5. L'inhibition de la corrosion par les substances naturelles-----	288
II.6. Généralité sur la plante menthe verte (Mentha spicata)-----	299
II.7. Description botanique de la menthe verte (Mentha spicata)-----	299
II.8. les espèces de menthe -----	31
II.9. Répartition géographique de la menthe dans le monde -----	32
II.10.Utilisation du menthe verte en médecine et en pharmacologie-----	32
II.11. Généralités sur les huiles essentielles -----	33
II.12. Les méthodes d'extraction des huiles essentielles-----	377
II.13. Conservation des huiles essentielles-----	41

Chapitre III: Matériaux et techniques expérimentales

III.1. Introduction	42
III.2. Matériaux étudié	42
III.3. Méthodes expérimentales	42
III.4. Techniques de caractérisation	46

Chapitre IV: Résultats et discussions

IV.1. Introduction	50
IV.2. Matériaux étudiés	50
IV.3. Méthodes de caractérisation de l'huile essentielle obtenue	51
IV.3.1. Criblage phytochimique de l'huile essentielle	51
IV.3.1.1. Test des flavonoïdes	52
IV.3.1.2. Test des tanins	52
IV.3.1.3. Test des terpènes	53
IV.3.1.4. Test des anthocyanes	54
IV.3.1.5. Test des leucoanthocyanes	54
IV.3.1.6. Test des saponosides	55
IV.3.1.7. Test des mucilages	55
IV.3.1.8. Test des alcaloïdes	56
IV.3.2. Propriété physico-chimiques	57
IV.4. Méthode gravimétrique	60
Conclusion générale	70
Références bibliographiques	72
Résumé	80
Abstract	81
ملخص	77

Liste des figures

Figure I.1: Représentation de matériaux soumis aux phénomènes de corrosion.....	4
Figure I.2: a) La distribution homogène des demi-réactions anodiques et cathodiques génère une corrosion uniforme, b) Corrosion générale (rouille) d'une pièce en acier.....	4
Figure I.3: Représentation schématique d'une corrosion localisée.....	5
Figure I.4: Corrosion par piqûres de l'aluminium.....	6
Figure I.5: Formes de piqûres (a) cavité profonde (b) cavité caverneuse (c) hémisphérique.	7
Figure I.6: Corrosion sélective du laiton (Cu-Zn).....	7
Figure I.7: Étapes de développement du phénomène de corrosion par érosion.....	8
Figure I.8: Exemple caractéristique d'une corrosion d'un alliage d'aluminium par un couplage galvanique avec un acier inoxydable (une vis).....	9
Figure I. 9: Corrosion sous contrainte.....	10
Figure I.10: Corrosion intergranulaire.....	10
Figure I.11: Corrosion filiforme.....	11
Figure I.12: Diagramme d'équilibre E-pH de l'aluminium.....	20
Figure II.1: Représentation du processus d'inhibition cathodique, (a) sans inhibiteur, (b) avec inhibiteur.....	25
Figure II.2: Modèle de la double couche interfaciale métal/solution.....	27
Figure II.3: la morphologie de la menthe verte (<i>mentha spicata</i>).....	27
Figure II.4: Inflorescence et feuille de la menthe verte.....	30
Figure II.5: Inflorescence et feuille de la menthe verte.....	31
Figure II.6 : Aire de répartition de menthe dans le monde.....	32
Figure II.7: Schéma représentant les différents constituants d'une goutte d'huile essentielle.....	33
Figure II.8: Montage d'entraînement à la vapeur d'eau.....	37
Figure II.9: Montage d'hydrodiffusion	38

Figure II.10 : Montage d'hydrodistillation	39
Figure II.11: Montage d'extraction par solvant.....	40
Figure III .1: Schéma représentant les étapes de préparation des feuilles de menthe verte.....	43
Figure III.2: Montage utilisé pour l'extraction des huiles essentielles de de la menthe verte (Mentha spicata) par la méthode d'hydrodistillation.....	44
Figure III.3: Les étapes d'extraction de l'huile essentielle de la solution aqueuse.....	45
Figure III.4: Spectrophotomètre UV-Visible de type LANGE DR 6000.....	47
Figure IV.1: Préparation de la solution corrosive NaCl 3 %.....	51
Figure IV.2: Test des flavonoïdes.....	52
Figure IV.3: Test des tanins.....	53
Figure IV.4: Test des terpènes.....	53
Figure IV.5: Test des anthocyanes.....	54
Figure IV.6: Test des leucoanthocyanes.....	54
Figure IV.7: Test des saponosides.....	55
Figure IV.8: Test des mucilages.....	56
Figure IV.9: Test des alcaloïdes.....	56
Figure IV.10: Image montrant la caractérisation par le réfractomètre.....	58
Figure IV.11: Spectre UV- visible de l'huile essentielle des feuilles de la menthe verte (mentha spicata).....	59
Figure IV.12: Plaque CCM d'huile essentielle extraite des feuilles de menthe verte (mentha spicata).....	60
Figure IV.13: Schéma représentant les étapes de préparation des substrats, a) La machine polisseuse, b) Les échantillons d'aluminium obtenus après polissage.....	61
Figure IV.14: Schéma montrant l'essai de corrosion.....	62
Figure IV. 15: Variation de la vitesse de corrosion en fonction de la concentration d'inhibiteur.....	64

Figure IV.16: Effet de la concentration d'huile essentielle extraite des feuilles de menthe verte (*mentha spicata*) sur l'efficacité inhibitrice (E) de la corrosion du l'aluminium dans la solution NaCl 3% aérée..... 64

Figure IV.17: Isotherme d'adsorption de Langmuir de l'HE des feuilles de menthe verte (*mentha spicata*) sur l'aluminium, dans la solution NaCl 3 % aérée..... 65

Figure IV.18: Droites d'Arrhenius de $\ln V$ en fonction de la température sans et avec inhibiteur..... 68

Liste des tableaux

Tableau I.1: Les principaux facteurs de corrosion..... 12

Tableau I.2: Propriétés physiques de l'aluminium 20

Tableau IV.1: Composition élémentaire en fraction massique de l'aluminium pur 50

Tableau IV.2: Résultats des tests phytochimiques de la menthe verte (*mentha spicata*).
..... 57

Tableau IV.3: Vitesse de corrosion, efficacités inhibitrices et taux de recouvrement en
absence et en présence de l'huile essentielle extraite des feuilles de menthe verte (*mentha*
spicata)..... 63

Tableau IV.4: Variation de la vitesse de corrosion en fonction de la température dans le
milieu salin NaCl 3 %..... 67

Tableau IV.5: Variation de l'énergie d'activation (E_a) de l'huile essentielle sur la surface de
l'aluminium à différentes températures pour $t_{im} = 1$ heure..... 68

Liste des abréviations

(CCM): chromatographie sur couche mince.

Δm : perte de masse.

°C: Degré Celsius.

AFNOR: Agence française de normalisation.

C_{inh} : Concentration en inhibiteur.

DMAPP: diméthylallyl pyrophosphate.

E_a : énergie d'activation.

E_{corr} : potentiel de corrosion.

H.E.C.T: Huiles Essentielles ChemoTypées.

HE: Huile Essentielle.

HPLC: chromatographie en phase liquide à haute performance.

IPP: isopentényle pyrophosphate.

IRM: Imagerie par Résonance Magnétique.

K: coefficient d'adsorption.

K_{ads} : constante d'adsorption.

K_{des} : constante désorption.

Kp: Constante croissance parabolique.

NACE: National Association of Corrosion Engineers.

pH: Potentiel d'hydrogène.

R: constante des gaz Parfaits.

S: Surface.

T: Temperature.

t: Temps.

T_{HE} : teneur en huile essentielle.

UV-VISIBLE: ultraviolet-visible.

V: Vitesse.

V'_{corr} : vitesse de corrosion en présence de l'inhibiteur.

V_{ads} : vitesse d'adsorption.

V_{corr} : vitesse de corrosion en absence de l'inhibiteur.

V_{des} : vitesse de désorption.

V_{HE}: Volume d'huile essentielle.

x: Epaisseur.

θ: taux de recouvrement de la surface.

Introduction générale

Introduction générale

L'aluminium et ses alliages trouvent une large variété d'applications conduisant à la combinaison des propriétés physiques, mécaniques et chimiques telles que les conductivités électrique et thermique, la basse densité, la ductilité élevée, la stabilité pour les traitements de surface, la bonne résistance à la corrosion et la facilité de recyclage.

Généralement, l'aluminium exhibe un comportement passif dans une solution aqueuse dû à la formation d'un film d'oxyde passif, adhérent et compact sur la surface, qui affecte la susceptibilité à la corrosion. Le film d'oxyde de la surface, passivant et adhésif, est amphotère et par conséquent, le métal est facilement dissout quand il est exposé à des solutions agressives,

L'aluminium et ses alliages ont en général une bonne tenue à la corrosion atmosphérique, en milieu marin, urbain et industriel. Ils sont indiqués pour des applications industrielles dans une grande variété de solutions acides et alcalines, mais une fois dissout, la corrosion du film formé naturellement ne peut être contrôlée que par des inhibiteurs efficaces.

La corrosion résulte d'une action chimique ou électrochimique d'un environnement sur les métaux et leurs alliages. Les conséquences sont importantes dans divers domaines et en particulier dans l'industrie : arrêt de production, remplacement des pièces corrodées, accidents et risques de pollutions etc.

Les inhibiteurs de corrosion sont des substances qui, lorsqu'elles sont ajoutées à des faibles concentrations dans des milieux corrosifs, diminuent ou empêchent la réaction du métal avec son environnement. L'utilisation des inhibiteurs pour empêcher le processus de dissolution des métaux reste une application inévitable et très répandue.

La majorité des inhibiteurs synthétiques présentent une bonne action anticorrosion, mais la plupart d'entre eux sont hautement toxiques pour les êtres humains et l'environnement. Ces inhibiteurs peuvent causer des dommages temporaires ou permanents au système d'organes tels que les reins ou le foie, ou de perturber le système enzymatique dans le corps humain.

En raison des préoccupations environnementales, les huiles et les extraits de plantes sont considérés de plus en plus comme une source d'inhibiteurs de corrosion verts. Ils sont utilisés pour la protection des métaux dans l'environnement salin, afin de remplacer les produits chimiques toxiques utilisés actuellement.

Le premier objectif de ce travail a consisté à obtenir l'huile essentielle de la menthe verte (*Mentha spicata*).

Le deuxième objectif était d'étudier les propriétés inhibitrices de l'huile essentielle obtenue sur l'aluminium pur dans une solution saline (NaCl 3 %) aérée. L'utilisation de l'eau de mer dans les circuits de refroidissement, dans les usines de dessalement d'eau de mer justifie le choix du milieu d'essai.

Ce manuscrit est constitué de quatre (04) chapitres.

Le premier chapitre est consacré à une présentation générale relative à la corrosion.

Le second chapitre se focalise autour d'une étude bibliographique exhaustive sur la menthe verte (*Mentha spicata*) et les inhibiteurs verts.

Le troisième chapitre présente les conditions expérimentales de cette étude ainsi que les différentes méthodes d'évaluation de l'inhibition de corrosion.

Les résultats expérimentaux sont présentés dans le quatrième chapitre, dans lequel, nous avons mis en évidence l'efficacité de l'inhibition de l'huile essentielle de la menthe verte (*Mentha spicata*) vis-à-vis de la corrosion de l'aluminium pur dans la solution NaCl 3 % aérée.

Enfin, l'ensemble de ce travail se résume par une conclusion générale.

Chapitre I

Aspects théoriques et revue bibliographiques

I.1. Introduction

La corrosion métallique est un phénomène de dégradation spontanée d'un matériau dans un environnement. Le phénomène de corrosion est essentiellement un phénomène électrochimique.

On observe différents types de corrosion : sèche, atmosphérique, sous contrainte, humide et biocorrosion. On se limite à la corrosion métallique en solution. Elle se traduit simultanément par réaction d'oxydation du métal et une réaction de réduction de l'agent corrosif ou oxydant [1, 2].

I.2. Notions de corrosion des métaux

Le terme de corrosion provient du latin corroder, qui signifie ronger, attaquer. La corrosion affecte tous les métaux. Elle résulte d'interactions physico-chimiques entre le matériau et son environnement entraînant des modifications de propriétés du métal souvent accompagnées d'une dégradation fonctionnelle de ce dernier (altération de ses propriétés mécaniques, électriques, optiques, esthétiques, etc.).

Comme toute réaction, une réaction électrochimique n'est possible sur le plan thermodynamique que lorsque le passage d'un état initial à un état final entraîne une diminution de l'enthalpie libre du système, si cette condition est nécessaire, elle n'est pas suffisante. La vitesse de la réaction doit être appréciable, autrement dit, sa cinétique ne doit pas être nulle. En milieu neutre et aéré (en eau salée par exemple), le produit de corrosion du fer est la rouille, $\text{Fe}(\text{OH})_3$ [3, 4].

La corrosion métallique est le phénomène suivant lequel les métaux et alliages ont tendance, sous l'action de réactifs chimiques ou d'agents atmosphériques, à retourner vers leur état originel d'oxyde, de sulfure, de carbonate ou de tout autre sel plus stable dans le milieu ambiant. C'est pourquoi, la corrosion est définie généralement comme une réaction interfaciale irréversible d'un matériau avec son environnement comme illustré dans la figure I.1 [5].



Figure II.1: Représentation de matériaux soumis aux phénomènes de corrosion [2].

I.3. Différents types de corrosion

Le processus de corrosion des métaux prend de nombreuses formes, qui sont classées principalement selon la forme qui se manifeste à la surface corrodée [6]:

- La corrosion uniforme,
- La corrosion localisée [7].

I.3.1. Corrosion uniforme

La corrosion uniforme ou généralisée est une perte de matière plus ou moins régulière sur toute la surface (Figure I.2), Elle se traduit par une dissolution uniforme de la surface métallique en contact avec l'agent agressif. Cette forme de corrosion est relativement facile à quantifier par des mesures de perte de masse ou d'épaisseur et sa progression sur une structure en service peut être suivie par des contrôles périodiques. Les concepteurs d'appareillages peuvent en tenir compte en prévoyant des surépaisseurs consommables par la corrosion. Ce type de corrosion est donc souvent peu dangereux même s'il peut être très coûteux [2].

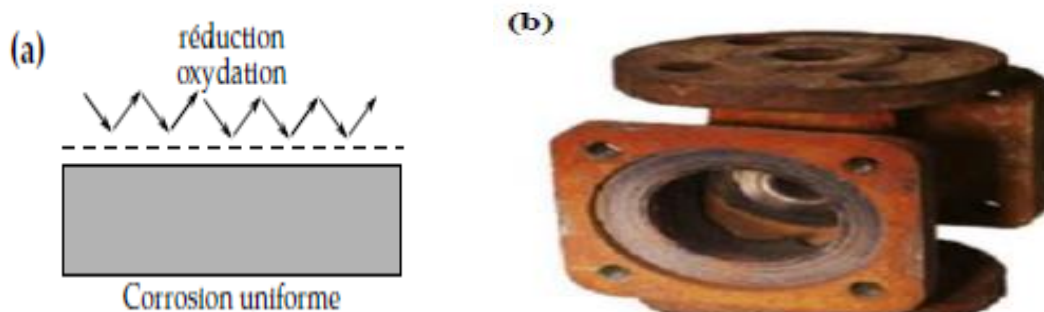


Figure I.2: a) La distribution homogène des demi-réactions anodiques et cathodiques génère une corrosion uniforme, b) Corrosion générale (rouille) d'une pièce en acier [8, 9].

I.3. 2. Corrosion localisée

La corrosion localisée survient sur une partie du métal à un taux bien supérieur au reste de la surface (Figure I.3), elle peut avoir plusieurs formes, De façon globale, Si la progression de la corrosion s'accomplit à une vitesse uniforme en tout point de la surface, on parle de corrosion uniforme. Si la progression des vitesses de corrosion est non homogène, on parle de corrosion localisée [2].

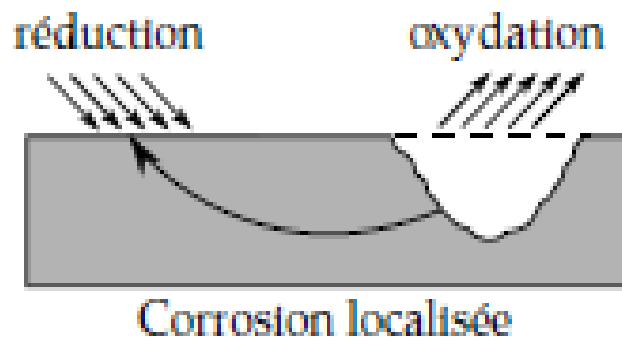


Figure I.3: Représentation schématique d'une corrosion localisée [8].

Les différentes formes de la corrosion localisée sont:

a) Corrosion par piqûres

La piqûration est un phénomène de corrosion qui survient lorsqu'une pièce est protégée contre la corrosion généralisée (par exemple, acier inoxydable ou aluminium). Il s'agit d'une corrosion localisée. En surface, on ne voit qu'un petit point, mais en dessous, il y a une cavité bien plus importante. Ceci entraîne à terme la perforation de la pièce et sa fragilisation.

La corrosion par piqûres se traduit par la formation, sur la surface du métal, de cavités aux formes irrégulières dont le diamètre et la profondeur varient suivant plusieurs paramètres propres au métal, au milieu et conditions de service (Figure I.4) [10]. Elle est produite généralement par la présence d'anions agressifs notamment les halogénures et plus particulièrement les chlorures, sur des métaux protégés par des films d'oxyde très minces. Le phénomène de piqûration est souvent difficile à prédire. Sa cinétique peut être élevée. La corrosion par piqûre représente donc un danger important pour le métal et sa fonctionnalité, d'où le grand nombre d'études qui lui sont consacrées [2].

Le potentiel de piqûre des alliages d'aluminium est en règle générale extrêmement bas. Il est ainsi très rare de pouvoir empêcher toute apparition de piqûre sur un alliage d'aluminium. La figure suivante présente un schéma simplifié de la corrosion par piqûre d'un alliage d'aluminium [1].

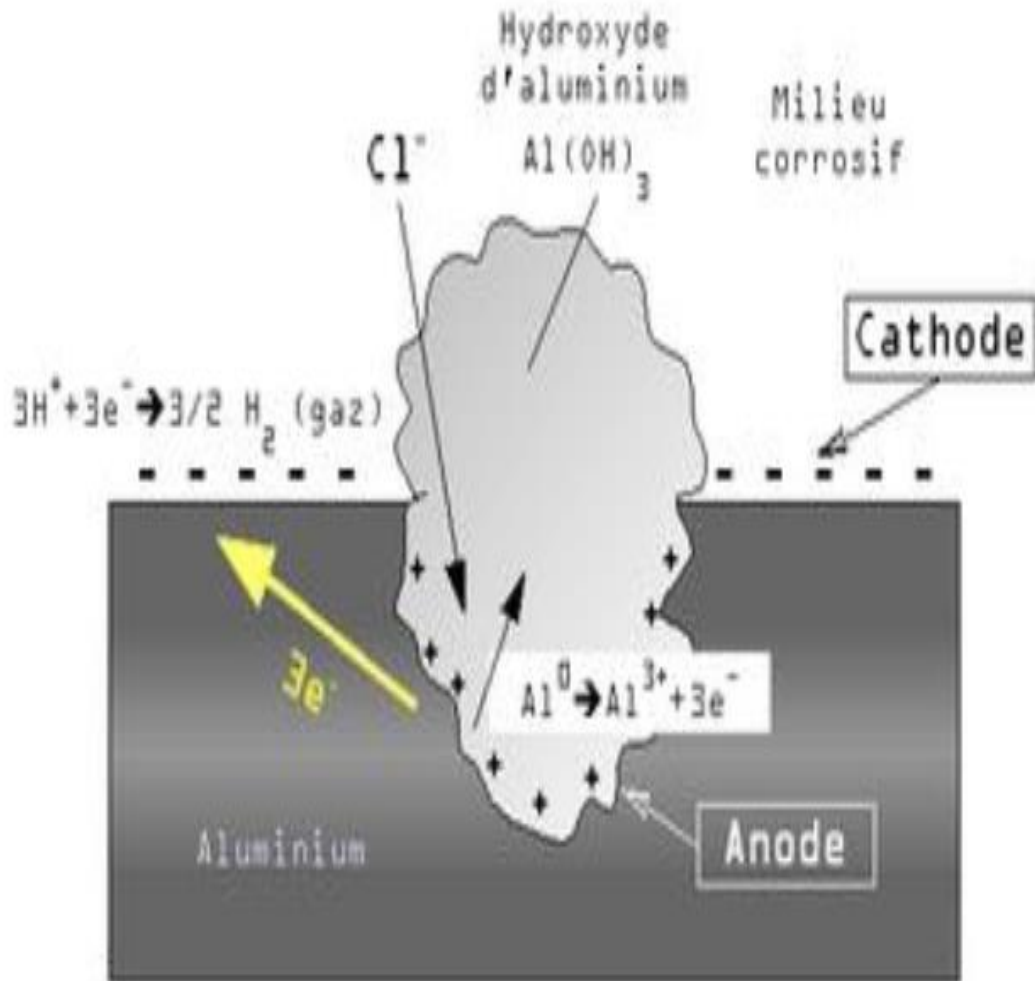
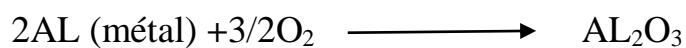


Figure I.4: Corrosion par piqûres de l'aluminium [1].

L'aluminium est naturellement recouvert d'une couche de protection ou d'une couche d'oxyde. Il s'agit d'une couche d'oxyde formée suivant la réaction [2].



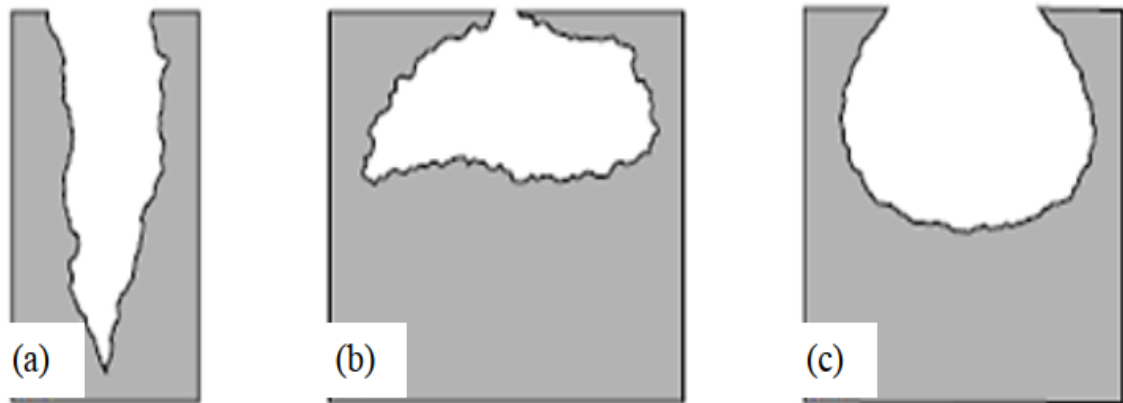


Figure I.5: Formes de piqûres (a) cavité profonde (b) cavité caverneuse (c) hémisphérique [11].

b) Corrosion sélective

Cette forme de corrosion est due à l'oxydation d'un composant de l'alliage, conduisant à la formation d'une structure métallique poreuse [6]. Cette corrosion ne se produit que si la teneur en éléments préférentiellement soluble (qui s'oxyde) dépasse un certain seuil. Le cas le plus connu sous cette forme de corrosion est le cas de la dézincification des laitons [12].

