

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة غرداية

N° d'enregistrement

Université de Ghardaïa

/...../...../...../.....



كلية العلوم والتكنولوجيا

Faculté des Sciences et de la Technologie

قسم هندسة الطرائق

Département de Génie des Procédés

Mémoire de fin d'étude, en vue de l'obtention du diplôme

Master

Domaine: Science et technologies

Filière: Génie des Procédés

Spécialité: Génie Chimique

Thème

L'effet inhibiteur de l'extrait chloroformique

d' *Oudneya Africana*

Présenté par :

SAYAH Fatima Zohra

LAGHOUTER Fatima Zohra

Devant le jury composé de:

MANSOURI Khaled

MCB

Université de Ghardaïa

Encadrant

AGGOUN Mohammed Salah

MAA

Université de Ghardaïa

Examineur

BABA ARBI Ilias

MAA

Université de Ghardaïa

Examineur

Année universitaire 2021 - 2022

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Dédicaces

Je dédie ce travail à

Mes parents :

Mon père, qui peut être fier et trouver ici le résultat de longues années de sacrifices et de privations pour m'aider à avancer dans la vie. Puisse Dieu faire en sorte que ce travail porte son fruit ; Merci pour les valeurs nobles, l'éducation et le soutien permanent venu de toi.

Ma mère, qui a œuvré pour ma réussite, de par son amour, son soutien, tous les sacrifices consentis et ses précieux conseils, pour toute son assistance et sa présence dans ma vie, reçois à travers ce travail aussi modeste soit-il, l'expression de mes sentiments et de mon éternelle gratitude.

Ma grand-mère qui m'a toujours soutenue avec ces belles paroles.

Mes oncles et mes tantes qui m'ont toujours encouragé.

Mon frère et **mes sœurs** que j'adore énormément.

Mes amies et ma binôme **Fatima** qui étaient toujours à mes côtés et soutenus dans les moments difficiles.

A tous et à toutes un grand merci.

S/ Zohra Fatima

Dédicaces

Je dédie ce travail à celle qui m'a donné la vie, le symbole de la tendresse qui s'est sacrifiée pour mon bonheur et ma réussite, à mon adorable
ma mère,

A mon chère père « Moussa », école de mon enfance, qui a été mon ombre durant toutes les années d'études, et qui a veillé durant toutes ces années à m'encourager, à me donner l'aide nécessaire pour que je réussisse dans tout ce que j'entreprends tout en me protégeant.

A mes grand parents

A mes chers frères, et ma sœur adorée ,

A Toute la famille « LAGHOUITER »

*A ma chère amie **Fatima Zahra***

*A Mes chers amies **Meriam, Kaouther** , En témoignage de l'amitié qui nous unit et des souvenirs de tous les moments que nous avons passés ensemble, A tous ceux que je n'ai pas cités bien sûr, ils ont chacun leur nom*

A toute la promo MASTER II Génie Chimie 2021/2022

je vous dédie ce travail et je vous souhaite une vie pleine de santé et de bonheur.

L/ Fatima Zohra



Remerciements

En préambule à ce travail nous remercîment ALLAH qui nous aide et nous donne la patience et le courage durant ces années d'étude.

*Nous voudrions remercier encadrant mon encadreur
Docteur Mr .MANSOURI Khaled. docteur à l'université de
GHRDAIA, pour m'avoir suivi durant mon travail dans le cadre de ce
mémoire, pour ses conseils précieux, et la compétence de son encadrement*

*os vifs remerciements vont à Mme N.Halali, Responsable du département de génie des
procédés*

*Nous tenons à exprimer nos sincèresremercîments tous les
professeurs qui nous ont enseigné et qui par leur compétences nous ont
soutenu dans la poursuite de nos études .*

*Nous tenons également à remercier les honorables professeurs d'avoir accepté d'arbitrer ce
travail*

*Enfin, on remercie tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à
la réalisation de ce travail.*