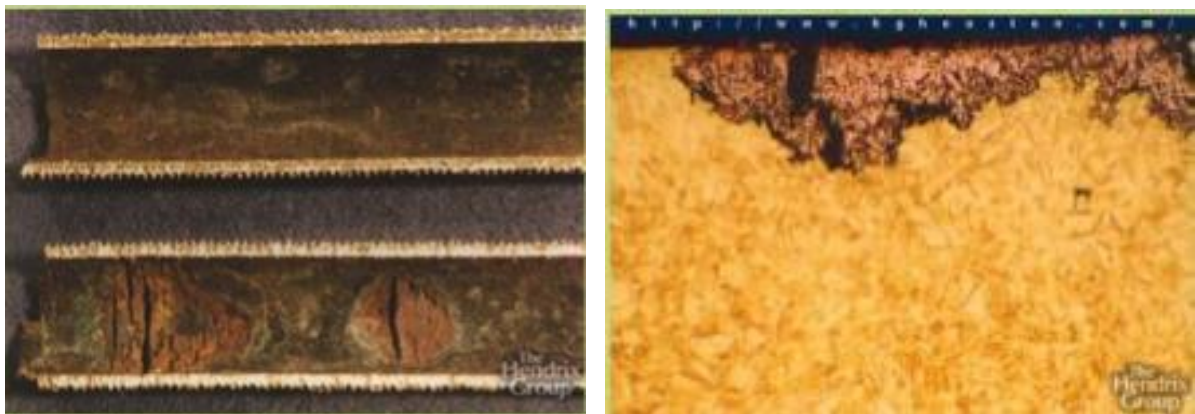


Figure I.6: Corrosion sélective du laiton (Cu-Zn) [2].

c) Corrosion caverneuse

La corrosion caverneuse ou corrosion par crevasses est une forme de corrosion par aération différentielle (différence d'accessibilité de l'oxygène entre deux parties d'une structure) créant ainsi une pile électrochimique. On observe une attaque sélective du métal

dans les fentes et autre endroits peu accessibles à l'oxygène [13]. La première recommandation pour éviter la corrosion caverneuse est d'optimiser la conception de votre pièce de façon à éviter toute caverne artificielle. Une caverne artificielle peut être créée par un joint mal fixé, une soudure non abrasée ou mauvaise, des dépôts, des interstices entre deux tôles etc [14].

d) Corrosion par érosion

La corrosion-érosion affecte de nombreux matériaux (aluminium, acier...) [6], Elle est due à l'action conjointe d'une réaction électrochimique et d'un enlèvement mécanique de matière.

Elle a souvent lieu sur des métaux exposés à l'écoulement rapide d'un fluide et se développe progressivement selon trois étapes (Figure I.7) [6].

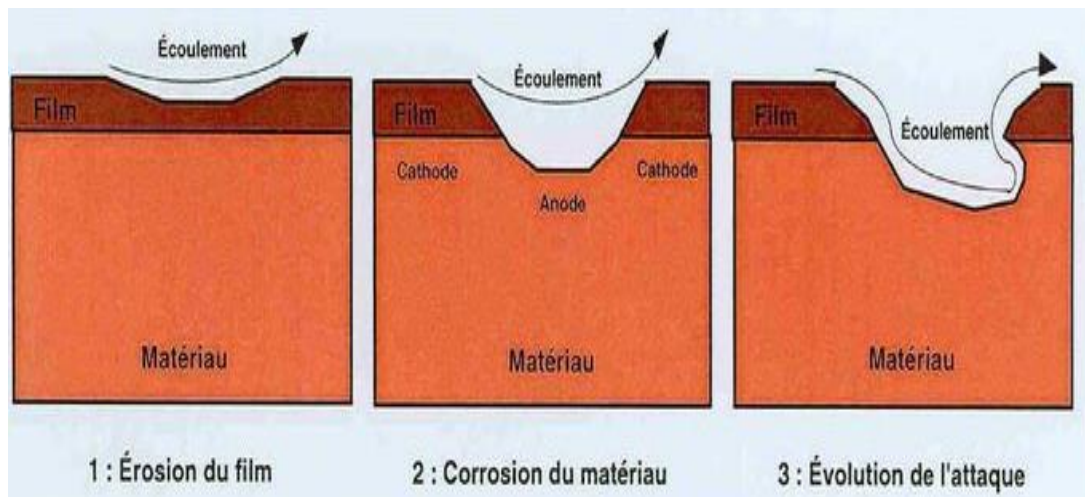


Figure I.7: Étapes de développement du phénomène de corrosion par érosion [9].

e) Corrosion galvanique

La corrosion galvanique, appelée également corrosion bimétallique, 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 à l'interface (Figure I.8) [9].

L'aluminium étant anodique par rapport à la plupart des métaux usuels, il est habituellement la victime dans des assemblages mixtes. L'aspect de la corrosion galvanique de l'aluminium est très caractéristique. Elle n'est pas dispersée comme la corrosion par piqûres mais, au contraire, très localisée dans la zone de contact avec l'autre métal. L'attaque de l'aluminium est régulière, et progresse en profondeur sous forme de cavernes plus ou moins arrondie. La zone affectée par la corrosion galvanique est souvent plus brillante que le reste de la surface. L'intensité de la corrosion galvanique de l'aluminium est d'autant plus forte que la conductivité de l'eau (ou sa salinité) est plus élevée. En d'autres termes, la corrosion galvanique est plus importante dans l'eau de mer que dans l'eau distillée. Tous les alliages d'aluminium peuvent subir de la même manière une corrosion galvanique [2].

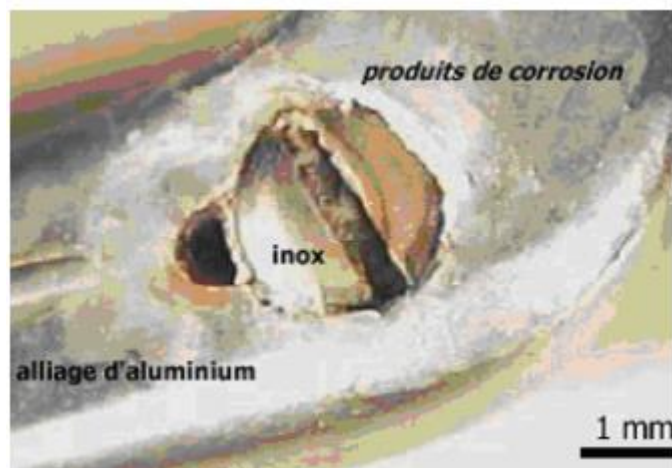


Figure I.8: Exemple caractéristique d'une corrosion d'un alliage d'aluminium par un couplage galvanique avec un acier inoxydable (une vis) [13].

f) Corrosion sous contrainte

La corrosion sous contraintes est une fissuration du métal qui résulte de l'action commune d'une contrainte mécanique et d'une réaction électrochimique [2].

Ce phénomène, particulièrement dangereux, se produit par effets combinés de 3 paramètres:

- ✓ La température : la corrosion sous contrainte se développant rarement en dessous de 50°C ;
- ✓ Les contraintes appliquées ou résiduelles subies localement par la pièce ;
- ✓ La corrosivité du milieu : présence de Cl, de H₂S ou des milieux caustiques NaOH et des milieux chlorurés [14].

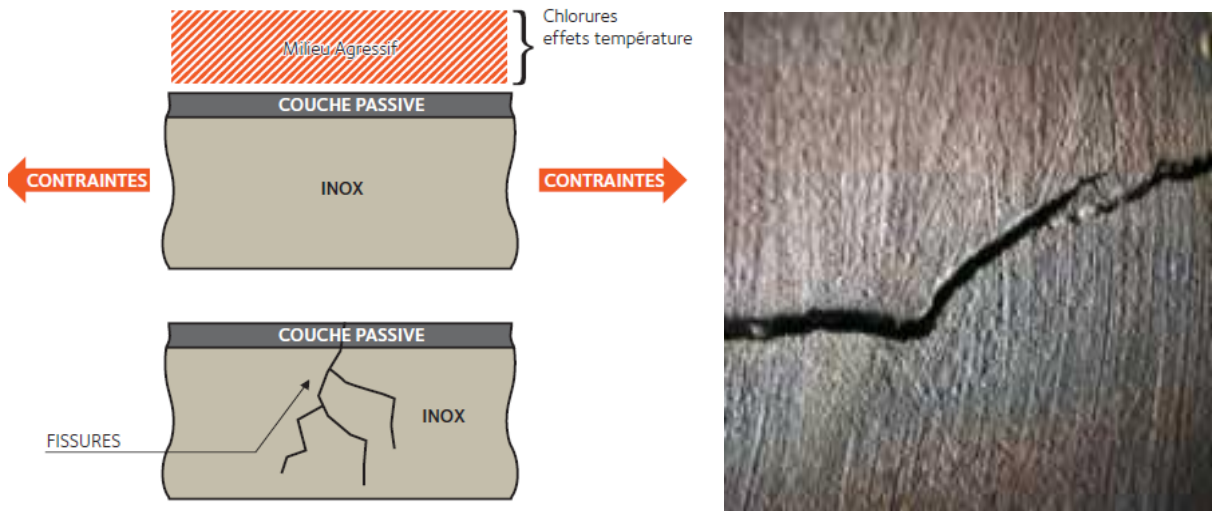


Figure I. 9: Corrosion sous contrainte [2].

g) Corrosion intergranulaire

C'est une forme de corrosion qui se propage dans le métal en consommant uniquement les zones associées aux joints de grains. Elle peut être liée à la structure atomique et à la composition des joints de grains en absence de précipitation (corrosion intergranulaire hors précipitation) ou à la décoration des joints de grains par une précipitation (corrosion intergranulaire liée à la précipitation d'une seconde phase) [15].

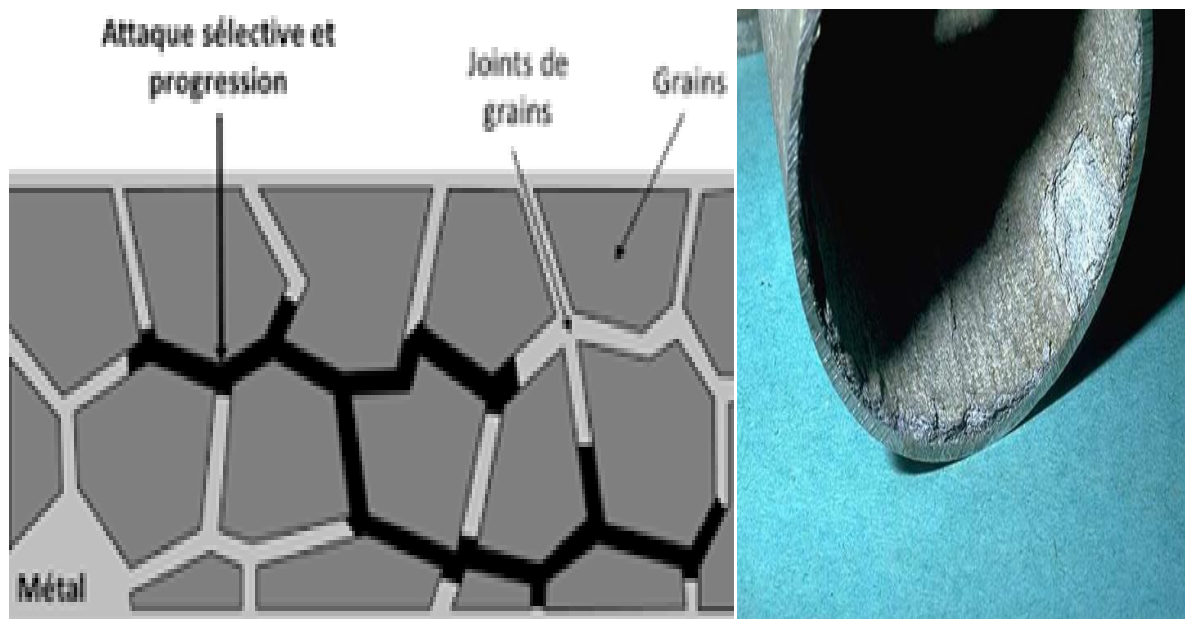


Figure I.10: Corrosion intergranulaire [2].

h) La corrosion filiforme

Généralement ce type de corrosion se produit dans certains revêtements sous forme de filaments distribués aléatoirement comme la peinture (Figure I.11) [2].



Figure I.11: Corrosion filiforme [2].

I.4. Classification des différents types de corrosion

I.4.1. Corrosion chimique

C'est une réaction hétérogène entre une phase solide (le métal) et une phase liquide ou gazeuse. Le processus d'oxydoréduction de la corrosion chimique se déroule dans le domaine atomique en absence d'électrolyte et, le plus souvent, à température élevée. Donc la corrosion purement chimique exclut le passage d'un courant électrique.

Lorsque le réactif est gazeux, la corrosion est dite sèche. Si le réactif est liquide, il est en général, accompagné d'une corrosion électrochimique. Donc on peut dire que la corrosion chimique est l'attaque du métal par son environnement [16, 17].

I.4.2. Corrosion biochimique

L'existence des organismes vivants dans la nature peut modifier localement les milieux et les rendre très agressifs, ce type de corrosion correspond à l'attaque directe ou indirecte des métaux par des bactéries. L'attaque bactérienne apparaît en particulier dans les canalisations enterrées, les structures immergées et les pipelines pétroliers [18, 19].

I.4.3. Corrosion électrochimique

C'est l'attaque des métaux dans les électrolytes en raison de l'existence d'une hétérogénéité dans le système (métal-réactif), il s'agit de l'ensemble des réactions d'oxydoréductions, qui l'entraîne à la formation de micro piles anode-cathode, le courant débite une différence de potentiel existant entre l'anode et la cathode et les zones qui constituent les anodes sont attaquées. La quantité de courant qui traverse cette pile est proportionnelle à la quantité de métal qui se corrode [18].

I.5. Facteurs de corrosion

La tenue à la corrosion d'un matériau est en fait conditionnée par le comportement du système métal / environnement. Vu la diversité des facteurs de la corrosion on peut les résumer dans le tableau I.1.

Tableau I.1 : Les principaux facteurs de corrosion.

Facteurs du milieu corrosif	Facteurs métallurgiques	Facteurs définissant les conditions d'emploi	Facteurs dépendants du temps
<ul style="list-style-type: none"> • Concentration du réactif • Teneur en oxygène • pH du milieu • Température • Pression 	<ul style="list-style-type: none"> • Composition de l'alliage • Procèdes d'élaboration • Impuretés 	<ul style="list-style-type: none"> • Etat de surface • Forme des pièces • Emploi d'inhibiteur • Procèdes d'assemblage 	<ul style="list-style-type: none"> • Vieillessement • Tensions mécanique • Modification des revêtements protecteurs

La vitesse de corrosion d'un métal dans un milieu corrosif dépend à la fois des caractéristiques de ces 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 CO₂ [20, 21].

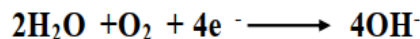
I.6. Paramètres influençant la corrosion de l'aluminium

I.6.1. 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 [22].

I.6.2. Teneur en oxygène

L'oxygène est un oxydant et un facteur de corrosion en ce sens qu'il dépassive les cathodes en conservant la réaction cathodique.



Ce qui a comme conséquence de favoriser la réaction d'oxydation à l'anode, c'est-à-dire la corrosion. Avec l'aluminium, ce n'est pas aussi simple parce que la corrosion est régie par le film d'oxyde naturel, lequel a besoin d'oxygène pour se reconstituer [23].

I.6.3. Hétérogénéité du métal

La vitesse de la corrosion peut être fortement influencée par la composition du métal, si nous considérons généralement qu'un métal pur se corrode moins vite qu'un de ses alliages. Pour l'aluminium, et contrairement à ce qui est parfois avancé, la « pureté » n'améliore pas la tenue à la corrosion de ce dernier. Le métal à très bas titre en fer et en silicium (1199) n'a pas une meilleure tenue à la corrosion atmosphérique que le 1070 ou le 1050. Il faut des titres en fer et en silicium beaucoup plus élevés (Fe > 0,50 et Si > 0,25), comme on en trouvait souvent jusqu'à la fin des années 1940, pour que la tenue à la corrosion soit modifiée

De plus la présence d'un traitement thermique, par exemple présence de soudure, accélère la corrosion de la conduite. En effet, des attaques anodiques apparaissent le long du cordon de soudure et peuvent conduire à la perforation de la conduite [24].

I.6.4. 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 [22].

I.7. Protection contre la corrosion

I.7.1. Protection par revêtements

Les peintures sont des mélanges de pigment insoluble en suspension dans un véhicule organique continu. Les pigments se compose généralement d'oxydes métalliques, par exemple TiO_2 , Pb_3O_4 , Fe_2O_3 ou d'autres composés tel que : ZnCrO_4 , PbCO_3 , BaSO_4 , etc. Une bonne peinture doit remplir les conditions suivantes [1]:

1. Inhiber la corrosion : les pigments incorporés dans le revêtement initial (revêtement immédiatement adjacent au métal) doivent être de bons inhibiteurs de corrosion.
2. Assurer une bonne barrière de diffusion à la vapeur.
3. Durer longtemps et coûter peu.

I.7.2. La protection électrochimique

Pour effectuer la protection électrochimique d'un métal, on modifie son potentiel de dissolution. On parle alors de protection cathodique ou anodique [1].

a) Protection cathodique

La protection cathodique est également une technique pour contrôler la corrosion d'une surface métallique en transformant cette surface en la cathode d'une cellule électrochimique. La protection cathodique est utilisée pour protéger les structures métalliques de la corrosion, notamment l'acier, les gazoducs, les oléoducs, les canalisations d'eau, les réservoirs, les piliers métalliques des jetées, les navires, les plateformes pétrolières ou encore les structures en béton armé.

b) Protection anodique

Certains métaux tels que le fer et les aciers inoxydables peuvent aussi être protégés efficacement en les plaçant en anode et en augmentant leur potentiel dans le domaine passif de la courbe de polarisation anodique.

La protection anodique a trouvé une application dans la protection des réservoirs contenant en particulier de l'acide sulfurique, la méthode est applicable aussi à d'autres acides.

c) Protection par anode sacrificielle

Un métal plus corrodable (Al, Mg, Zn....) est intégré dans la structure en contact électrique avec le métal à protéger. Le courant I_{protec} est fixé par l'intersection des droites cathodiques du métal et anodiques de l'anode. L'anode se consomme et se change régulièrement (coques de bateaux, chauffe-eau....) [25].

I.7.3. Protection par inhibition

Les inhibiteurs de corrosion sont des substances qui, ajoutées en très faible quantité dans le milieu corrosif, diminuent la vitesse de corrosion en modifiant la nature de l'interface : substrat métallique/électrolyte [26].

On peut classer les inhibiteurs de différentes façons :

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

I.8. Généralités sur l'aluminium

L'aluminium est un métal très répandu sur la terre, c'est le troisième élément après l'oxygène et le silicium. Les bauxites qui sont des roches riches en aluminium.

La première apparition de l'aluminium était en 1854 lors d'une présentation à l'académie des sciences par le chimiste français Sainte-Claire Deville, sous la forme d'un lingot. Cette pièce avait été obtenue par voie chimique. En 1886 il y'a eu l'invention du procédé d'électrolyse l'aluminium par Paul Héroult (France) et Charles Martin Hall (USA).

Depuis, l'aluminium a connu un développement très important grâce notamment à son utilisation dans les industries ayant attrait au transport: aviation, automobile, marine .Il est aussi employée dans l'emballage, le bâtiment, l'électricité, la mécanique... [27].

I.9. Production de l'aluminium

L'aluminium est produit par électrolyse de l'alumine dans de la cryolithe (Na_3AlF_6) fondue, à environ 1000°C dans une cuve comportant un garnissage intérieur en carbone. L'aluminium se dépose au fond de la cuve avec un titre de 99,7% (les principales impuretés étant le fer et le silicium). Plusieurs procédés de raffinage permettent d'obtenir un titre plus élevé sachant que pour fabriquer une tonne d'aluminium, il faut deux tonnes d'alumine et quatre tonnes de bauxite.

I.10. Principales caractéristiques d'aluminium

En tonnage, la production d'aluminium ne représente que 2% environ de celle des aciers. Cependant, ce métal et ses alliages arrivent en seconde position dans l'utilisation des matériaux métalliques. L'aluminium doit cette place à un ensemble de propriétés qui en font un matériau remarquable. L'aluminium et ses alliages prennent encore aujourd'hui une place importante dans les différents domaines de l'industrie. Son utilisation s'accroît de jour en jour grâce à ses propriétés particulières.

I.10.1. Masse volumique

La masse volumique de l'aluminium est de 2700 kg/m³. L'utilisation de l'aluminium s'impose donc dans les domaines de la construction aéronautique et du transport.

I.10.2. Résistance à la fatigue

La courbe de WÖHLER ne présente pas de coude marqué et l'asymptote horizontale n'est atteinte que vers 10⁸ cycles. En général, le coefficient d'endurance est de l'ordre de 0.5 pour les alliages non trempant, 0.25-0.3 pour les alliages trempant.

I.10.3. Résistance à la corrosion

La très bonne tenue à la corrosion de l'aluminium explique le développement de ses nombreuses applications dans le bâtiment, les transports, l'équipement du territoire, la

construction navale... milieux dans lesquels les conditions d'emploi peuvent être sévères. La tenue à la corrosion dépend des paramètres suivants :

- le métal lui-même : sa composition, son état métallurgique, l'état de surface
- les caractéristiques du milieu dans lequel il est exposé : humidité, température, présence d'agents agressifs...
- les conditions de services prévues
- Le mode d'assemblage éventuel des structures, les dispositions constructives
- La durée de vie espérée, la fréquence d'entretien

Il n'y a pas de métal ou d'alliage universel du point de vue tenu à la corrosion. Pour un même matériau, toutes les nuances n'ont pas la même résistance aux différentes formes de corrosion [28].

I.10.4. Propriétés physique de l'aluminium

Les principales propriétés physiques de l'aluminium non allié sont résumées dans le tableau I.2.

Tableau I.2: Propriétés physiques de l'aluminium [29].

Propriété	Unité	Valeur	Remarque
Numéro atomique		13	
Masse volumique ρ	Kg . m ⁻³	2 698	
Point de fusion	°C	660.45	sous 1013 10 ⁻³ bar
Point d'ébullition	°C	2 056	sous 1013 10 ⁻⁴ bar
Pression de vapeur	Pa	3.7 10 ⁻³	à 927 °C
Energie interne massique u	J . kg ⁻¹	3.98 . 10 ³	
Capacité thermique massique C_p	J . kg ⁻¹ . K ⁻¹	897	à 25°C
Conductivité thermique λ	W . m ⁻¹ . K ⁻¹	237	à 27 °C
Coefficient de dilatation linéique α_L	10 ⁻⁶ K ⁻¹	23.1	à 25°C
Résistivité électrique ρ	10 ⁻⁹ Ω . m	26.548	à 25°C
Susceptibilité magnétique K		0.6 . 10 ⁻³	à 25°C
Module d'élasticité longitudinal E	MPa	69 000	
Coefficient de poisson ν		0.33	

I.11. Les domaines d'utilisation de l'aluminium

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

Une grande quantité d'alliages d'aluminium est dépensée à la fabrication de rivets et de boulons. Dans le bâtiment, l'aluminium présente de nombreux atouts en termes de développement durable :

- sa légèreté permet d'alléger les structures,

- la rigidité et sa facilité de mise en forme permettent des réalisations techniques performantes pour longtemps : profilés à coupure thermique, fenêtres ou menuiseries durablement étanches, garantissant une parfaite isolation thermique et acoustique, intégration aux façades de châssis de panneaux solaires pour la production d'électricité renouvelable, etc...
- sa résistance à la corrosion réduit les travaux de maintenance et étend la durée de vie des constructions
- ininflammable, non toxique au contact, non émetteur de poussière ni de vapeur, l'aluminium dans le bâtiment est un matériau sain et sûr.

L'aluminium est 100% recyclable. Dans les secteurs du bâtiment et du transport, le taux d'aluminium récupéré et recyclé atteint 95%.

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

- il permet une importante économie de ressource,
- il n'utilise que 5% de l'énergie nécessaire à la production primaire,
- il émet 95% de gaz à effet de serre en moins [29].

I.12. Diagrammes d'équilibre électrochimique de Pourbaix

Le diagramme E-pH de l'aluminium figure I.5 illustre bien la propriété amphotère du métal, il est attaqué en milieu acide avec formation d' Al^{+3} , et en milieu alcalin avec formation d'aluminates AlO^{-2} .

Il faut noter qu'il s'agit de diagrammes d'équilibre qui permettent de déterminer les espèces stables, leur corrosion, le domaine de stabilité et le sens des réactions possibles. Ils ne permettent pas de prévoir la vitesse éventuelle. La portée de ces diagrammes est restreinte par le fait qu'ils sont tracés dans un liquide « idéal », l'eau chimiquement pure, à 25°C, pour un métal aussi pur que possible, jamais pour un alliage. Ils ne tiennent pas compte de la présence éventuelle de chlorures dont le rôle est important dans la corrosion par piqûres, ni de la nature de l'acide et de la base qui modifie le pH. Ils n'indiquent pas les risques de corrosion « cathodique » dans les domaines d'immunité quand le potentiel est très électronégatif. Cela tient à la méthode qui est basée sur des données thermodynamiques et non sur des données cinétiques [30-31].

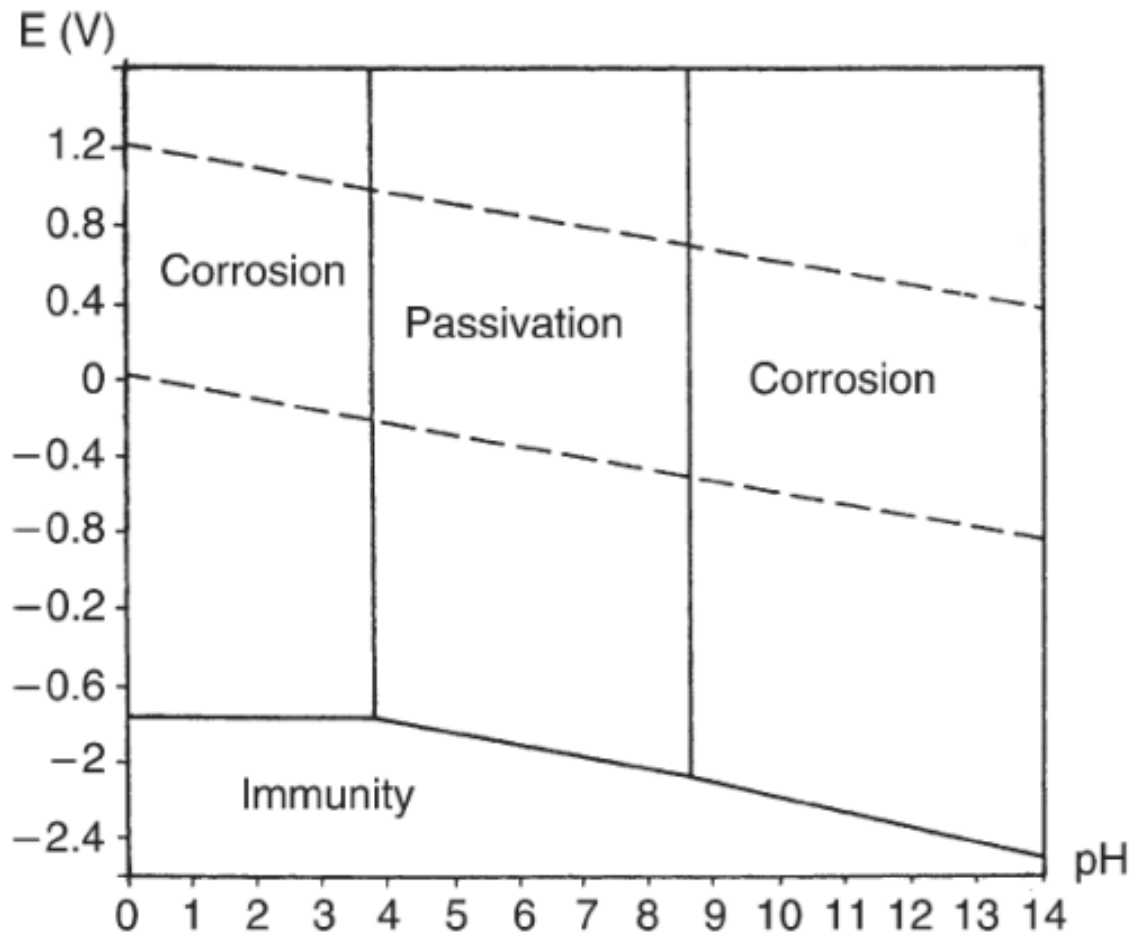


Figure I.12: Diagramme d'équilibre E-pH de l'aluminium [32].

Chapitre II

Les huiles essentielles et les inhibiteurs

II.1. Généralité sur l’Inhibition de la corrosion

D’après “National Association of Corrosion Engineers (NACE)” : un inhibiteur est une substance qui retarde la corrosion lorsqu’elle est ajoutée à un environnement en faible concentration.

Il s’agit d’un moyen original de lutte contre la corrosion ; on ne traite pas directement le métal, mais on intervient par l’intermédiaire du milieu. Les inhibiteurs de corrosion sont des composés qui modifient les réactions électrochimiques sans toutefois y participer eux-mêmes.

II.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 compatible avec les normes de non-toxicité ;
- Être peu onéreux [33].

II.3. Les classes d’inhibiteurs

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

II.3.1. Classification par domaine d’application

II.3.1.1. Inhibition en milieu acide

Les inhibiteurs en milieu acide sont employés pour éviter l’attaque de l’acier lors du décapage acide. Dans l’industrie pétrolière, on les ajoute aux fluides de forage. Les inhibiteurs les plus fréquemment utilisés sont des molécules de type organique [34]. Ces molécules

s'adsorbent à la surface du métal et ralentissent ainsi la corrosion. Elles contiennent une partie non polaire, hydrophobe et relativement volumineuse, constituée principalement d'atomes de carbone et d'hydrogène, et une partie polaire hydrophile, constituée d'un ou plusieurs groupes fonctionnels, tels $-NH_2$ (amine), $-SH$ (mercaptan), $-OH$ (hydroxyle), $-COOH$ (carboxyle), $-PO_3$ (phosphate), et leurs dérivés. La molécule se lie (par adsorption) à la surface du métal avec son groupe fonctionnel, alors que sa partie non polaire bloque partiellement la surface active.

D'autres inhibiteurs forment des complexes peu solubles avec les ions métalliques provenant de la dissolution. Ces complexes précipitent à la surface et forment des couches superficielles ralentissant ainsi la dissolution du métal [35].

II.3.1.2. Inhibition en milieu neutre

La corrosion en milieu neutre est normalement due à l'oxygène dissous. Les risques d'une attaque diminuent si l'on empêche l'oxygène d'accéder à la surface (inhibition cathodique). Alternativement, on peut diminuer la vitesse de la réaction partielle anodique en rendant le métal passif (inhibition anodique). On peut encore inhiber la corrosion par des substances, telles que les benzoates, les tartrates ou les salicylates etc. qui s'adsorbent à la surface et bloquent les sites de réaction. [36].

II.3.1.3. Inhibition par passivation

Elle sert notamment à protéger l'acier dans les circuits d'eau de refroidissement. Ce type d'inhibition peut être obtenu par les inhibiteurs oxydants et les agents tampons qui maintiennent le pH élevé au voisinage de la surface du métal [36].

II.3.1.4. Inhibition par précipitation

En milieux neutres, de nombreux inhibiteurs forment des couches superficielles par précipitation, tels que les polyphosphates ($NaPO_3$) et les organo-phosphates. Agissant principalement sur la réaction cathodique (barrière de diffusion), ils réduisent la vitesse de corrosion en présence d'oxygène [36].

✚ Inhibition en phase gazeuse

Les inhibiteurs pour phases gazeuses sont généralement employés pour une protection temporaire de différents objets emballés pendant le transport et le stockage tels les instruments de précision, les composants électroniques, les machines, etc. Il s'agit le plus souvent de composés organiques ayant une pression de vapeur élevée, notamment certaines amines. Ces composés s'adsorbent sur la surface métallique et la protègent contre la corrosion atmosphérique [37].

✚ Inhibiteurs pour peintures

L'utilisation de ce type d'inhibiteurs permet la formation d'une barrière physique entre le milieu agressif et le métal à protéger. Les peintures contiennent des pigments inorganiques ou des tanins qui agissent comme inhibiteur de corrosion [36].

II.3.2. Classement selon la nature de la molécule inhibitrice

II.3.2.1. Les inhibiteurs organiques

Les molécules organiques sont de plus en plus utilisées pour le développement des inhibiteurs de corrosion: leur utilisation est actuellement préférée à celle d'inhibiteurs inorganiques pour des raisons d'écotoxicité essentiellement. Les inhibiteurs organiques sont généralement constitués de sous-produits de l'industrie pétrolière. Ils possèdent au moins un centre actif susceptible d'échanger des électrons avec le métal, tel que l'azote, l'oxygène, le phosphore ou le soufre. Les groupes fonctionnels usuels, permettant leur fixation sur le métal, sont :

- Le radical aminé (-NH₂),
- Le radical mercapto (-SH),
- Le radical hydroxyle (-OH),
- Le radical carboxyle (-COOH) [38].

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'action inhibitrice de ces composés organiques, qui est généralement indépendante des processus anodiques et cathodiques de corrosion, est liée à la formation (par adsorption)

d'une barrière plus ou moins continue, mais d'épaisseur finie, qui empêche l'accès de la solution au métal. Ce mécanisme d'action sera développé plus en détail par la suite. L'une des limitations dans l'utilisation de ces produits peut être l'élévation de la température, les molécules organiques étant souvent instables à haute température.

II.3.2.2. Les inhibiteurs minéraux

Les molécules minérales sont utilisées le plus souvent en milieu proche de la neutralité, voire en milieu alcalin et plus rarement en milieu acide. Les produits se dissocient en solution et ce sont souvent leurs produits de dissociation qui assurent les phénomènes d'inhibition (anions et Ca^{2+} , Zn^{2+} cations) [39]. Les cations inhibiteurs sont essentiellement ceux qui forment des sels insolubles avec certains anions tels que l'hydroxyle (OH^-) [38].

Les principaux anions inhibiteurs sont les oxo-anions de type XO_4 tels que les chromates, les molybdates, les phosphates, les silicates [2].

II.3.3. Classement selon le mode d'action

Il n'existe pas un mode d'action unique pour les inhibiteurs de corrosion. Un même composé, peut avoir différents mécanismes d'action. Ces derniers sont imposés par le milieu corrosif et la nature du métal à protéger [40].

La corrosion étant un processus essentiellement électrochimique, l'action de l'inhibiteur ne peut se faire qu'au niveau d'une des étapes des réactions élémentaires (transport d'espèces en solution, formation d'intermédiaires superficiels, adsorption des espèces à la surface des phases solides et transfert de charges électroniques) (Figure II .1.) [40].

L'intervention de l'inhibiteur de corrosion dans le processus de transport des espèces électro-actives (oxygène, protons, produits de réactions) au sein de la solution étant peu probable, le mécanisme d'action d'un inhibiteur est le plus souvent à rechercher au voisinage immédiat de la surface du métal (au contact du métal) [41].

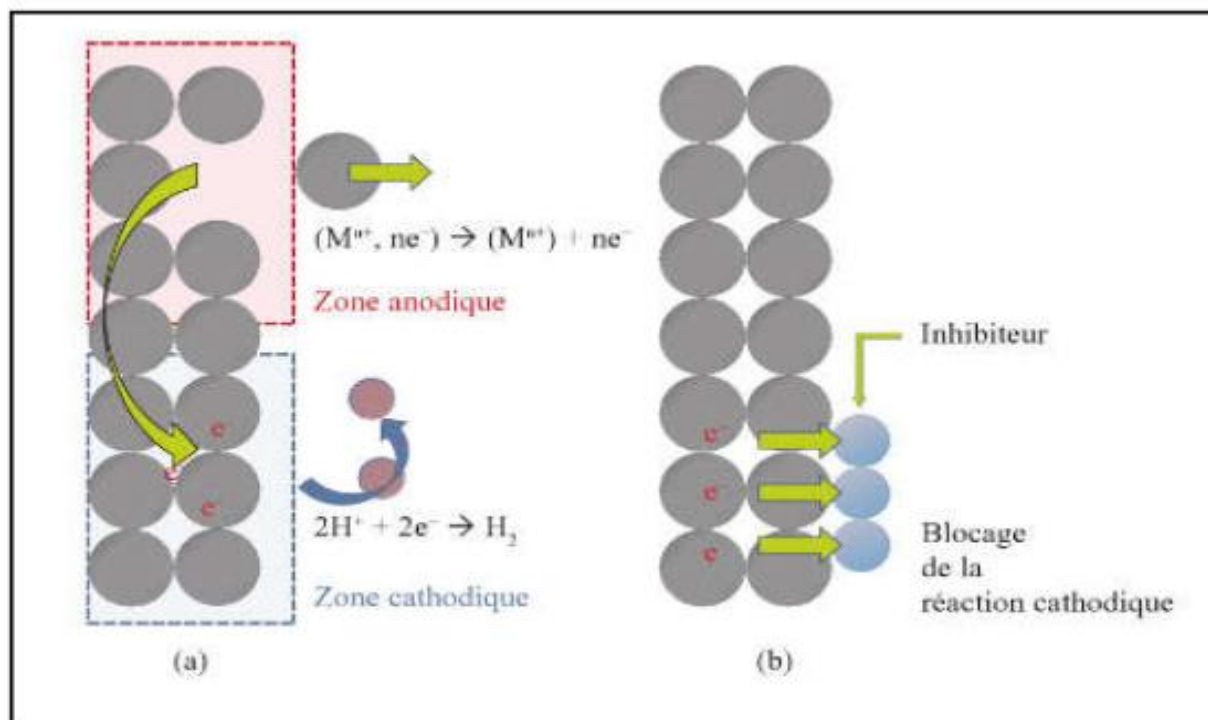


Figure II.1: Représentation du processus d'inhibition cathodique, (a) sans inhibiteur, (b) avec inhibiteur [42].

II.4. Les facteurs affectant la performance des inhibiteurs

II.4.1. Effet de la température

Avec l'augmentation de la température, la vitesse de corrosion des métaux augmente et l'efficacité de la plupart des inhibiteurs diminue à cause de diminution de recouvrement de la surface de métal par les inhibiteurs adsorbés. Mais, en présence de certains inhibiteurs, par exemple, sulfure de dibenzyle, le dibenzyl-sulfoxyde, l'aniline et la gélatine, la vitesse de corrosion est réduite [43].

Une courbe de type Arrhenius (\ln (vitesse de corrosion) en fonction de $1/T$) est souvent linéaire en présence d'inhibiteurs, comme dans le système désinhibé.

II.4.2. Effet de la concentration d'inhibiteur

Les lois de variation de la quantité adsorbée en fonction de la concentration en inhibiteur peuvent souvent être représentées par les isothermes classiques suivantes:

- **Isotherme d'adsorption de 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 [44]. Dans notre cas, la vitesse d'adsorption est proportionnelle à la concentration en inhibiteur C_{inh} et à la fraction de sites d'adsorption non occupée $(1-\theta)$.

$$V_{ads} = k_{ads} (1-\theta) C_{inh} \quad \text{II.1}$$

Inversement, la vitesse de désorption est proportionnelle à la fraction de sites occupés par le gaz adsorbé:

$$V_{des} = k_{des} \theta \quad \text{II.2}$$

A l'équilibre, les deux vitesses sont égales.

$$k_{ads} (1-\theta) C_{inh} = k_{des} \theta \quad \text{II.3}$$

Un réarrangement donne la fraction de sites occupés, aussi appelée taux de recouvrement de la surface :

$$\theta = \frac{K C_{inh}}{1 + K C_{inh}} \quad \text{II.4}$$

Dans cette équation, K désigne le coefficient d'adsorption.

- **Isotherme d'adsorption de Temkin :**

$$\theta = -\frac{\ln K}{2a} - \frac{\ln C}{2a} \quad \text{II.5}$$

- **Isotherme d'adsorption de Frumkin :**

$$\ln \left[\frac{\theta}{C(\theta - 1)} \right] = \ln(K) + 2a\theta \quad \text{II.6}$$

Où a est une constante d'interaction entre particules adsorbées.

Lorsqu'un métal est en contact avec un électrolyte, on observe également une séparation de charges. La distribution des charges à l'interface dépend alors de nombreux facteurs: propriétés électroniques du solide, adsorption de molécules d'eau ou de cations hydratés et chimisorption d'anions. On appelle double couche électrique, ou simplement double couche, la zone d'interface contenant une séparation de charges. Selon le potentiel appliqué, la charge du métal peut être positive ou négative par rapport à l'électrolyte. La composition de la double couche dépend donc du potentiel et de la nature chimique des ions présents, mais la neutralité électrique reste une condition toujours valable.

La figure II.2 montre le schéma d'une telle région, dans un cas où l'excès de charges négatives se trouve dans le métal [45].

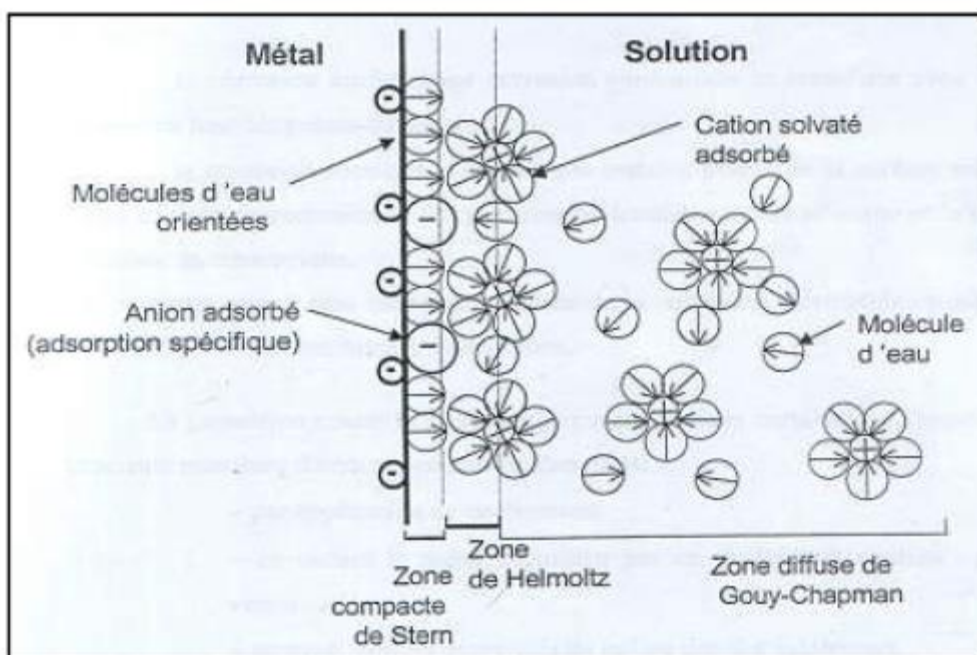


Figure II.2: Modèle de la double couche interfaciale métal/solution [33].

Par définition, la double couche correspond à la région interfaciale où il se produit une séparation des charges. Sa neutralité électrique exige qu'en valeur absolue la charge du métal par unité de surface équivaut à celle de l'électrolyte adjacent et que leur signe soit opposé. Le

comportement électrique d'une interface métal-électrolyte s'apparente ainsi à une capacité branchée en parallèle avec une résistance appelée résistance de transfert de charges [33].

II.4.3. Vitesse d'écoulement

La performance d'inhibiteurs est généralement affectée par une forte agitation. La vitesse de corrosion augmente avec l'augmentation de la vitesse d'écoulement.

Une relation linéaire a été observée entre la vitesse du fluide et la vitesse de corrosion de l'acier au carbone en milieu HCl en présence des inhibiteurs commerciaux [43].

II.4.4. La nature de métal

L'action des inhibiteurs est sélective et dépend de la nature de métal à protéger, sa composition et son traitement métallurgique. Un inhibiteur qui est très efficace pour un métal peut ne pas être satisfaisant pour un autre. De nombreux inhibiteurs pour les métaux ferreux sont inefficaces pour les métaux non ferreux comme le zinc et l'aluminium. Toutefois, certains inhibiteurs ou leurs mélanges protègent plus d'un métal [43].

II.4.5. L'électrolytes

La nature de l'électrolyte a un effet considérable sur la protection des inhibiteurs. Par exemple, la quinoléine et les amines retardent la vitesse de corrosion des aciers en milieu acide chlorhydrique beaucoup plus fortement que dans l'acide sulfurique [43].

II.4.6. Le pH

De nombreux inhibiteurs deviennent satisfaisants à un pH inférieur ou supérieur à pH optimum. Par exemple, le benzoate de sodium n'est pas efficace dans des électrolytes avec pH inférieur à 5,5 [43].

II.5. L'inhibition de la corrosion par les substances naturelles

De nombreux inhibiteurs utilisés aujourd'hui sont soit synthétisés à partir de matières premières peu coûteuses ou proviennent de composés organiques ayant des hétéroatomes tels que l'azote, le soufre, le phosphore ou l'oxygène dans leur système aromatique ou dans leur

chaîne carbonée. Cependant, la plupart de ces substances anticorrosive sont toxiques vis à vis des êtres humains et de l'environnement. Ces inhibiteurs peuvent notamment causer des dommages temporaires ou permanents du système nerveux, mais également des perturbations du processus biochimique et du système enzymatique de notre organisme [44]. Ces inhibiteurs n'étant pas biodégradables, ils causent également des problèmes de pollution. En conséquence, ces lacunes ont orienté la recherche dans la direction des substances naturelles qui peuvent également offrir des propriétés inhibitrices vis-à-vis des métaux et des alliages.

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...) écologiques, aisément disponibles et renouvelables.

II.6. Généralité sur la plante menthe verte (*Mentha spicata*)

La menthe verte (*Mentha spicata*) est une plante vivace de la famille des Lamiacées qui porte aussi différents noms comme la « menthe en épi », la « menthe douce ». Cette espèce peut atteindre 60 cm de hauteur.

II.7. Description botanique de la menthe verte (*Mentha spicata*)

La menthe verte est une plante vivace, robuste, de 50 cm à 1 mètre, d'un vert sombre, à odeur suave très pénétrante. Les feuilles sont opposées persistantes, sur les 2 faces, glabres ou presque glabres. L'implantation des feuilles est paripennée et décussées (avec un angle de 90°). C'est une plante vivace aux feuilles vertes, opposées, courtes, oblongues et aux tiges quadrangulaires le plus souvent violacées.

La tige de la menthe verte est dite quadrangulaire (carrée) ascendante (orthotrope). Elle est de couleur pourpre. La taille de la menthe verte peut atteindre au maximum une hauteur de 1,20 mètre mais en moyenne varie entre 0,30 et 0,60 m. La menthe verte est une plante à rhizomes traçants.

La racine est une racine pivotante qui dure plus de 3 ans. On les trouve en dessous de chaque pied, des rhizomes (tiges souterraines) servent à la propagation de la plante (Fig.II. 3) [45, 46].



Figure II.3: La morphologie de la menthe verte (*Mentha spicata*) [45].

La menthe verte pousse essentiellement sur les terrains riches profonds et frais, elle n'aime pas les sols calcaires. On la trouve surtout en basse altitude dans les régions tempérées entre 400 et 1800 mètres. Elle préfère les lieux ensoleillés à semi ombragés.

La menthe verte fleurit de la fin du printemps au début de l'automne (de juin à septembre/octobre), parfumée et mellifère. Ses feuilles sont persistantes (Fig.II.4).

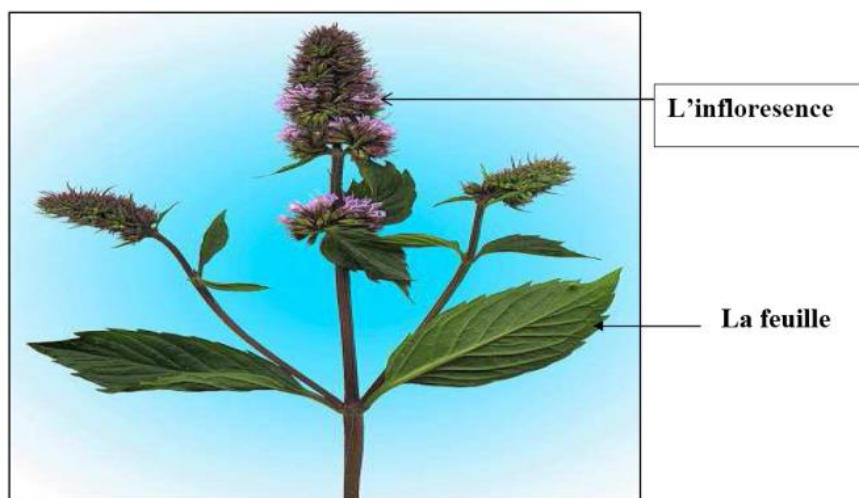


Figure II.4: Inflorescence et feuille de la menthe verte [46].

II.8. Les espèces de menthe

Il existe de nombreuses variétés de menthe, les plus connues étant la menthe verte, la menthe poivrée, la menthe pouliot et la menthe citronnée. Selon les variétés, les feuilles vous offriront toute une palette de parfums (Figure II.5), les principales espèces sont [46]:

- Menthe poivrée « *Mentha piperita* ».
- Menthe pouliot « *Mentha pulegium* ».
- Menthe à feuilles rondes « *Mentha rotundifolia* ».
- Menthe aquatique « *Mentha aquatica* ».
- Menthe des champs « *Mentha arvensis* ».
- Menthe java « *Mentha javanica* ».
- Menthe du canada « *Mentha canadensis* ».
- Menthe ccépue « *Mentha spicata* ».
- Menthe bergamot « *Mentha citrata* ».



Figure II.5: Inflorescence et feuille de la menthe verte [47].

II.9. Répartition géographique de la menthe dans le monde

Les espèces de cette famille sont des arbres, des arbustes résistant à la chaleur, au froid et à la salinité puisqu'elles existent en abondance sur les bords de la mer méditerranée [48]. On les rencontre surtout dans les régions tropicales à subtropicales et dans les régions tempérées de l'hémisphère Nord. Elles occupent une répartition géographique de distribution tropicale ou subtropicale, qui compte quatre régions phytogéographiques : méditerranéenne, iranotouranienne, sino-japonaise et mexicaine (Figure II.6) [49- 50].

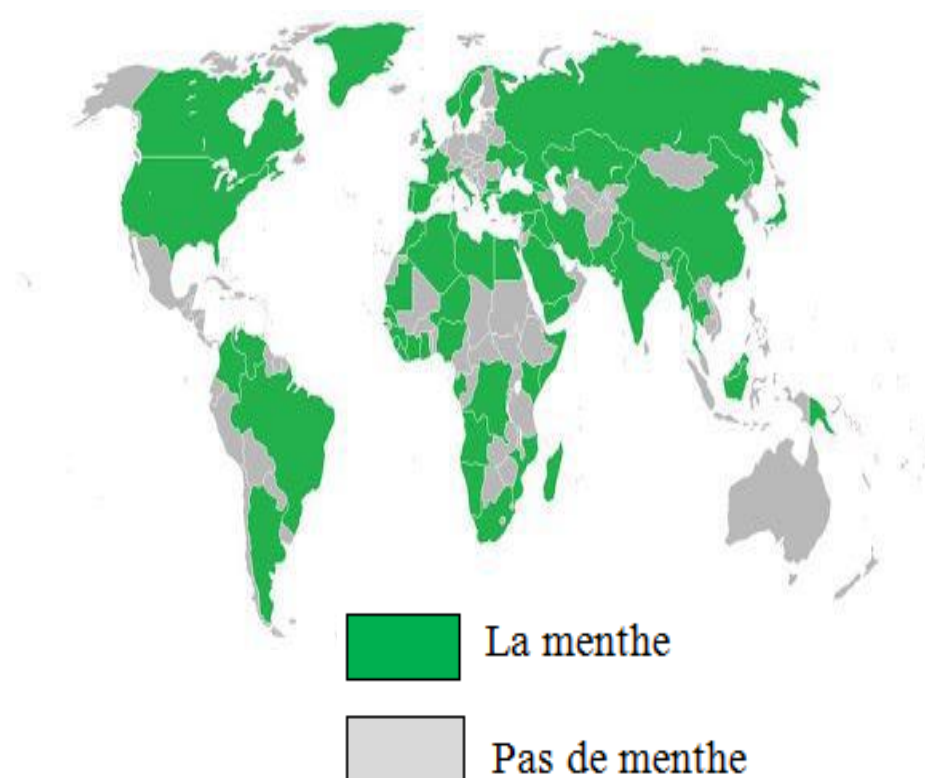


Figure II.6 : Aire de répartition de menthe dans le monde [51].

II.10. Utilisation du menthe verte en médecine et en pharmacologie

[51].

Les feuilles sont utilisées comme anti-inflammatoire, antibactérienne, antifongique, antipyrétique, hépato protective, expectorante et cicatrisant. Egalement, les fruits mûrs du lentisque sont très efficaces pour le traitement des maladies de l'estomac et les infections respiratoires [52]. La gomme est utilisée pour la fabrication des parfums et l'huile essentielle

est utilisée dans la fabrication du savon et la préparation des produits de beauté. Tandis que l'huile embaumée est utilisée à l'éclairage.

II.11. Généralités sur les huiles essentielles

Une huile essentielle ou essence végétale est l'essence volatile extraite de la plante par distillation. Il s'agit d'une substance complexe qui contient des molécules aromatiques dont l'action bénéfique sur la santé est étudiée et mise en pratique par l'aromathérapie [63].

Les huiles essentielles peuvent être extraites de différentes parties de la plante: Fleurs, écorces de fruits, graines, feuilles, baies, boutons floraux, fruits et bois.

Les huiles essentielles combinent des molécules très variées (en moyenne une centaine de molécules différentes pour une seule essence : terpènes, cétones, alcools, esters, aldéhydes...) [53].



Figure II.7: Schéma représentant les différents constituants d'une goutte d'huile essentielle.

Les huiles essentielles sont obtenues par distillation à la vapeur d'eau ou distillation à sec ou extraction mécanique. Dans ce dernier cas, une certaine ambiguïté existe sur la dénomination d'huile essentielle. La Pharmacopée française et la européenne utilisent le terme d'huile essentielle. Le terme d'huile essentielle a été retenu par les spécialistes en pharmacognosie [64].

II.11.1. Les huiles essentielles de la plante *mentha specata* dans différent pays

L'huile de *mentha specata*. (1 à 2.5% d'huile essentielle ; 22 à 42% menthol (camphre de menthe) menthone ; jusqu'à 10% menthyles esters (acétate, isovalerate), autres terpénoides (pulegone, , cadinéne, piperitone. menthofurane, pinéne, 1-limonéne, cadinéne, phellandrène

acétaldéhyde, isovalérique aldehyde, amyl alcool, diméthyl sulfide) la présence de 0,1 % de jasmone, améliore nettement la qualité de l'huile essentielle [54].

II.11.2. Utilisations des huiles essentielles

Elles sont utilisées dans certains médicaments, en parfumerie, en phytothérapie ou comme agent de saveur dans l'alimentation. Il faut distinguer l'activité de l'huile essentielle et celle de la plante infusée. Il existe souvent un seuil, au-delà duquel, elles peuvent devenir toxiques. L'utilisation des plantes et des huiles est contrôlée par le code de la santé publique.

Depuis plusieurs années les huiles essentielles ont envahi de nombreux produits de la vie courante. On les retrouve de plus en plus en tant qu'arômes alimentaires comme exhausteur de goûts (cafés, thés, tabacs, vins, yaourts, plats cuisinés,...) [54]. La cosmétique et principalement la cosmétique-bio est également un secteur qui utilise de plus en plus d'huiles essentielles on les retrouve dans de nombreux produits comme : savons, shampoings, gel-douches, crèmes,...

Les huiles essentielles servent par exemple comme produits phyto-sanitaires pour combattre dans les cultures végétales les infections fongiques ou bactériennes ou virales. Elles apportent des solutions en agriculture biologique, réduisant les effets néfastes des pesticides de synthèse comme la pollution ou le développement de résistances [55].

II.11.3. Propriétés physiques des huiles essentielles

➤ La densité

La majorité des huiles essentielles ont une densité inférieure à celle de l'eau (c'est cette propriété qui est mise à profit au niveau de l'essencier pour séparer les deux phases). Il existe toutefois des exceptions comme par exemple l'huile essentielle d'écorce de cannelle de Ceylan (*Cinnamomum verum* L.) et l'huile essentielle de clous de girofle (*Syzygium aromaticum* (L.)). Plus la différence de densité entre l'eau et l'huile essentielle sera importante plus il sera simple de les séparer au niveau de l'essencier [56].

➤ La solubilité

Les huiles essentielles sont insolubles dans l'eau (cette propriété permet également leur séparation dans l'essencier). En revanche elles sont solubles dans les huiles grasses comme

les huiles végétales qui sont souvent utilisées en aromathérapie pour diluer les huiles essentielles avant leur utilisation. Les solvants organiques et les alcools sont également de bons solvants pour les huiles essentielles [56].

➤ **L'état physique**

A température ambiante, les huiles essentielles sont, pour la plupart, liquides. Certaines d'entre elles comme l'huile essentielle d'Arbre à myrrhe (*Commiphora myrrha* (Nees) Engl.) sont visqueuses. D'autres comme l'huile essentielle de Camphrier (*Cinnamomum camphora* (L.) J.Presl) sont sous forme cristallisée [56].

➤ **La volatilité**

A la différence des huiles dites, « grasses » ou « fixes », les huiles végétales, les huiles essentielles sont particulièrement volatiles. Cette propriété leur confère leur caractère fortement odorant et permet de les extraire facilement par entraînement à la vapeur d'eau [56].

➤ **La couleur**

La plupart du temps les huiles essentielles sont translucides et légèrement jaunes mais on peut en trouver de toutes les couleurs que ce soit dans le spectre visible ou ultra-violet.

II.11.4. Composition chimique

Les huiles essentielles sont des mélanges de nombreux constituants à proportions très différentes. Leur composition chimique est très complexe [57].

Ce sont des mixtures naturelles d'hydrocarbures et d'oxygène (alcools, aldéhydes, cétones, carboxyles, acides, esters et lactones). Elles sont susceptibles de s'oxyder rapidement, donc leur composition peut évoluer après extraction selon leur condition de stockage [58]. Connaître avec exactitude les constituants d'une huile essentielle est fondamentale, à la fois pour vérifier sa qualité, expliquer ses propriétés et prévoir sa toxicité potentielle [57].

La plupart des huiles essentielles sont constitués de 20 à 60 composés, dans de nombreux cas, un petit nombre de ces composés (1 à 5) sont majoritaires et représentent de 70 à 90 % du mélange. Elles ne contiennent ni protéines, ni lipides, ni glucides, ne renferment pas de minéraux ni de vitamines, elles n'ont donc aucune valeur nutritionnelle [57], leurs constituants moléculaires appartiennent exclusivement à deux familles chimiques: les terpénoïdes et les composés aromatiques dérivés du phénylpropane [59].

➤ Les composés terpéniques

Une huile essentielle renferme majoritairement des terpénoïdes ou terpènes volatils, issus de la condensation d'unités isopréniques. Seuls les monoterpènes en C₁₀ et les sesquiterpènes en C₁₅ peuvent être extraits par distillation contrairement aux autres terpènes (diterpènes en C₂₀ et triterpènes en C₃₀) [57]. Ces derniers sont de formule générale (C₅ H₈)_n.

Ils sont classés selon :

- Leur fonction : Alcools, aldéhyde, ester, etc.
- Leur structure : Linéaire, monocycliques, bicyclique ou tricyclique.

➤ Les monoterpènes

Ils constituent parfois plus de 90 % de l'huile essentielle [60] et sont surtout présents chez les Conifères [57]. Les monoterpènes sont issus de la condensation de l'isopentényle pyrophosphate (IPP) et le diméthylallyl pyrophosphate (DMAPP), si la condensation s'effectue entre 2 molécules DMAPP, on parlera de monoterpènes irréguliers par opposition à ceux dits réguliers obtenus par condensation entre l'IPP et le DMAPP [60]. Ils ne contribuent pas seulement à donner leurs odeurs et leurs arômes aux plantes aromatiques, mais se révèlent également actifs dans le contrôle des insectes phytophages et sont considérés comme des composés anti-infectieux; bactéricides, virucides et fongicides [59].

➤ Les sesquiterpènes

Ils sont issus de l'élongation des monoterpènes avec de l'isopentényle pyrophosphate (IPP) [70]. Les sesquiterpènes et lactones sesquiterpéniques représentent un groupe numériquement important impliqué dans la défense des plantes et peuvent être synthétisés en réponse d'un éliciteur fongique.

➤ Composés aromatiques

Dérivés du phénylpropane (C₆-C₃), ils sont beaucoup moins fréquents dans les huiles essentielles que les monoterpènes et les sesquiterpènes. Ils appartiennent aux différentes classes de la chimie organique : hydrocarbures, alcools, aldéhydes.

➤ Notion du chémotype

Il est également appelé type ou race chimique de la plante, indique le composant biochimique majoritaire et distinctif présent dans l'huile essentielle. Cet élément permet de distinguer les huiles essentielles extraites d'une même espèce ou variété botanique, ce dernier est repéré grâce à une analyse chromatographique et spectrométrique [57].

II.12. Les méthodes d'extraction des huiles essentielles

II.12.1. Méthode d'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 [61].

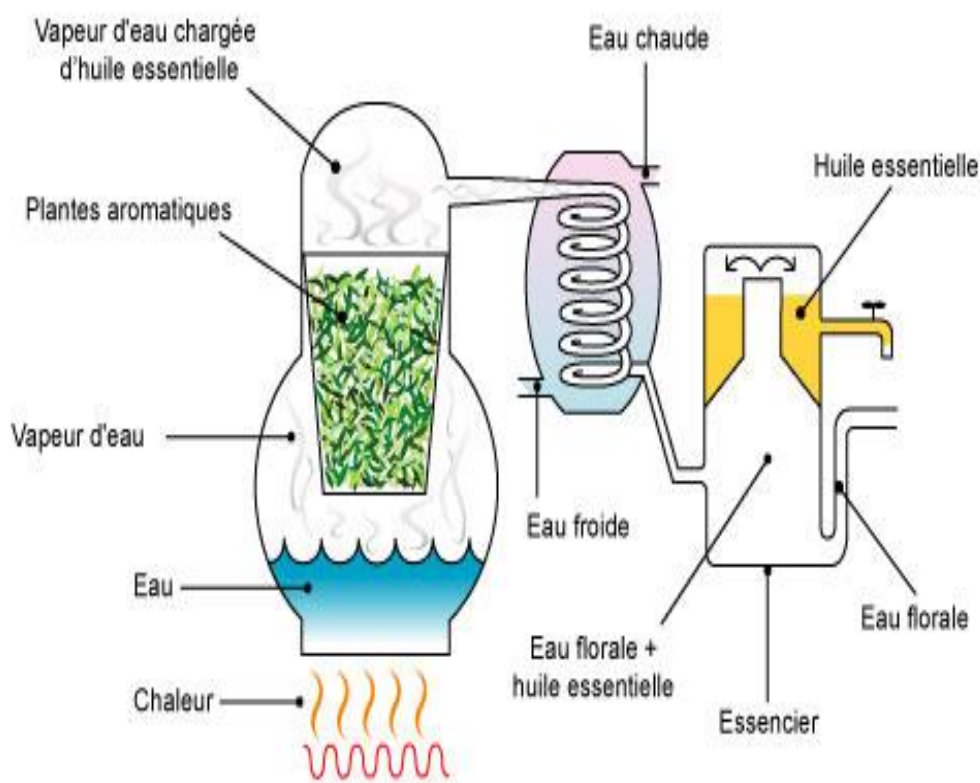


Figure II.8: Montage d'entraînement à la vapeur d'eau [62].

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 [63].

L'hydrodiffusion est une variante de l'entraînement à la vapeur (Figure II.9).

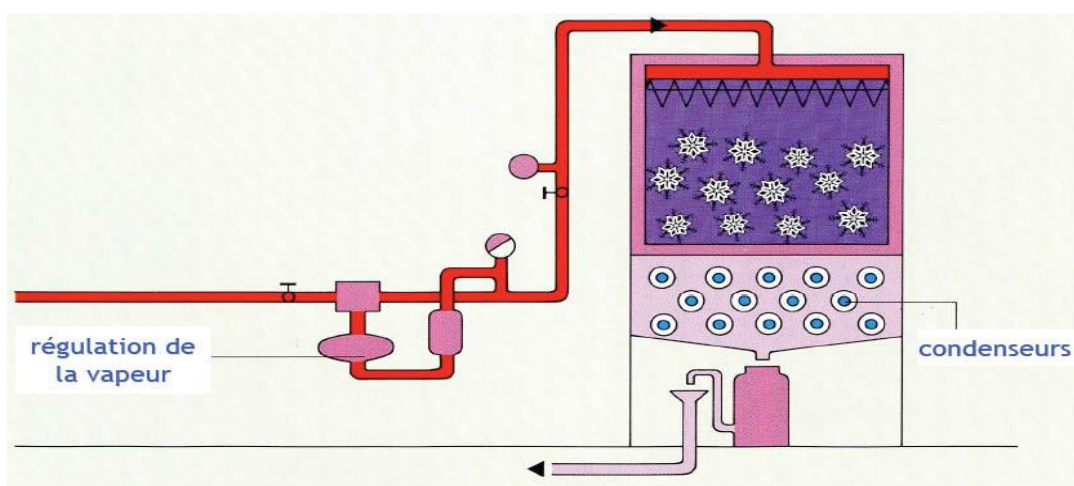


Figure II.9: Montage d'hydrodiffusion [64].

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 [55].

II.12.2. Technique d'hydrodistillation

L'hydrodistillation proprement dite, est la méthode normée pour l'extraction d'une huile essentielle, ainsi que pour le contrôle de qualité [63]. 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 [61] (Figure II.10).

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 azeotropique [55].

- La distillation peut s'effectuer avec ou sans recyclage (cohobage) de la phase aqueuse obtenue lors de la décantation [55].
- La durée d'une hydrodistillation peut considérablement varier, pouvant atteindre plusieurs heures selon le matériel utilisé et la matière végétale à traiter [63].

- 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 [55].

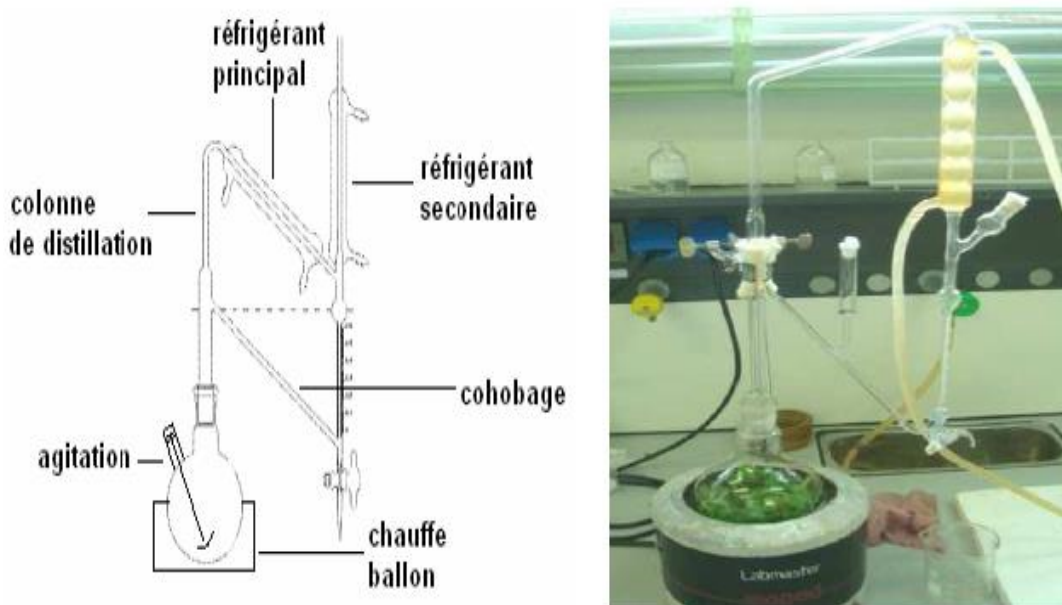


Figure II.10 : Montage d'hydrodistillation [65].

II.12.3. Expression à froid

Les huiles essentielles de fruits d'hespéridés ou encore d'agrumes ont une très grande importance dans l'industrie des parfums et des cosmétiques. Cependant ce sont des produits fragiles en raison de leur composition en terpènes et aldéhydes. C'est pourquoi, spécifiquement pour cette catégorie de matière première, est utilisé un procédé totalement différent d'une distillation classique, qui est l'expression à froid. Le principe de cette technique est basé sur la rupture ou la dilacération des parois des sacs oléifères contenues dans l'écorce des fruits et sur la pression du contenu de ces sacs sur les parois.

II.12.4. Distillation sèche

La distillation sèche, aussi appelée distillation destructive, est utilisée pour la séparation des produits chimiques liquides contenus dans des matériaux solides. On peut ainsi obtenir, à partir du bois, par calcination, de la créosote (mélange de phénols), de l'alcool méthylique et de nombreux autres produits [55].

II.12.5. L'extraction par solvant

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 [63].
- L'intervention de solvants organiques qui peut entraîner des risques d'artéfacts et de possibilités de contamination de l'échantillon par des impuretés parfois difficile à éliminer.

Cette technique d'extraction a été récemment combinée aux micro-ondes et aux ultra-sons.

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.

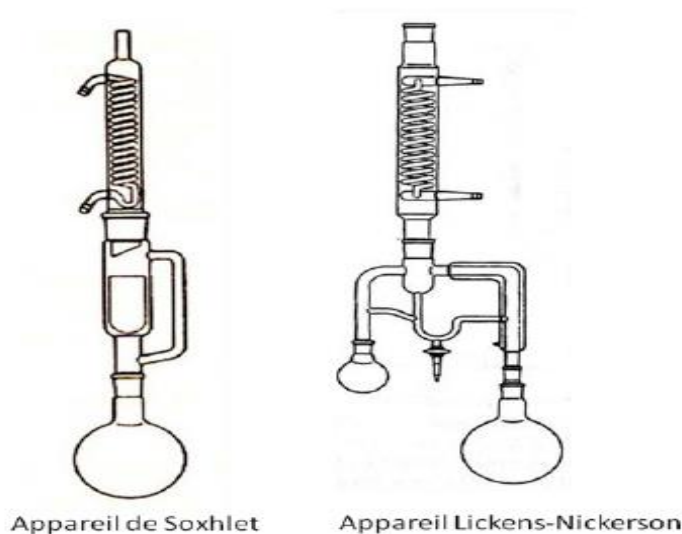


Figure II.11: Montage d'extraction par solvant [66].

II.12.6. Extraction par fluide à l'état supercritique

L'originalité de la technique d'extraction par fluide supercritique, dite SFE, provient de l'utilisation de solvants dans leur état supercritique, c'est-à-dire dans des conditions de températures et de pressions où le solvant se trouve dans un état intermédiaire aux phases

liquide et gazeuse et présente des propriétés physico-chimiques différentes, notamment un pouvoir de solvation accru. Si, en pratique, de nombreux solvants peuvent être employés, 90% des SFE sont réalisées avec le dioxyde de carbone (CO₂), principalement pour des raisons pratiques. En plus de sa facilité d'obtention due à ses pression et température critiques relativement basses, le CO₂ est relativement non toxique, disponible à haute pureté et à faible prix, et il possède l'avantage d'être éliminé aisément de l'extrait [67].

La SFE est une technique dite « verte » n'utilisant pas ou peu de solvant organique et présentant l'avantage d'être bien plus rapide que les méthodes traditionnelles. Les compositions chimiques des HE ainsi obtenues peuvent présenter des différences, qualitatives et quantitatives, avec celles issues de l'hydrodistillation [68,69].

II.12.7. Macération dans l'huile

La macération dans l'huile, technique connue depuis l'Antiquité, consiste à faire infuser les fleurs (ou autres éléments odorants) dans des matières grasses (huiles végétales ou graisses). Ce procédé de macération ne permet d'extraire que des substances lipophiles. Le mélange obtenu est filtré à travers des tissus ou d'un tamis, afin d'obtenir ce qu'on appelle communément les « huiles florales ». Une extraction du gras de ces huiles florales par l'alcool, suivie d'une concentration sous pression réduite, permet d'obtenir « l'absolue » [70].

II.13. Conservation des huiles essentielles

Les huiles essentielles de bonne qualité peuvent se conserver plusieurs années sous certaines conditions, jusque cinq ans pour les H.E.C.T (Huiles Essentielles ChemoTypées) par exemple. Seules les essences de Citrus se gardent un peu moins longtemps (trois ans). Les huiles essentielles sont volatiles, il ne faut donc pas oublier de bien fermer les flacons. Il est préférable de les conserver dans un flacon en aluminium ou en verre teinté (brun, vert, ou bleu) et de les garder à l'abri de la lumière à une température ambiante jusque vingt degrés. Il existe des normes spécifiques sur l'emballage, le conditionnement et le stockage des huiles essentielles (norme AFNOR NF T 75-001, 1996) ainsi que sur le marquage des récipients contenant des HE (norme NF 75-002, 1996) [71].

Chapitre III

Matériaux et techniques expérimentales

III.1. Introduction

Ce chapitre présente une description générale des différentes techniques et conditions expérimentales employées dans le cadre de cette étude.

Le but de notre travail est d'étudier l'effet inhibiteur de l'huile essentielle de la menthe verte (*Mentha spicata*) sur l'aluminium pur. Nous avons choisi d'extraire cette huile à partir des feuilles de la plante par la méthode d'hydrodistillation.

III.2. Matériaux étudié

Le matériau utilisé dans notre travail est l'aluminium pure, sous forme de plaque, découpé ensuite aux dimensions souhaitées. La préparation des échantillons sera abordée dans la partie de caractérisation.

III.3. Méthodes expérimentales

III.3.1. Extraction de l'inhibiteur par hydrodistillation

L'inhibiteur utilisé lors de cette investigation est une huile essentielle de de la menthe verte (*Mentha spicata*). Le choix de cette plante est guidé par plusieurs facteurs :

- La disponibilité de cette plante,
- Leur utilisation dans la médecine traditionnelle, Produit naturel,
- Le non toxicité,
- Son prix (non couteux).

a) Matériel Végétal

La menthe verte a été récolté en début de la floraison entre la fin du mois de Mars et le début du mois d'Avril 2020 dans la région de Guelma (Algérie). Il est à noter que la partie aérienne est plus exactement les sommités fleuries qui a fait l'objet de cette étude.

Les feuilles de la plante ont été rincées avec l'eau afin de leur enlever toutes traces d'impuretés telles que : terre, poussière, souillure, infections fongiques, contaminations animales, résidus d'insecticides etc [72].

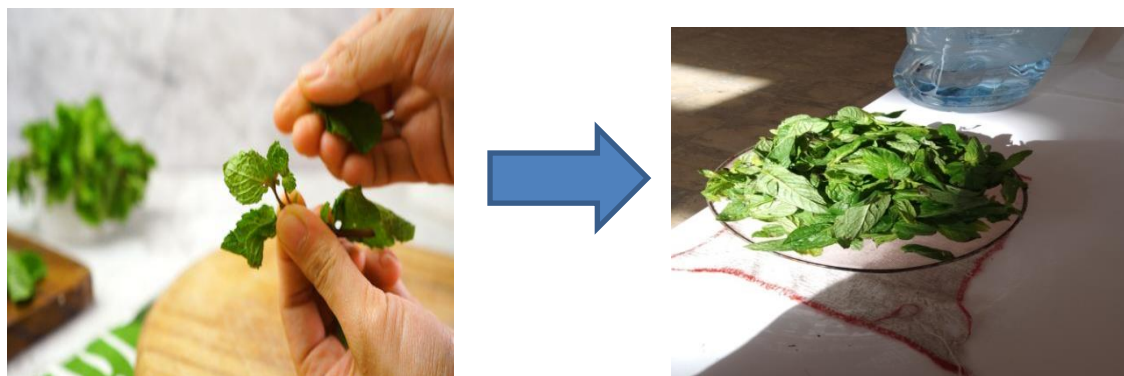


Figure III .1: Schéma représentant les étapes de préparation des feuilles de menthe verte.

b) Produits et matériels utilisés

- L'eau distillée
- Le cyclohexane
- Un élévateur
- Un thermomètre
- Un ballon
- Un réfrigérant à eau
- Un chauffe-ballon
- Deux béciers de récupération
- Un support
- Ampoule à décanter

c) Extraction de l'huile essentielle

L'extraction d'huile essentielle de la menthe verte (*Mentha spicata*) a été effectuée par hydrodistillation dans un appareil de type Clevenger, au laboratoire de Génie chimique, Faculté des sciences et de la Technologie, université de Guelma.

Cette étape consiste à immerger directement 50 g du matériel végétal à traiter avec un 500 mL d'eau l'eau distillée dans un ballon de 1 litre placé au-dessus d'une plaque chauffante, ce montage est surmonté d'une colonne à distiller en verre qui est lui-même reliée à un réfrigérant. Ce dernier condense les vapeurs d'eau et les gouttelettes d'huiles essentielles en les

recueillant dans une ampoule à décanter sous forme de distillat. Le dispositif expérimental utilisé est représenté par la figure III.2.

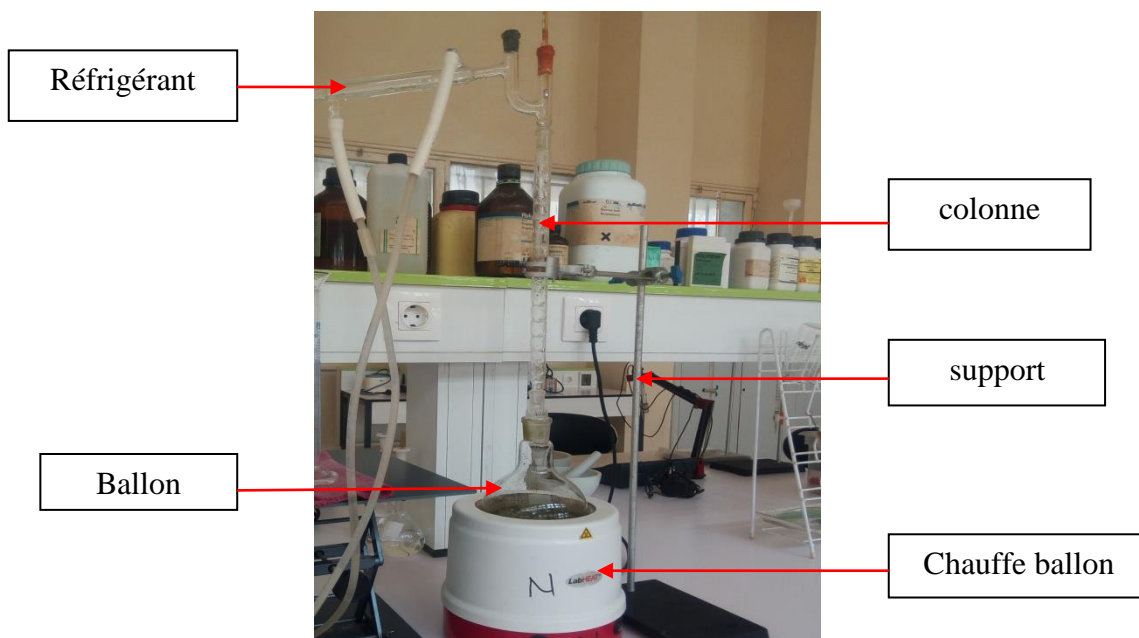


Figure III.2: Montage utilisé pour l'extraction des huiles essentielles de la menthe verte (*Mentha spicata*) par la méthode d'hydrodistillation.

d) Extraction liquide-liquide

L'extraction liquide-liquide repose sur la différence d'affinité d'un soluté entre deux phases liquides non miscibles. Ce procédé est réalisé par le contact intime du solvant avec la solution à traiter dans des appareils destinés à mélanger les deux phases; il s'agit de l'ampoule à décanter.

Le protocole d'extraction est le suivant:

- ✓ On fixe un anneau à l'aide d'une noix sur un support et on place l'ampoule à décanter;
- ✓ On introduit la solution à extraire et le solvant d'extraction dans l'ampoule à l'aide d'un entonnoir. On signale par ailleurs que le solvant utilisé dans cette étude est le cyclohexane;
- ✓ Après avoir bouché l'ampoule, On l'agite énergiquement avec un dégazage de temps en temps;
- ✓ On doit ensuite laisser décanter les deux liquides qui sont non miscibles jusqu'à la séparation des deux phases;

- ✓ On récupère ensuite les deux phases séparément; la phase aqueuse est en générale plus dense que la phase organique;
- ✓ On recommence l'extraction de la phase aqueuse avec une nouvelle fraction de phase organique. A la fin de l'extraction, on réunit toutes les phases organiques récupérées pour les sécher (Figure III.3).

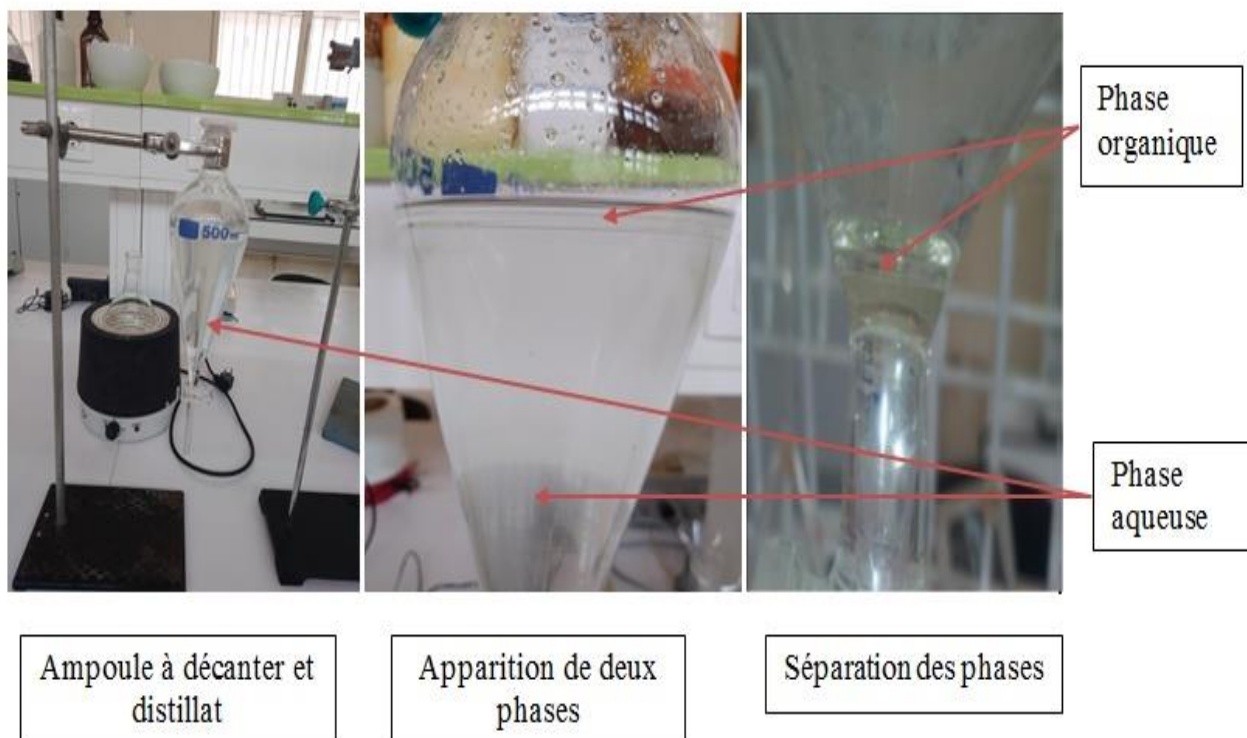


Figure III.3: Les étapes d'extraction de l'huile essentielle de la solution aqueuse.

e) Séchage

Dans cette étape, on ajoute quelques grammes de Na_2SO_4 dans la phase organique pour éliminer toutes les traces d'eau, puis on filtre cette phase qui ne contient finalement que l'huile essentielle.

III.3.2. Détermination du rendement en huile essentielle

La teneur en huile essentielle exprimée en millilitre, par rapport à 100g de la matière du menthe verte, est calculée par la relation suivante :

$$T_{HE} = \left[\frac{V_{HE}}{M_s} \right] \times 100 \quad \text{III.1}$$

T_{HE} : teneur en huile essentielle.

V_{HE} : volume d'huile essentielle recueilli (mL).

M_s : masse des feuilles du menthe verte (g).

$T_{HE}=0,6\%$.

III.4. Techniques de caractérisation

Les méthodes d'évaluation de la corrosion sont très nombreuses, mais les plus utilisés et les plus citées dans la littérature dans le cas de l'inhibition de la corrosion des métaux, comme détaillées précédemment, sont les suivantes :

- La gravimétrie (ou la perte de masse).
- Les techniques de polarisation potentiodynamique.
- Le voltampérométrie cyclique.
- La spectroscopie d'impédance électrochimique.
- Méthode de dosage.

Ces techniques sont complétées par d'autres qui consistent à analyser et identifier les huiles et extraits de plantes utilisés comme inhibiteur de corrosion tel que :

- La chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (GC-MS).
- La chromatographie en phase liquide à haute performance (HPLC).
- L'infra-rouge à transformée de Fourier (IR-TF).

III.4.1. Analyse par spectroscopie UV-Visible

L'absorption par une espèce chimique donnée est fortement attribuée à la présence d'un chromophore ; c'est-à-dire un groupe fonctionnel auquel on attribue un spectre d'absorption caractéristique dans les régions UV-visibles. Ces chromophores comportent généralement des liaisons doubles ou triples, parmi lesquelles celles des groupes C=C, C.C, nitro ou nitroso, azo, carbonyle ou thiocarbonyle. Unchromophore est conjugué avec d'autres groupes

analogues ou différents, d'où l'apparition d'une nouvelle bande d'absorption de grande longueur d'onde.

Le spectrophotomètre UV-visible utilisé pour caractériser l'huile essentielle obtenue est de type LANGE DR 6000 (Figure IV.4).

L'analyse a été réalisée dans un solvant organique qui est le cyclohexane dans un domaine entre 254-325 nm à température ambiante [73].



Figure III.4: Spectrophotomètre UV-Visible de type LANGE DR 6000.

III.4.3. Etude gravimétrique

III.4.3.1. Influence de la concentration de l'inhibiteur sur l'efficacité inhibitrice

Les mesures de perte de poids sont des premières approches de l'étude de l'inhibition de la corrosion d'un métal dans une solution électrolytique. Cette méthode présente l'avantage d'être d'une mise en œuvre simple et de ne pas nécessiter un appareillage important. Les dimensions des échantillons d'aluminium utilisés sont: (0,7 cm × 0,5 cm × 0,1cm), 0,65 cm × 0,35 cm × 0,1 cm) et (0,5 cm × 0,4cm × 0,1 cm). (0,7 cm × 1,16 cm × 0,1 cm). (0,8 cm × 0,145 cm × 0,1 cm). (0,3 cm × 0,35 cm × 0,1 cm).

Ces échantillons sont immergés dans la solution de NaCl 3 %, sans et avec addition de différentes concentrations d'huile essentielle de mentha spicta . à la température ambiante du laboratoire ($25 \pm 2^\circ\text{C}$) et à l'air atmosphérique. L'efficacité inhibitrice est déterminée après 4 jours (96 heures) d'immersion, La valeur de l'efficacité inhibitrice est donnée par la relation suivante:

$$E(\%) = \left[1 - \frac{V'_{\text{corr}}}{V_{\text{corr}}} \right] \times 100 \quad \text{III.2}$$

Où V_{corr} et V'_{corr} représentent respectivement les valeurs de la vitesse de corrosion en absence et en présence de l'inhibiteur [40].

III.4.3.2. Mesure du taux et de la vitesse de corrosion

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

$$\Delta m = m_0 - m_1 \quad \text{III.3}$$

m_0 (mg): la masse de l'échantillon avant l'essai.

m_1 (mg): la masse de l'échantillon après l'essai.

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

La vitesse de corrosion (V) est déterminée par l'équation III.4 [74] :

$$V = \frac{\Delta m}{St} \quad \text{III.4}$$

S : la surface exposée en cm².

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

III.4.3.3. Isothermes d'adsorption de Langmuir

L'isotherme d'adsorption de Langmuir est généralement utilisé pour représenter des phénomènes d'adsorption en phase aqueuse impliqués dans les processus de corrosion ou d'inhibition. L'énergie d'adsorption est indépendante du taux de recouvrement de la surface (θ), ce qui signifie que l'énergie d'adsorption est la même pour tous les sites. Dans ce cas, le taux de recouvrement de la surface du métal (θ) est relié à la concentration de l'inhibiteur par la relation :

$$\frac{\theta}{1-\theta} = K C_{inh} \quad \text{III.5}$$

Où K désigne le coefficient d'adsorption (ou la constante d'équilibre du processus d'adsorption) et C_{inh} la concentration de l'inhibiteur dans la solution. Le réaménagement de cette relation donne :

$$\frac{\theta}{1-\theta} \exp(-2a\theta) = K C_{inh} \quad (\text{Frumkin}) \quad \text{III.6}$$

$$\text{Exp}(-2a\theta) = K C_{inh} \quad (\text{Temkin}) \quad \text{III.7}$$

Où a une constante d'interaction entre les particules adsorbées [75-76].

Chapitre IV

Résultats et discussions

IV.1. Introduction

Le but de notre travail est d'étudier l'efficacité inhibitrice de l'huile essentielle de la menthe verte (*Mentha spicata*) sur la corrosion de l'aluminium pure dans un milieu salin (NaCl 3%) aéré.

Nous avons choisi d'extraire cette huile à partir des feuilles de plante par la méthode d'hydrodistillation. Ensuite, la caractérisation qualitative d'huile essentielle obtenue a été effectuée par un criblage phytochimique, par UV-visible et par chromatographie sur couche mince (CCM).

L'évaluation de l'effet d'inhibiteur de l'huile essentielle a été étudiée par la méthode gravimétrique.

IV.2. Matériaux étudiés

IV.2.1. L'aluminium

Le matériau utilisé dans ce travail est l'aluminium pur (98.51 % Al), sous forme de plaque, découpé ensuite aux dimensions souhaitées. La composition d'aluminium est indiquée dans le tableau IV.1.

Les échantillons à caractériser sont découpés en forme parallélépipédique. Ils sont ensuite dégraissés au chloroforme, avant d'être polis mécaniquement jusqu'à un papier abrasif de grade 1200 avant de subir un second polissage électrochimique afin d'obtenir une surface polie [76].

Tableau IV.1: Composition élémentaire en fraction massique de l'aluminium pur [77].

Eléments	Al	Mn	Cu	Si	Fe
% massique	98.51	0.674	0.016	0.565	0.202

IV.2.2. Milieu d'essai

IV.2.2.1. Préparation de la solution corrosive (NaCl 3 %)

L'étude gravimétrique a été effectuée dans une solution de chlorure de sodium NaCl 3 % (teneur moyenne en sels de l'eau de mer) préparée au laboratoire par la dissolution de 30 g de NaCl en poudre cristallisé dans un litre d'eau distillée (Figure IV.1).

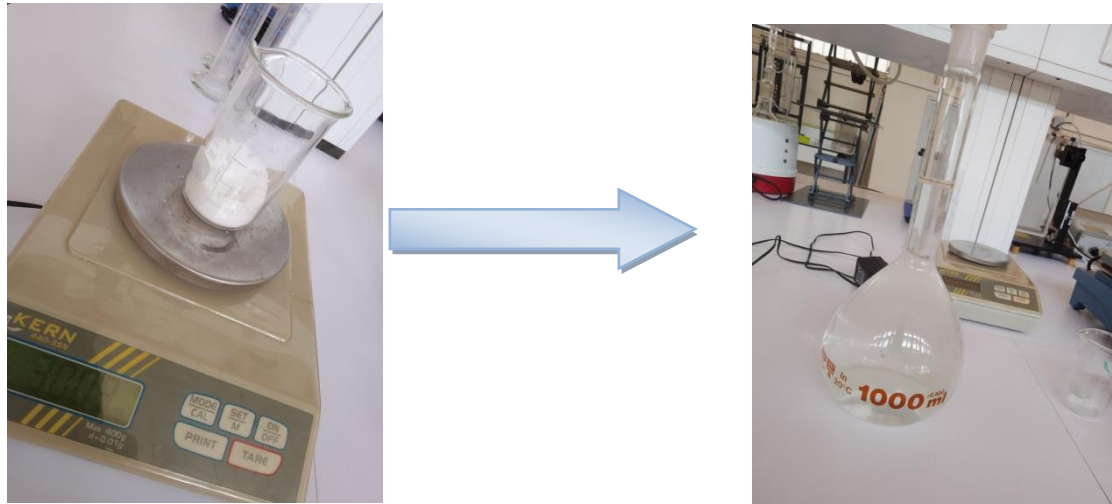


Figure IV.1: Préparation de la solution corrosive NaCl 3%.

IV.2.2.2. Préparation de l'inhibiteur

L'inhibiteur utilisé dans cette étude est une huile essentielle de la menthe verte (*mentha spicata*), qui a été préparée par hydrodistillation comme il a été détaillé dans le chapitre III.

Après la préparation de la solution corrosive (NaCl 3 %), nous avons ajouté l'inhibiteur à différentes concentrations à cette solution.

IV.3. Méthodes de caractérisation de l'huile essentielle obtenue

IV.3.1. Criblage phytochimique de l'huile essentielle

La phytochimie qualitative basée sur des réactions colorées ou de précipitation par des réactifs chimiques, génère pour une première estimation des données préliminaires sur les constituants des extraits. Ces tests sont décrits comme suit [78]:

IV.3.1.1. Test des flavonoïdes

On mélange 10 g de la poudre de plante avec 150 mL d'une solution d'HCl (1 %). Ce mélange est macéré durant 24 h. Après filtration, on prend 10 ml du filtrat et on lui rajoute une goutte de NH_4OH . L'apparition d'une couleur jaune claire implique la présence des flavonoïdes [79].

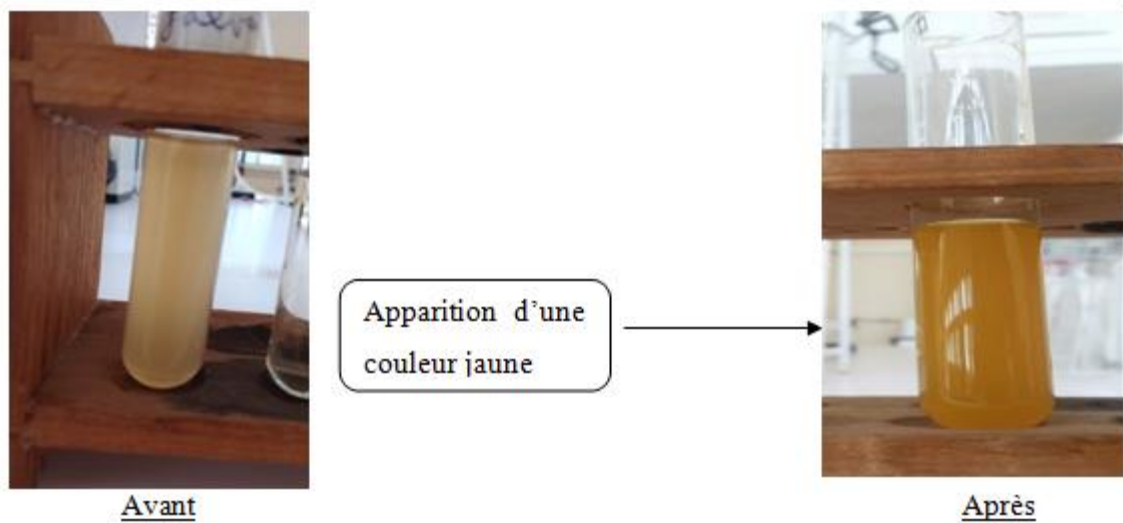


Figure IV.2: Test des flavonoïdes.

IV.3.1.2. Test des tanins

À 10 g de la plante, mise en poudre, on ajoute 200 mL de $(\text{C}_2\text{H}_6\text{O})$ à 1% puis on filtre. On ajoute au filtrat quelques gouttes de FeCl_3 . L'apparition d'une couleur vert-noire indique la présence des tanins [79].

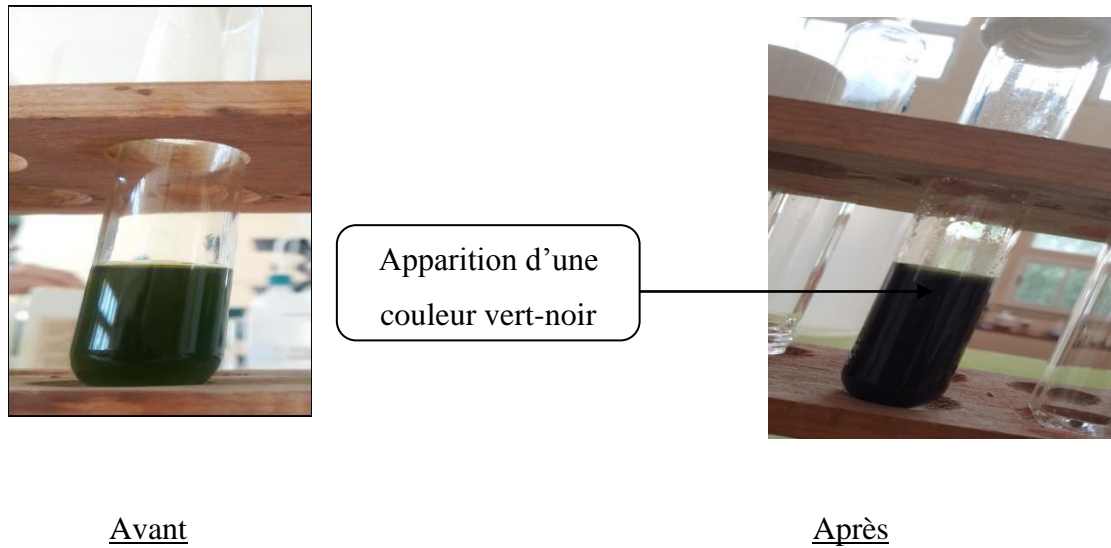


Figure IV.3: Test des tanins.

IV.3.1.3. Test des terpènes

On prend 5g de la poudre séchée, la dissoudre dans 20 mL de chloroforme (CHCl_3), puis on filtre. On ajoute au filtrat 1ml d'acide sulfurique concentré (H_2SO_4) avec précaution sur les parois du tube à essai. Le point de rencontre entre les deux phases révèle l'apparition d'une couleur violée ou marron claire qui vire le gris, indique la présence des stérols non saturés et des terpènes [80].

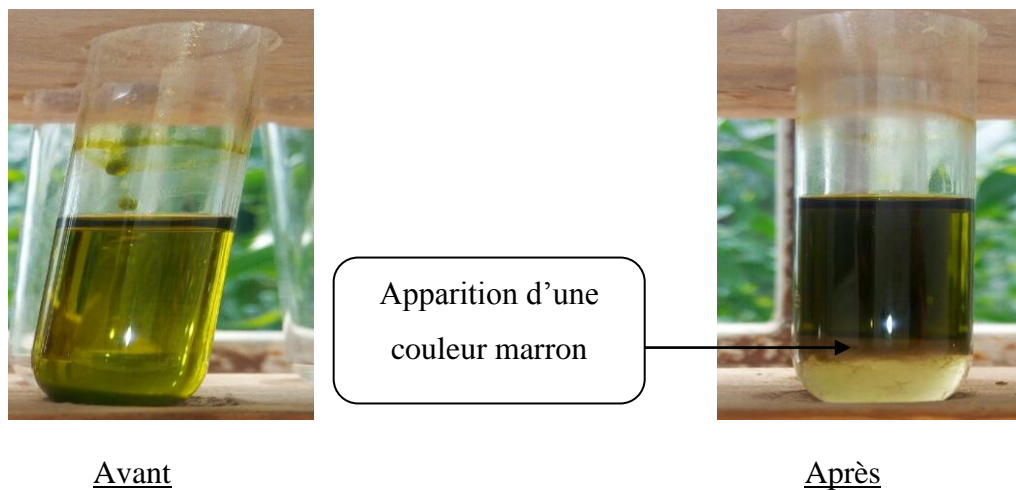


Figure IV.4: Test des terpènes.

IV.3.1.4. Test des anthocyanes

La recherche repose sur le changement de couleur de l'infusé à 10% avec le changement du pH: on ajoute quelques gouttes d'HCl pur à l'infusé puis on observe le changement de la couleur, ensuite on rajoute quelques gouttes de l' NH_4OH , le changement de la couleur indique la présence d'anthocyanes [81].

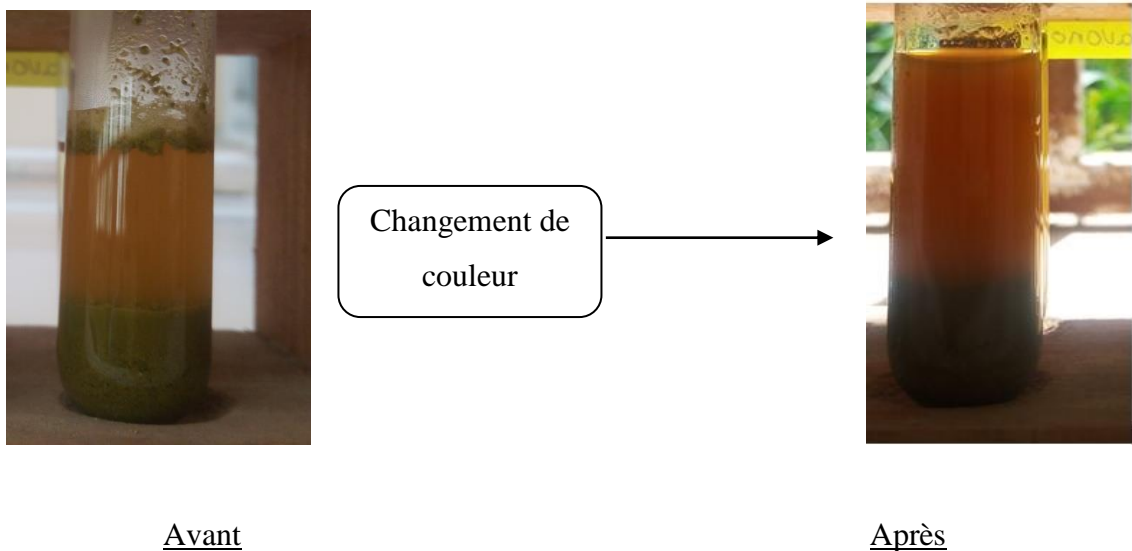


Figure IV.5: Test des anthocyanes.

IV.3.1.5. Test des leucoanthocyanes

À 1 g de la poudre de plante, on ajoute quelque goutte de HCl concentré, puis le mélange est placé dans un bain-marie à 100°C pendant 3 à 5 min. l'apparition d'une coloration rouge violacé après refroidissement indique la présence de leucoanthocyanes [35].

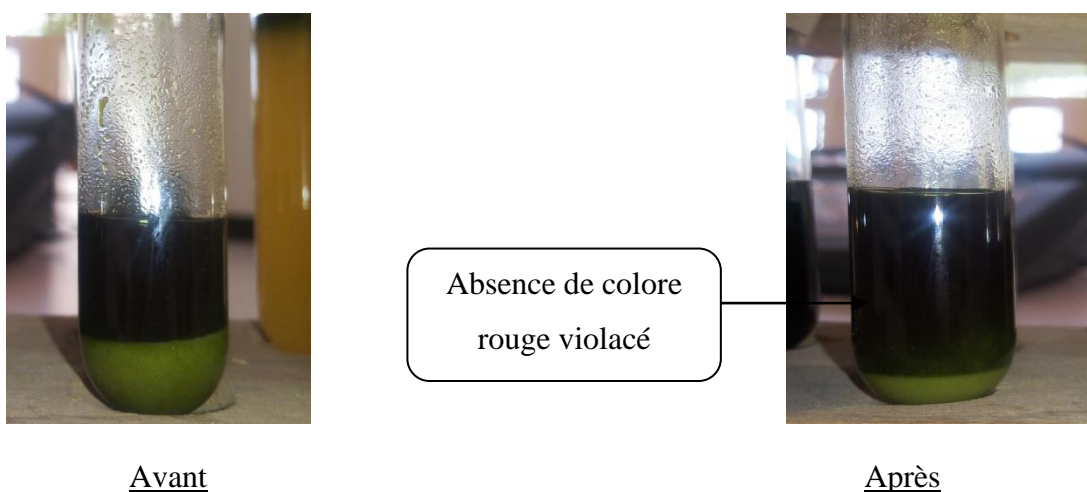


Figure IV.6: Test des leucoanthocyanes.

IV.3.1.6. Test des saponosides

Nous avons pris 5g de la poudre pulvérisée dans 80 mL d'eau distillée, puis on a mis le mélange dans un bécher sur une plaque chauffante jusqu'à l'ébullition, après on a laissé le filtrat refroidit, quelques mL du filtrat sont mis dans un tube à essai après agitation pendant 15 s, on le laisse au repos durant 15 min. Une hauteur de mousse persistante, supérieure à 0,5 cm indique la présence de saponosides [82].

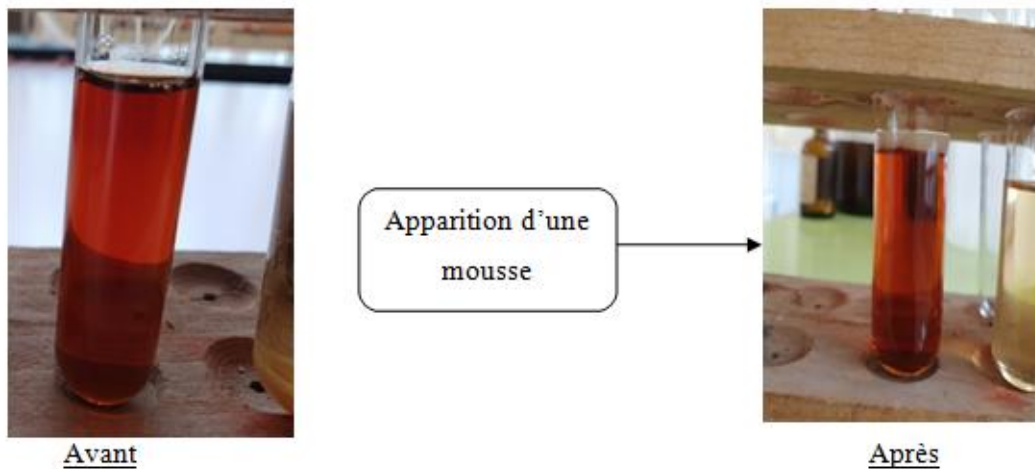


Figure IV.7: Test des saponosides.

IV.3.1.7. Test des mucilages

À 1 mL de la solution aqueuse obtenue du test des saponosides, on ajoute 5 mL d'éthanol à 95 %. On estime la présence de mucilages par l'apparition de précipités floconneux [83].

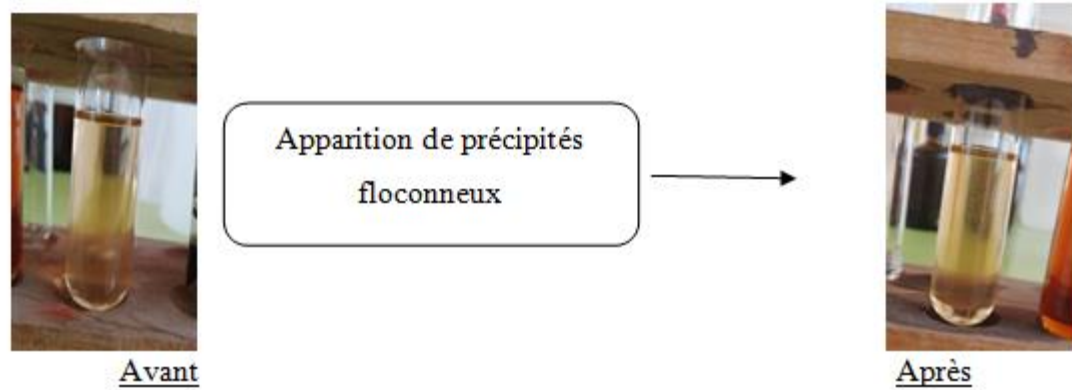


Figure IV.8: Test des mucilages.

IV.3.1.8. Test des alcaloïdes

À 10 g de la poudre de plante, on ajoute 100 mL de HCL à 1%. On laisse le mélange en macération pendant 30 min. Le mélange est alors filtré. On ajoute ensuite, 10 mL du réactif de Mayer (5g de KI+ 1,358 g de HgCl₂ solubilisés dans 100 mL d'eau distillée). L'apparition d'une solution trouble indique la présence des alcaloïdes [83].

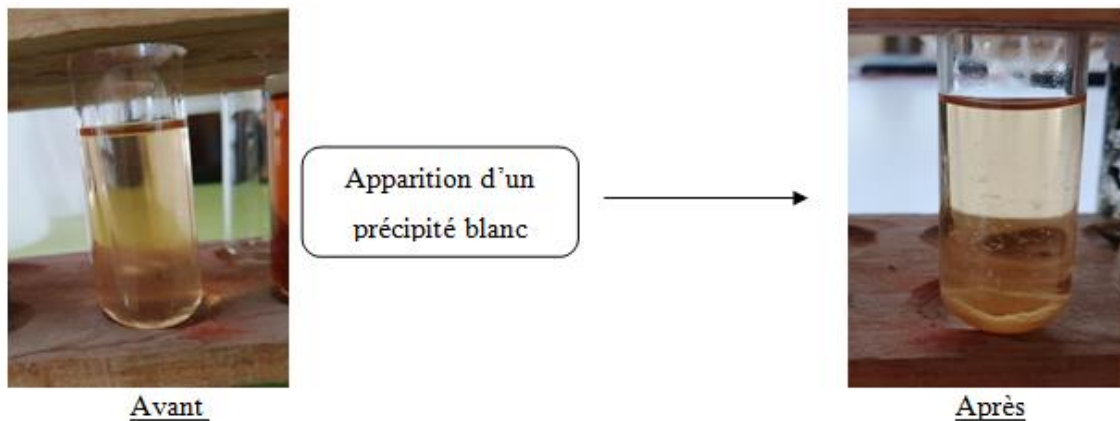


Figure IV.9: Test des alcaloïdes.

Les résultats des tests phytochimiques, qui ont été menés sur les feuilles de la menthe verte (*mentha spicata*) sont résumés dans le tableau IV.2.

Tableau IV.2: Résultats des tests phytochimiques de la menthe verte (*mentha spicata*).

Composés chimiques	Résultats
Flavonoïdes	++
Tanins	++
Terpènes	++
Anthocyanes	+
Leucoanthocyanes	-
Saponosides	+++
Mucilages	+++
Alcaloïdes	+++

+++ : Fortement positif ; ++ : Moyennement positif ; + : Faiblement positif ; - : négatif

Ces résultats reflètent la richesse de l'huile essentielle obtenue en: alcaloïdes, saponosides, Mucilages, flavonoïdes, tanins et aux terpènes. Les résultats obtenus sont confirmés par plusieurs travaux antérieurs [84].

IV.3.2. Propriété physico-chimiques

Indice de réfraction

L'indice de réfraction a été mesuré à l'aide d'un réfractomètre à une température $T = 26,8\text{ }^{\circ}\text{C}$.

L'indice de réfraction à $T = 20^{\circ}\text{C}$ est déterminé par la relation

$$n_D^t = n_D^{t'} + 0.0004(t' - t) \quad \text{IV.1}$$

qui est égale à 1.484. Notons que ces indices de réfraction sont supérieurs à celle de l'eau distillée qui est de 1,3330.

Indice de réfraction de l'huile essentielle des feuilles = 1.484 (Figure IV.10).



Figure. IV.10:Image montrant la caractérisation par le réfractomètre.

IV.3.3. Caractérisation de l'huile essentielle par spectroscopie UV- visible

Les mesures par spectroscopie UV- visible sont effectuées au laboratoire pédagogique «Génie des procédés» de l'université de Guelma, à l'aide d'un spectrophotomètre UV-visible de type LANGE DR 6000, équipé d'une cuve en quartz de 1 cm d'épaisseur.

Le spectre UV- visible de l'huile essentielle est illustré par la figure IV.11. On signale par ailleurs que le solvant utilisé est le cyclohexane.

Les analyses par UV-visible révèlent la présence de plusieurs pics; une bande d'absorption intense aux alentours de 284 nm et un épaulement aux alentours de 300 nm.

Cette absorption peut être expliquée par la présence de composés benzéniques et la richesse de cette huile par la présence de plusieurs constituants chimiques.

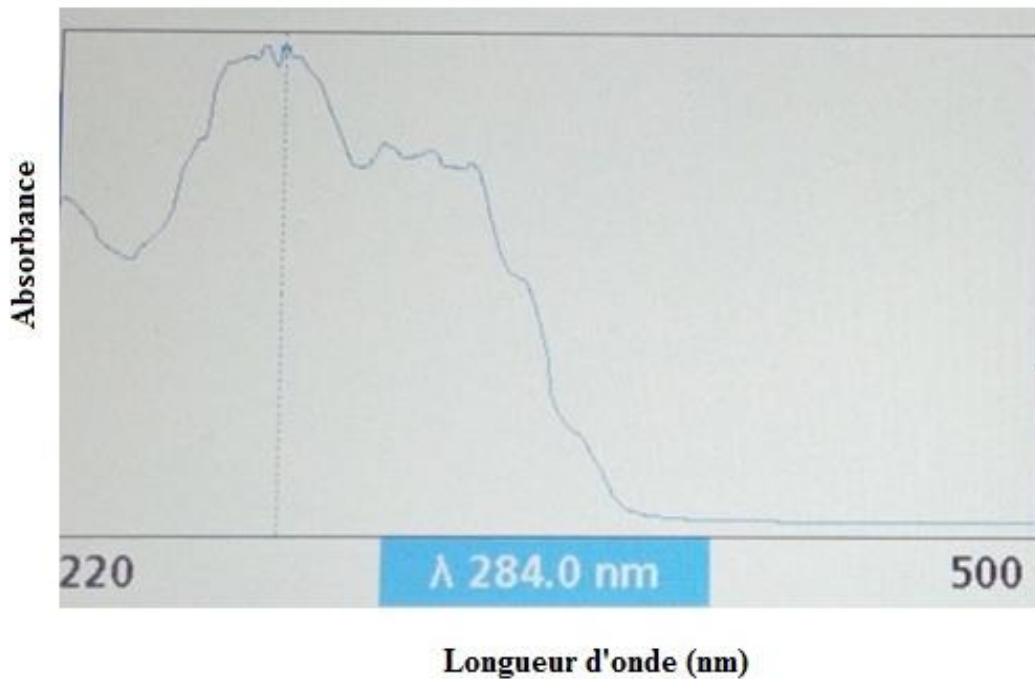


Figure IV.11: Spectre UV- visible de l'huile essentielle des feuilles de la menthe verte (*mentha spicata*).

IV.3.4. Caractérisation de l'huile essentielle par chromatographie sur couche mince (CCM)

L'analyse par chromatographie sur couche mince a été réalisée sur des plaques de gel de silice comme phase stationnaire, en utilisant plusieurs systèmes d'élution de polarité différente, comme phase mobile, dans cette caractérisation le cyclohexane est choisi comme phase mobile.

Le chromatogramme de l'huile essentielle extraite des feuilles de menthe verte, après révélation sous la lumière UV a montré la présence d'autres composés (Fig. IV.12).

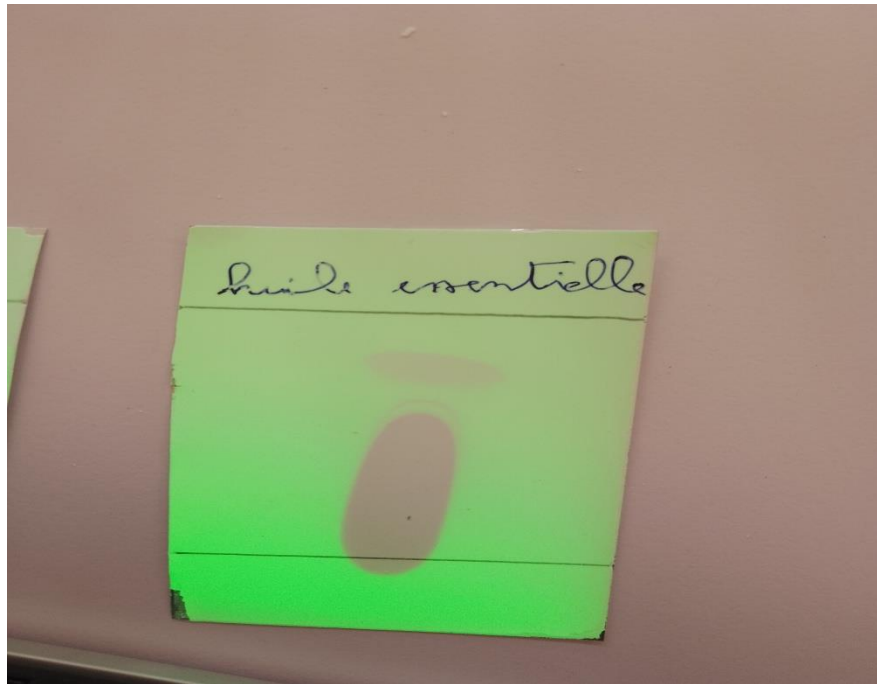


Figure IV.12: Plaque CCM d'huile essentielle extraite des feuilles de menthe verte (*mentha spicata*).

IV.4. Méthode gravimétrique

La méthode gravimétrique ou méthode de perte de masse consiste à exposer des échantillons préparés à un milieu corrosif. Après décapage, dégraissage, rinçage et séchage, on pèse un échantillon de titane, son poids initial m_0 (g) à l'aide d'une balance analytique à 10 grammes d'erreurs, en suite on l'immerge dans une solution corrosive gardée à une température et concentration bien déterminées puis on pèse l'échantillon de l'aluminium après chaque rinçage et séchage, on note ainsi son poids final m_1 , après ces étapes on déduit la vitesse de corrosion.

✚ Matériels

- Des béchers de 250 et 100 mL.
- Des fils isolés en nylon utilisés comme support des échantillons.
- Une tronçonneuse à disque en lubrifiant utilisée pour le coupage des échantillons.
- Un papier film

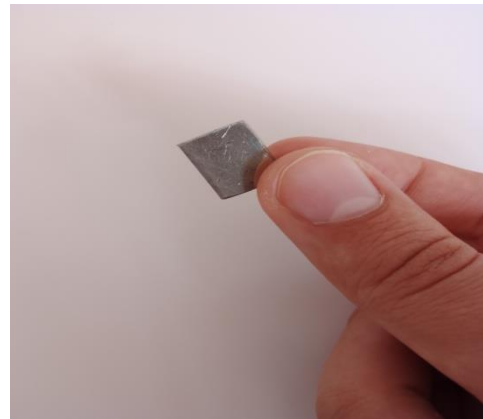
- Des papiers abrasifs (SAIT) de granulométrie (P 60, P 320, P 400, P 1200) utilisés pour le polissage des échantillons.
- Une balance de précision (OHAUS Shanghai).

Les étapes de préparation de l'échantillon sont :

- Polissage des échantillons d'aluminium au papier abrasif au carbure de silicium de granulométrie décroissante (du grain 60 jusqu'au 1200). Les échantillons sont ensuite rincés à l'eau distillée, dégraissés par l'éthanol puis rincés à l'eau distillée et séchés. A la fin de l'opération de préparation de la surface, on obtient des échantillons qui ont l'aspect d'un miroir (Figure IV.12);
- Un rinçage à l'eau distillée, puis un dégraissage à l'acétone et un rinçage à l'eau distillée ;
- Un séchage sous un flux d'air pour éviter toute sorte de réaction entre l'eau distillée et la surface de l'échantillon avant les mesures.



a



b

Figure. IV.13: Schéma représentant les étapes de préparation des substrats, a) La machine polisseuse, b) Les échantillons d'aluminium obtenus après polissage.

IV.4.1.1. Effet de la concentration

L'évaluation de la stabilité de l'adsorption des inhibiteurs à la surface d'aluminium a été réalisée par la mesure de perte de poids. La variation de la perte de masse d'aluminium (Al-CP) est déterminée après un temps d'immersion de (9 heures) dans NaCl à 3% aéré à la température ambiante du laboratoire ($25 \pm 2^\circ\text{C}$), avant et après addition d'huile extraite des feuilles de menthe verte (*mentha spicata*).

Les échantillons d'aluminium ont été immergés pendant 9 heures dans des solutions de concentrations en inhibiteur de 0,0 g/l, 0,1 g/l, 0,5 g/l, 1,0 g/l, 1,5 g/l et 2,0 g/l. Les valeurs de V_{corr} et E (%) ont été calculées à l'aide des équations (III.2, III.3 et III.4).



Figure IV.14: Schéma montrant l'essai de corrosion.

La variation de la vitesse de corrosion (V_{corr}) et le pourcentage d'inhibition E (%) ont été déterminés à partir des mesures de la perte de poids d'aluminium dans le milieu corrosif à la température ambiante du laboratoire ($25 \pm 2^\circ\text{C}$) en présence d'huile essentielle de menthe verte (HE) (Tableau IV.3).

Le taux de recouvrement (θ) a été calculé pour différentes concentrations de molécules inhibitrices dans la solution NaCl 3% aérée. Les résultats obtenus révèlent que la valeur de (θ) augmente avec l'addition de l'huile essentielle de la menthe verte (Tableau IV.3).

Tableau IV. 3: Vitesse de corrosion, efficacités inhibitrices et taux de recouvrement en absence et en présence de l'huile essentielle extraite des feuilles de menthe verte (*mentha spicata*).

C_{inh} (mol/L)	Surface (cm ²)	Δm (g)	$V_{corr} \cdot 10^{-1}$ (g/cm ² .h)	E (%)	Θ
0	3,5	0,0098	3,500	/	/
0,1	2,27	0,0063	2,500	28,57	0,28
0,5	8,12	0,0039	2,040	41,71	0,41
1	2,03	0,0028	1,538	56,05	0,56
1,5	1,16	0,0015	1,053	69,91	0,69
2	1,07	0,0003	0,311	91,11	0,91

L'addition des inhibiteurs au milieu corrosif a une influence sur la vitesse de corrosion (V_{corr}) de l'aluminium. En effet, la vitesse de corrosion diminue tandis que l'efficacité inhibitrice (E%) croît avec la concentration en inhibiteur (Figure IV.14, Figure IV.15).

Ce comportement pourrait être attribué à la forte interaction des inhibiteurs avec la surface du métal, il résulte de l'absorption des molécules sur la surface du métal.

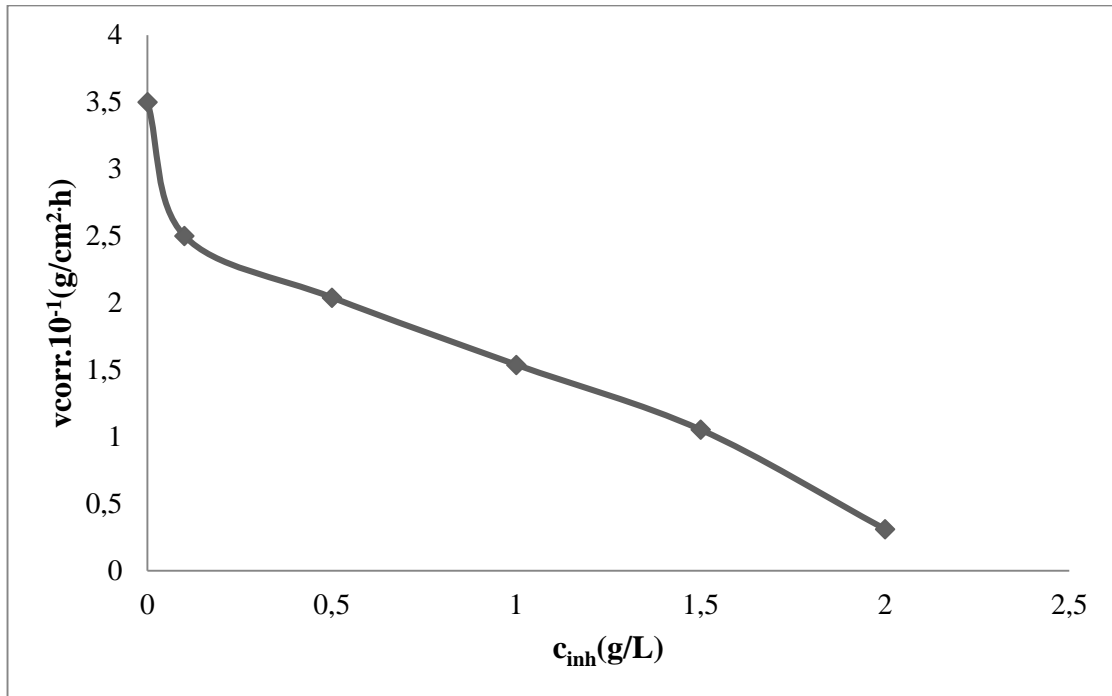


Figure IV. 15: Variation de la vitesse de corrosion en fonction de la concentration d'inhibiteur.

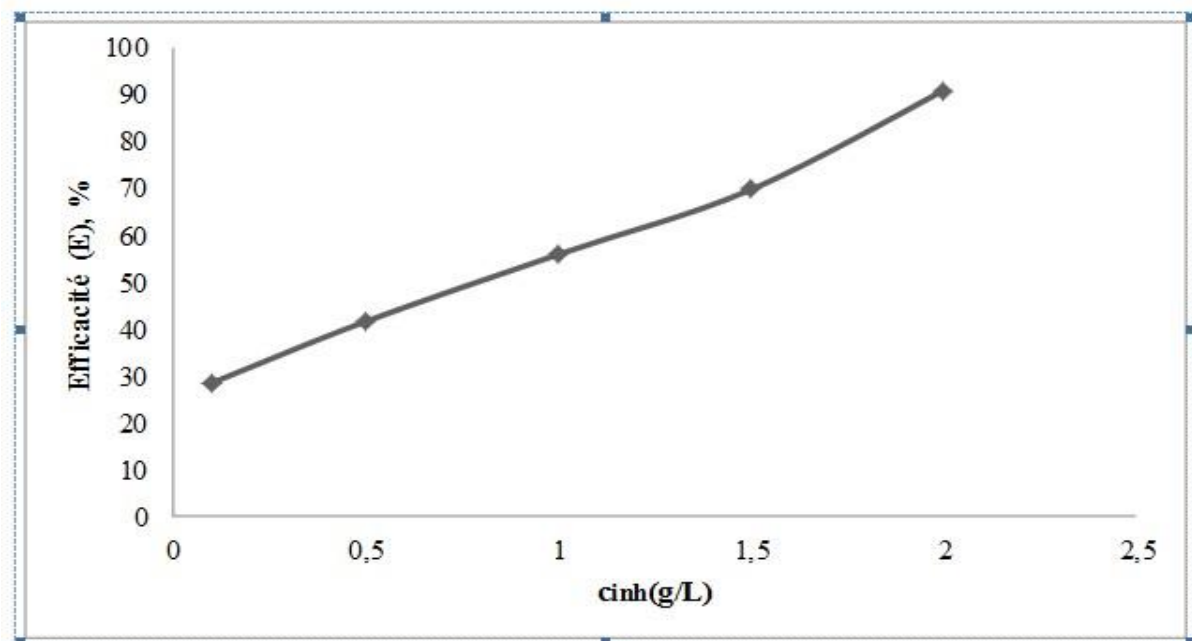


Figure IV.16: Effet de la concentration d'huile essentielle extraite des feuilles de menthe verte (*mentha spicata*) sur l'efficacité inhibitrice (E) de la corrosion de l'aluminium dans la solution NaCl 3 % aérée.

IV.4.1.2. Isotherme d'adsorption

L'adsorption de molécules organiques fournit des informations sur l'interaction entre les molécules adsorbées elles-mêmes ainsi que leur interaction avec la surface de l'électrode. Des mesures ont été effectuées pour connaître le type d'adsorption de l'inhibiteur. Dans la littérature il existe une gamme de modèles d'isothermes tels que Langmuir, Temkin, Frumkin etc.

Le modèle d'isotherme d'adsorption de Langmuir suppose qu'il existe, à la surface, un nombre fixe de sites énergétiquement identiques. Chacun des sites ne peut adsorber qu'une seule particule. De plus, le modèle suppose que les interactions entre particules adsorbées sont négligeables et, par conséquent, l'énergie d'adsorption est considérée comme constante.

L'isotherme d'adsorption de Langmuir se représente graphiquement comme une fonction linéaire. Le tableau IV.3 représente les paramètres de Langmuir à savoir, θ et C_{inh} .

D'après la figure IV.17, on constate que la valeur du coefficient de corrélation linéaire de l'isotherme de Langmuir est très proche de 1. Ceci confirme que l'adsorption de l'huile essentielle de la menthe verte sur la surface de l'aluminium obéit à l'isotherme d'adsorption de Langmuir. Ce modèle suppose que l'inhibition de la corrosion est due à la formation d'une mono couche sur la surface métallique, réduisant le contact avec l'électrolyte et que les interactions entre les particules adsorbées sont négligeables [85].

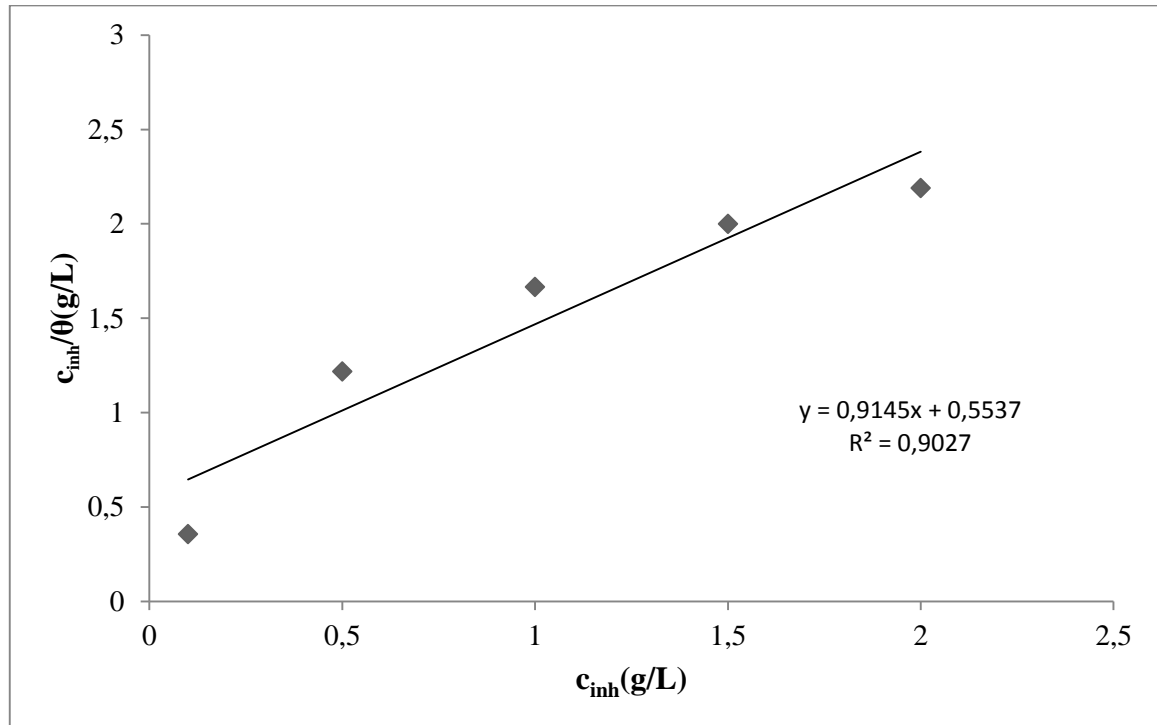


Figure IV.17: Isotherme d'adsorption de Langmuir de l'HE des feuilles de menthe verte (*mentha spicata*) sur l'aluminium, dans la solution NaCl 3 % aérée.

IV.4.1.3. Effet de la température

La température est un facteur déterminant de la stabilité d'un inhibiteur dans un milieu agressif. Les opérations de décapage sont habituellement effectuées à des températures élevées. L'augmentation de la température peut favoriser la désorption de l'inhibiteur et conduire à une rapide dissolution des composés organiques ou des complexes formés, provoquant ainsi un affaiblissement de la résistance à la corrosion.

Afin de déterminer l'effet de la température sur le pouvoir inhibiteur de l'huile essentielle de *mentha spicata*, nous avons effectué des tests à différentes températures (298,5 K ; 308,5 K, 318,5 K ; 328,5 K ; 338,5 K et 348,5 K) sans et avec une concentration de 1 g/L d'huile essentielle de *mentha spicata* dans le milieu corrosif (NaCl 3 %), le temps d'immersion est maintenu constant ($t_{im} = 1$ heure).

Pour connaître l'influence de la température sur l'évolution de la vitesse de corrosion, nous avons réalisé une série de mesures que nous présentons dans le Tableau IV.4.

Tableau IV.4: Variation de la vitesse de corrosion en fonction de la température dans le milieu salin NaCl 3 %.

T(K)	$V_{\text{corr}} \cdot 10^{-1}$ avec inhibiteur	$V_{\text{corr}} \cdot 10^{-1}$ sans inhibiteur	E (%)
298,5	2,22	6,02	63,12
308,5	3,99	8,55	53,33
318,5	5,12	10,25	50,04
328,5	7,85	13,18	40,44
338,5	10,28	15,55	33,89
348,5	15,08	20,36	22,93

La dépendance de type Arrhenius observée entre la vitesse de corrosion et la température, nous a permis de calculer la valeur de l'énergie d'activation du processus de corrosion, à différentes températures, en absence et en présence d'huile essentielle de menthe verte (*mentha spicata*), selon la relation IV.1 [86].

$$\ln(V) = \ln(A) - \frac{E_a}{RT} \quad \text{IV.2}$$

E_a : Energie d'activation de la réaction

A: Facteur préexponentiel

R: Constante des gaz parfaits ($R = 8,314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)

T: Température en Kelvin

A partir des droites $\ln V = f(1/T)$ on peut déterminer l'énergie d'activation en utilisant des régressions linéaires simples de forme $y = ax + b$ où $a = -E_a/R$

La figure IV.18 représente le tracé en coordonnées d'Arrhenius de la vitesse moyenne de corrosion de l'aluminium dans la solution NaCl 3% aérée, en l'absence et en présence d'huile essentielle.

On remarque que l'augmentation de la température diminue l'efficacité inhibitrice des composés considérés. Ce qui suggère que leurs adsorption à la surface de l'échantillon est de nature électrostatique (liaisons faibles). Ce type de liaisons sensibles à la température ne

permet pas de lutter efficacement contre la corrosion quand la température augmente. Ceci a été confirmé par la détermination de l'énergie d'activation (E_a). En effet, la valeur de l'énergie d'activation en présence de l'huile essentielle extraite des feuilles de menthe verte (*mentha spicata*), qui était $16,5 \text{ kJmol}^{-1}$ en absence de cette huile ; devient $17,9 \text{ kJ mol}^{-1}$ (Tableau IV.5). Ces valeurs sont en accord avec les données de la littérature [87,88].

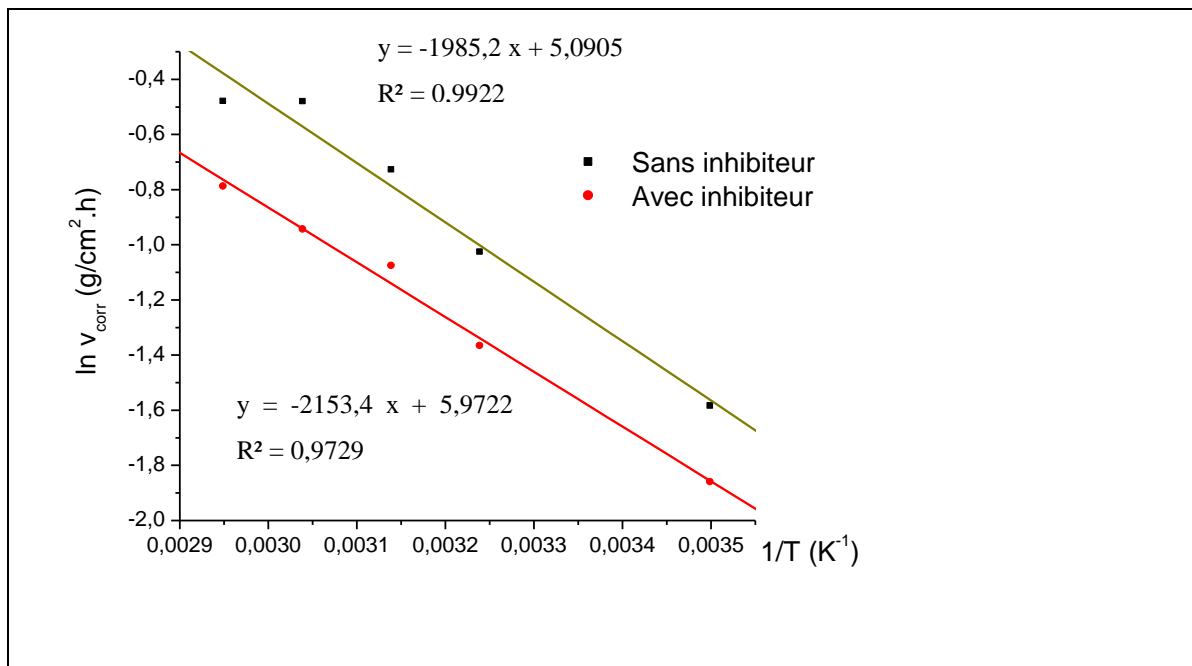


Figure IV.18: Droites d'Arrhenius de $\ln V$ en fonction de la température sans et avec inhibiteur.

Tableau IV.5: Variation de l'énergie d'activation (E_a) de l'huile essentielle sur la surface de l'aluminium à différentes températures pour $t_{\text{im}} = 1$ heure.

	La pente $-\frac{E_a}{R T}$	$E_a \text{ (KJ.mole}^{-1}\text{)}$
Sans inhibiteur	-1985,2	16,5
Avec inhibiteur	-2153,4	17,9

Les mesures ont été effectuées jusqu'à obtenir trois essais reproductibles.

Conclusion générale

Conclusion générale

Les caractéristiques de l'aluminium permettent son utilisation dans le milieu d'eau de mer, dans les échangeurs des centrales nucléaires de bord de mer, dans les usines de dessalement d'eau de mer et plus généralement dans le matériel embarqué sur bateau et plateforme off-shore. Par conséquent, les risques de corrosion apparaissent dans ces milieux.

L'utilisation des inhibiteurs de corrosion est l'une des méthodes les plus connues de protection contre la corrosion. L'efficacité de l'inhibiteur dépend de la nature du milieu, de l'état de la surface du métal, et de la structure de l'inhibiteur.

La plupart des composés synthétiques présentent une bonne action anticorrosion, mais la plupart d'entre eux sont hautement toxiques pour les êtres humains et l'environnement.

En raison des préoccupations environnementales, les huiles essentielles et les extraits de plantes sont considérés de plus en plus comme une source d'inhibiteurs de corrosion verts. Ils sont biodégradables et respectueux de l'environnement.

Le premier objectif de ce travail a consisté à obtenir l'huile essentielle de la menthe verte (*Mentha spicata*).

Le deuxième objectif était d'étudier les propriétés inhibitrices de l'huile essentielle obtenue sur l'aluminium pur dans une solution saline (NaCl 3 %) aérée.

L'inhibition de la corrosion a été étudiée à l'aide de la perte de masse, et les techniques de polarisation potentiodynamique.

Les résultats du criblage phytochimique de l'huile essentielle obtenue reflètent la richesse des extraits aqueux en, alcaloïdes, saponosides, Mucilages, flavonoïdes et aux tanins. Ces résultats sont confirmés par l'analyse UV-visible et par chromatographie sur couche mince (CCM).

Nous avons constaté également que l'adsorption de l'inhibiteur était compatible avec l'isotherme d'adsorption de Langmuir.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- [1] Larabi O., *Contribution à l'étude de l'inhibition de corrosion d'un acier au carbone par des composés organiques en milieu acide agressif*, Mémoire de Master en Chimie, Université Abou Bekr Belkaid, Tlemcen, (2017).
- [2] Develay R., Importance de l'Addition de Manganèse dans l'Aluminium et les Alliages de l'Aluminium, *Revue de l'Aluminium*, (1978).
- [3] Franklin J., *Introduction aux méthodes électrochimiques*, Edition Masson et Cie, (1967).
- [4] Pujol Lesueur V. N., *Etude de mécanisme d'action du monofluoro-phosphate de sodium comme inhibiteur de la corrosion des armatures métalliques dans le béton*, Thèse de Doctorat, Université Pierre et Marie Curie, Paris, (2004).
- [5] Belgharbi H., *Etude de l'effet inhibiteur de corrosion de l'huile essentielle de Cyprès : Extraction, caractérisation et application*, Mémoire du Projet de fin d'étude, Université 8 Mai 1945, Guelma, (2020).
- [6] Bouamama N., Madene S., *Élaboration d'un revêtement à base d'oxyde de cérium destiné à la protection de la corrosion de l'acier en milieu marin*, Mémoire de fin d'études, Université A. Mira, Bejaia, (2015).
- [7] Akilal N., *Étude de la corrosion de la soudure de l'acier A33 utilisé en construction navale*, Mémoire de Magister, Université A. Mira, Bejaia, (2004).
- [8] Landolt D., *Corrosion et chimie de surfaces des métaux*, vol. 12 PPUR presses polytechniques, (1997).
- [9] Wood J., Harris D.A., *Revue de l'Aluminium, les Alliages de Fonderie Inoxydables*. p. 882-893, (1968).
- [10] Nargel C., *Corrosion de l'aluminium*, Dunod, Paris, (1999).
- [11] Dob K., *Etude électrochimique de l'efficacité inhibitrice de substances vertes sur la corrosion de l'acier au carbone dans un milieu aqueux*, Thèse de Doctorat, Université 20 août 1955, Skikda, (2018).
- [12] Philibert J., Vignes A., Bréchet Y., Combrade P., *Métallurgie. du minerai au matériau*, Dunod, 2e édition, Paris, (2002).

- [13] Maillet A., *Interactions argilite de Tournemire / fer métal en contexte in situ : résultats a 10 ans de contact*, Thèse de Doctorat, Université de Poitiers, (2012).
- [14] Stainless Europe, *L'acier inoxydable et la corrosion*, FR-93212, Arcelor Mittal la Plaine Saint Denis -Paris (2010).
- [15] Docros L., *Le soudage manuel à l'arc électrique*, Edition J. B. Baillièere et Fils, Paris, (1971).
- [16] Ziani F., Benyahia M., *L'inhibition de la corrosion de l'acier au carbone par les huiles essentielles en milieu acide sulfurique*, Mémoire de Master, Université de Saida, Algérie, (2014).
- [17] Khelfaoui I., *Etude de l'efficacité d'inhibiteurs de corrosion organique en milieu HCl*, Mémoire de Master. Université de Biskra, Algérie, (2019).
- [18] Bencheham A., Hamrouni S., *Etude de l'Effet Inhibiteur de corrosion des extraits aqueux de quelques plantes*. Mémoire de Master. Université de Ouargla, Algérie, (2007).
- [19] Suedile F., *Extraction, caractérisation et étude électrochimique de molécules actives issues de la forêt amazonienne pour la protection du zinc contre la corrosion*, Thèse de Doctorat, Université des Antilles et de la Guyane Institut d'Enseignement Supérieur de la Guyane, France, (2014).
- [20] Uhlig H., *corrosion et protection*. Ed. Dunod, Paris, pp 87-102, pp 231- 240. ISBN2-100-04191-6, (1970).
- [21] Olav Gartland P., *Choosing the right positions for corrosion monitoring on oil and gas pipelines*, Corr. Ocean USA, n° 83, Nace, Houston, pp. 83 (1998).
- [22] Boumersbach P., Dumont C., Millet J P., *electrochemical characterization of a corrosion inhibitor: influence of temperature on the inhibition mechanism*. 207 thmeeting of the electrochemical society, Quebec City (Canada) 15-20 mai, (2005).
- [23] Vargel, C. *Corrosion de l'aluminium*, Edition. Dunod, ISBN 2-10-006569-6, 2002.
- [24] Smith, C.A., *The Corrosion Story, Zinc, Lead and Aluminum, Anti-Corrosion, Part 3*, Vol. 24, pp.13-15, (1977).
- [25] Normand B., *Prévention et lutte contre la corrosion: une approche scientifique et technique: Presses polytechniques et universitaires romandes*, (2004).
- [26] Skerray E.W., Shreir L.L., *Corrosion*, Newnes Butterworth, London, (1976).

- [27] Luminita Din-Stirbu, E., *Comportement à la Corrosion des Alliages d'Aluminium Utilisés dans l'Industrie Automobile pour la Fabrication de Radiateur Chauffage*, Thèse de Doctorat, Université de Pitesti (Roumanie), p15, (2005).
- [28] Gérard. Hartmann. *L'Aluminium historique*. Larousse des industries, (2004).
- [29] Scully, J.C., *The Fundamentals of Corrosion*, International Series of Monographs on Materials Science and Technology, 2nd Ed. Pergamon International, Oxford, Vol. 17, (1975).
- [30] Tho. Thompson. G., *Porous anodic alumina .Fabrication characterization and application. Thin solid. Films*; 29(1-2) -192-201, (1997).
- [31] Haddouche A, Mémoire de fin d'étude en Master Intitulé : Caractérisation physico-chimique des alliages d'Aluminium utilisés comme matériau de revêtement mural Université Med Khider Biskra , Faculté des Sciences Exactes et des Sciences de la Nature et de la Vie, Département des Sciences de la Matière Domaine des Sciences de la Matière, Filière de Physique, Spécialité Physique des Matériaux, p 3-6, (2013-2014).
- [32] Diagramme d'Equilibre Tension/ pH du Système Al-HO₂ à 25°C, Rapport Technique N°42, Cebelcor, Décembre (1956).
- [33] Rahmouni K., *Corrosion et protection des bronzes recouverts de patine : étude électrochimique et spectroscopique de la surface d'objets archéologiques et synthèse d'une patine équivalente sur un bronze du commerce*, Thèse de Doctorat, Université Pierre et Marie CURIE. Paris VI., (2005).
- [34] Bentiss F., *synthèses et études physicochimiques des inhibiteurs organiques de corrosion en milieu acide*, thèse de Doctorat, Université de Lille, (1999).
- [35] Firas A., Sersa A., *Etude de l'efficacité de deux inhibiteurs de la corrosion d'un acier x70*, Mémoire de Master, Université Mohamed Khider, Biskra, (2020).
- [36] Aliouali A., *Etude du comportement à la corrosion de l'aluminium dans différents milieu*, thèse de Magister, université de Batna 2, (2017).
- [37] Scully, J.C., *The Fundamentals of Corrosion*, International Series of Monographs on Materials Science and Technology, 2nd Ed. Pergamon International, Oxford, Vol. 17, (1975).

- [38] Fiala A., *Synthèses et caractérisation de nouvelles molécules contenant du soufre et de l'azote, études de leur effet inhibiteur sur la corrosion des métaux de transition application a la protection du cuivre en milieux acide*, Thèse de Doctorat, université Mentouri, Constantine, (2007).
- [39] Messaoudi H., *Nouvelle voie d'inhibition de la corrosion du cuivre par la caféine : corrélation entre la simulation par la DFT et l'étude expérimentale*, Mémoire de Magister , Université du 20 aout 1955, Skikda ,(2014).
- [40] Mezhoud B., *synthèse des inhibiteurs contre la corrosion des aciers*, Mémoire de Magister , Université Mentouri, Constantine , (2011).
- [41] Fiaud C., *Inhibiteur de corrosion*, Université Pierre & Marie curie, ENSC, Paris. Techniques de l'ingénieur, Traité corrosion – Vieillessement, Vol. Cor 1005, pp. 1-14 (2006).
- [42] Derfouf-Talbi H., *Etude de l'inhibition de la corrosion de l'acier au carbone (XC38) par l'extrait aqueux de plantes sahariennes dans le milieu acide chlorhydrique 1M*, Thèse de Doctorat, Université Abou-Beker Belkaid, Tlemcen, (2019).
- [43] Cao C., *On electrochemical techniques for interface inhibitor research*, *Corros. Sci.* 38 2073-2082, (1996).
- [44] Landolt D., *Corrosion et Chimie de Surface des Métaux*, 1st Edn, Alden Press, Oxford, 495 (1993).
- [45] https://fr.wikipedia.org/wiki/Mentha_spicata. 24/04/2022, 16:45.
- [46] <https://jardinage.lemonde.fr/dossier-182-menthe-mentha-spicata-plante-aromatique-rafraichissante.html>.02/04/2022, 23:19.
- [47] Benmehdi H., Hasnaoui O., Benali O., Salhi F., *Phytochemical investigation of leaves and fruits extracts of Chamaerops humilis L.* *J. Mater. Environ. Sci.* 3 (2) 320-237, (2012).
- [48] Dahmani R., *Etude édapho-floristique du Pistacia lentiscus L. des zones littorales et continentales de l'ouest Algérien*, Mémoire de Master, Université Abou Baker Belkaid, Tlemcen, (2015).
- [49] Thorne R.F., et Reveal J.L., *An updated classification of the class Magnolipsida (Angiospermae)*.*Bot.Rev.* 73(2). Pp : 67-182 (116), (2007).

- [50] Hans W., Koth, S., *1000 plantes aromatiques et médicinales*. Ed : Terre, (2007).
- [51] Yvan T., *Pharmacologie 8ème Edit*. Masson. Paris-Milan-Barcelone ; (1997).
- [52] Arab K., Bouchenak O., Yahiaoui K., *Phytochemical study and evaluation of the antimicrobial and antioxidant activity of essential oils and phenolic compounds of pistacia lentiscus L*. Journal of Fundam Appl. Sci. 6 (1), 77-9, (2014).
- [53] Nicolas F., *Conseils et utilisation des huiles essentielles les plus courantes en officine*, Thèse de Docteur en pharmacie, Université Paul Sabatier, Toulouse, (2017).
- [54] Ben youcef H., Djediat M., *Etude biologique des huiles essentielle du mentha spicata et formulation d'un lave-mains*, Université A.M.OULHAJ, Bouira, (2018).
- [55] Benouali D., *Extraction et identification des huiles essentielles, cours de séparation et analyse des biomolécules*, Université de Mohamed Boudiaf, Oran, (2016).
- [56] Perillaud M., *Propriétés thérapeutiques des huiles essentielles de plantes aromatiques du maquis corse*, Thèse pour le diplôme d'état de docteur en pharmacie, Université de Lille, (2018).
- [57] Couic-marinier F., Lobstein A., *Composition chimique des huiles essentielles*. Actualités pharmaceutiques N° 525, pp. 22-25, (2013).
- [58] Vigan M., *Les huiles essentielles : leur retour et leur toxicité*, (2009).
- [59] Regnault-Roger C., *Moyens alternatifs et agriculture durable en Afrique de l'Ouest*. *Phytoma*. La défense des végétaux. N° 624-525, (2009).
- [60] Bruneton J., *Pharmacognosie Phytochimie : Plantes médicinales*. 3^{ème} édition.Ed. Tec et Doc, Paris, (1999).
- [61] Luicita. Iagunez Rivera., *Etude de l'extraction de métabolites secondaires de différentes matières végétales en réacteur chauffe par induction thermomagnétique directe*. Thèse de l'institut national polytechnique de Toulouse, France, (2006).
- [62] https://www.memoireonline.com/01/14/8674/m_Etude-de-la-variation-du-rendement-et-de-la-composition-chimique-du-Curcuma-longa-et-Myristica-fragr8.html, 21/05/2022, 17:52.
- [63] Lucchesi M., *Extraction Sans Solvant Assistée par Micro-ondes Conception et Application à l'extraction des huiles essentielles*, Université de La Réunion, (2005).

- [64] Bousbia N., *Extraction des huiles essentielles riches en anti-oxydants à partir de produits naturels et de co-produits agroalimentaires*, Thèse de Doctorat, Université D'Avignon et des payes de Vaucluse, (2011).
- [65] https://www.researchgate.net/figure/montage-dhydrodistillation_fig2_325202773, 12/05/2022, 20:25.
- [66] Hameurlaine S., *Mise en évidence des huiles essentielles contenues dans les plantes Pituranthos scoparius et Rhantherium adpressum de la région de Ghardaïa*, Mémoire de Magister, Université de Ouargla, (2009).
- [67] Leszczynska D., *Management de l'innovation dans l'industrie aromatique: Cas des PME de la région de Grasse*. Editions l'Harmattan, Paris, France, (2007).
- [68] Peterson A., Machmudah S., Roy B. C., Goto M., Sasaki M., & Hirose T., *Extraction of essential oil from geranium (Pelargonium graveolens) with supercritical carbon dioxide*. Journal of Chemical Technology & Biotechnology: International Research in Process, Environmental & Clean Technology, 81(2), 167-172, (2006).
- [69] Pereira, C. G., & Meireles, M. A. A. *Supercritical fluid extraction of bioactive compounds: fundamentals, applications and economic perspectives*. Food and Bioprocess Technology, 3 (3), 340-372, (2010).
- [70] https://www.zayataroma.com/fr/methodes-dextraction?slug=fr/methodes_dextraction, 24/04/2022, 00:45.
- [71] Mayer F., *Utilisations thérapeutiques des huiles essentielles, étude de cas en maison de retraite*, Thèse pour obtenir le diplôme d'état de docteur en pharmacie, Université de Lorraine, (2012).
- [72] Gueye M., *Caractérisation par infrarouge à transformée de Fourier des réactions chimiques entre post-décharges et précurseurs organosilicés: cas du 3-aminopropyltriéthoxysilane (APTES)*, Thèse de Doctorat, Université de Lorraine, (2016).
- [73] <https://www.maxicours.com/se/cours/spectres-ultraviolet--visible/>.14/05/2022,01:45.
- [74] Sail L., Ghomari A., Khelidj A., Bezzar A., Benali O., *La perte de masse dans l'inhibition de la corrosion d'un acier*, Lebanese Science Journal. Vol. 14, (2013).

- [75] Landolt D., *Corrosion et Chimie de Surface des Métaux*, 1st Edition, Alden Press, Oxford, 489, (1993).
- [76] <https://sites.google.com/site/projetdestageakram/programme/etapes>, 12/05/2022, 19:15.
- [77] Emeline H., *Corrosion d'un type de minivis d'ancrage orthodontique en Ti6 Al 4*, Thèse de Doctorat, Université de Lorraine, (2014).
- [78] Landolt., *Chimie et Corrosion*, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, (1993).
- [79] Chaouch N., *Etude des alcaloïdes dans le coloquinte Colocynthisvulgaris (L) Schrad (Cucurbitacées), Région de Oued N'sa (Wilaya de Ouargla)*, Mémoire de Magister. Université d'Ouargla, (2001).
- [80] Dohou N., Yamni K., Tahrouch S., *Screening phytochimique d'une endémique Ibéro Marocaine. Thymelaea lythroides*. Bullin de la société de pharmacie 142: 61-78, (2003).
- [81] Harbone J.B. *Comparative biochemistry of flavonoids*. New York: Academic Press, 1-, (1967).
- [82] Karumi Y., Onyeyili P.A., Ogugbuaja O. V., *Identification of active principals of M.balsamina (balsam Apple) leaf extract*. Journal of Medical Sciences 4 (3): 179-182, (2004).
- [83] Benzahi K., *Contribution à l'étude des flavonoïdes dans la Plante cynodnDactylon-Lchindent*, Mémoires de Magister Université d'Ouargla,, P, 15-17, (2001).
- [84] Salhi A., Chetouani A., Bouyanzer A., Amhamdi H., *The inhibitive action of Pistacia Lentiscus as a potial green corrosion inhibitor for mild steel in acidic medium*, Moroccan Journal of Chemistry, 4 N°4 1037-1051, (2016).
- [85] Ladouani H., *Inhibition de la corrosion du cuivre en milieu acide par les dérivés de dithioacétal de cétène*, Thèse de Magister, Université Mentouri, Constantine, (2011).
- [86] <https://www.alloprof.qc.ca>, 02/05/2022, 16:50.
- [87] Hegazy M.A., Abdallah M., Alfakeer M., Ahmed H., *Corrosion Inhibition Performance of a Novel Cationic Surfactant for protection of Carbon Steel Pipeline in Acidic Media*, Int. J. Electrochem. Sci. 13, (2018).

- [88] Benarioua M., *Etude de l’Inhibition de la corrosion d’un acier doux en milieu acide par l’emploi d’inhibiteurs à base de plantes*, Thèse de Doctorat, Université de Mostefa Ben Boulaïd, Batna, (2019).

Résumé

Les caractéristiques du aluminium permettent son utilisation dans le milieu de l'eau de mer, pour les échangeurs des centrales nucléaires de bord de mer, les usines de dessalement d'eau de mer et plus généralement pour le matériel embarqué sur bateau et plate-forme off-shore. Par conséquent, les risques de corrosion apparaissent dans ces milieux.

Les produits naturels tels que les extraits et les huiles essentielles de plantes semblent être une alternative écologique idéale pour remplacer les traditionnels inhibiteurs de corrosion. Ces huiles et ces extraits de plantes sont devenus une source d'inhibiteurs, écologiques qui garantissent une efficacité élevée à un prix moins cher. Ces types d'inhibiteurs ne contiennent ni des métaux lourds, ni des composés toxiques et ils sont biodégradables.

Le premier objectif de ce travail a consisté à obtenir l'huile essentielle de la plante menthe verte (*Mentha spicata*).

Le deuxième objectif était d'étudier les propriétés inhibitrices d'huile essentielle obtenue sur le titane dans une solution saline (NaCl 3%) aérée.

L'inhibition de la corrosion a été étudiée à l'aide de la perte de masse.

Les constatations préliminaires du criblage phytochimique d'huile essentielle sont prometteuses du fait que l'huile essentielle étudiée contient alcaloïdes, saponosides, Mucilages, flavonoïdes, tanins et aux terpènes. Cette composition chimique apparait souvent dans des inhibiteurs de corrosion organiques. Ces résultats sont confirmés par l'analyse par UV-visible et par chromatographie sur couche mince (CCM).

L'adsorption de l'inhibiteur était compatible avec l'isotherme d'adsorption de Langmuir. Ce modèle suppose que l'inhibition de la corrosion est due à la formation d'une mono couche sur la surface du métal.

Mots clés: Aluminium, huile essentielle, solution saline, corrosion.

Abstract

The characteristics of aluminum allow its use in the seawater environment, for seaside nuclear power plant exchangers, seawater desalination plants and more generally for equipment on board ships and platforms off-shore. Consequently, the risks of corrosion appear in these environments.

Natural products such as plant extracts and essential oils seem to be an ideal ecological alternative to replace traditional corrosion inhibitors. These oils and plant extracts have become a source of ecological inhibitors that guarantee high efficiency at a cheaper price. These types of inhibitors do not contain heavy metals or toxic compounds and are biodegradable.

The first objective of this work was to obtain the essential oil from the spearmint (*mentha spicata*) plant.

The second objective was to study the inhibitory properties of essential oil obtained on aluminum in saline solution (3% NaCl).

The inhibitor has been tested by mass loss techniques.

The preliminary findings from the phytochemical screening of essential oil are promising because the essential oil studied contains alcaloïdes, saponosides, Mucilages, flavonoïdes, tanins et aux terpènes. This chemical composition often appears in organic corrosion inhibitors. These results are confirmed by UV-visible analysis and by thin layer chromatography(TLC).

The adsorption of the inhibitor was consistent with the Langmuir adsorption isotherm.

Key words: Aluminum, essential oil, saline solution, corrosion.

ملخص

تسمح خصائص الألمنيوم باستخدامه في بيئة مياه البحر ، ومبادلات محطات الطاقة النووية الساحلية ، ومحطات تحلية مياه البحر ، وبشكل عام للمعدات على متن السفن والمنصات. وبالتالي تظهر مخاطر التآكل في هذه البيئات.

يبدو أن المنتجات الطبيعية مثل المستخلصات النباتية والزيوت الأساسية هي بديل بيئي مثالي لتحل محل مثبطات التآكل التقليدية. أصبحت هذه الزيوت والمستخلصات النباتية مصدرًا للمثبطات البيئية التي تضمن كفاءة عالية بسعر أرخص. لا تحتوي هذه الأنواع من المثبطات على معادن ثقيلة أو مركبات سامة وهي قابلة للتحلل.

كان الهدف الأول من هذا العمل هو الحصول على الزيت العطري من نبات النعناع(النعناع سبيكاتا).

الهدف الثاني هو دراسة الخصائص المثبطة للزيت العطري المتحصل عليه على الألمنيوم في محلول ملحي (3% كلوريد الصوديوم).

تم اختبار المانع بواسطة تقنيات فقدان الكتلة .

النتائج الأولية من الفحص الكيميائي النباتي للزيوت العطرية واعدة لأن الزيت العطري الذي تمت دراسته يحتوي على قلويدات و صابونوزيدات و صمغيات وفلافونويد وتانينات وتربينات. غالبًا ما يظهر هذا التركيب الكيميائي في مثبطات التآكل العضوية. تم تأكيد هذه النتائج من خلال تحليل الأشعة فوق البنفسجية المرئية وعن طريق التحليل المرئي للأشعة فوق البنفسجية وعن طريق الفصل اللوني للطبقة الرقيقة.

كان امتزاز المثبط متنسقًا مع متساوي الحرارة لانجموير الامتزاز. يفترض هذا النموذج أن منع التآكل ناتج عن تكوين طبقة واحدة على سطح المعدن.

الكلمات المفتاحية: الألمنيوم ، زيت أساسي ، محلول ملحي ، تآكل.