Liste des Figure

N Figure	Titre de figure	Page
Figure II.1	Montage d'hydrodistillation	15
Figure II.2	Schéma d'extraction liquide-liquide	16
Figure II.3	Hydrodistillation assistée par micro-ondes	17
Figure II.4	Oudneya africana	19
Figure III.1	Schémas du phénomène de corrosion.	25
Figure III.2	a)-Distribution homogène des demi-réactions anodiques et cathodiques génère une corrosion uniforme] et b)-exemple de l'acier en carbone	28
Figure III.3	a)-Localisation d'une des demi-réactions anodique ou cathodique génère une corrosion localisée et b)- corrosion localisée : exemple de l'acier	29
Figure III.4	Corrosion par piqûre de l'aluminium	29
Figure III.5	a)- Corrosion caverneuse b)-exemple d'un acier allié sous un joint	30
Figure III.6	Aspect et mécanisme de la corrosion-érosion	30
Figure III.7	a)- la corrosion galvanique b)- corrosion galvanique au niveau d'une zone de brasage entre la brasure Cu-p et le tube en cuivre.	31
Figure III.8	La corrosion sous contrainte	31
Figure III.9	Corrosion au niveau des joints de grains d'une structure métallique	32
Figure III.10	Corrosion filiforme sur un échantillon d'aluminium peint et scarifié	32
Figure III.11	Défaillance par la fatigue- corrosion d'un tube d'économiseur à basse pression	33
Figure III.12	Mécanisme de la corrosion sélective d'un laiton (alliage cuivre-zinc)	33
Figure IV.1	Représentation schématique des modes d'adsorption des molécules organiques inhibitrices sur une surface métallique.	46
Figure IV.2	Formation des couches barrières (A) cathodiques et (B) anodiques interférant avec les réactions électrochimiques, dans le cas d'une étude en milieu acide	47

Liste des Figure

Figure IV.3	Détermination des paramètres électrochimiques à partir des droites de Tafel.	51
Figure IV.4	Courbe Intensité-potentiel en échelle linéaire (contrôle par un processus de transfert de charge); en pointillés : courbes de polarisation partielles anodique et cathodique.	52
Figure. IV.5	Schéma d'un système électrochimique non linéaire soumis à une perturbation sinusoidal	53
Figure. IV.6	Schéma d'une fonction de transfert.	54
Figure V.1	Montage de chauffage à reflux simple.	58
Figure VI.1	La perte de masse en fonction de concentration.	70
Figure VI.2	La vitesse en fonction de concentration.	72
Figure VI.3	Le rendement en fonction de concentration.	73

Liste des Photos

N Photo	Titre des photos	Page
Photo II.1	D'oudneya africana	18
Photo V.1	Scie à ruban	61
Photo V.2	Fraiseuse	61
Photo V.3	Polisseuse à chaud	61
Photo V.4	Polisseuse à froid	62
Photo V.5	Acier X70 Avant le polissage	62
Photo V.6	Acier X70 Après le polissage	62
Photo V.7	Inhibiteur (l'extrait d'oudneya africana)	63
Photo V.8	Le milieu corrosif acide chlorhydrique 1M (HCl)	64
Photo V.9	Plonge l'acier X70 dans le milieu corrosif	65
Photo V.10	Plonge l'acier X70 dans inhibiteur	65
Photo VI.1	L'échantillon avant immersion	71
Photo VI.2	L'échantillons après immersion	71

Liste des tableaux

N Tableau	Titre du Tableau	Page
Tableau II.1	Position systématique d' oudneya Africana.	18
Tableau III.1	Représente les facteurs de corrosion.	34
Tableau V.I	Matières et matériels de l'expérience.	59
Tableau V.2	Résumé Les compositions chimiques de l'acier X70 .	60
Tableau VI.1	Présentée la déférence volume d'extrait .	70
Tableau VI.2	Les mesures des déférentes Paramètres de l'acier X70 en absence et présence d'inhibiteurs.	72

Liste des abréviations

Liste des abréviations:

Abréviations	Indicateurs
HE	Huile essentielle
NACE	National Association of Corrosion Engineers
Iso 8044	Organisation internationale de normalisation 8044
<i>M</i>	La perte de poids de l'échantillon après immersion dans solution sans inhibiteur
<i>m_{inh}</i>	La perte de poids de l'échantillon après immersion dans la solution avec inhibiteur
E_{corr}	Potentiel de corrosion
I_{corr}	Vitesse instantanée de corrosion
R_p	Résistance de polarisation
I_a	Densité de courant partiel anodique
I_c	Densité de courant partiel cathodique
b_a	La pente de Tafel de réaction anodique
b_c	La pente de Tafel de réaction cathodique
η	Nombre d'électrons transférés
R	Rendement
m	La perte de masse
L	Longueur
H	Hauteur
D	Largeur
V	Vitesse de corrosion sans inhibiteur
V_i	Vitesse de corrosion avec inhibiteur

Résumé

Ce travail porte sur l'inhibition de la corrosion de l'acier X70 en milieu acide HCl 1M par l'extraits de plantes oudneya africana. Il existe Plusieurs méthodes pour empêcher ou retarder la corrosion des matériaux métalliques, l'utilisation des inhibiteurs est l'une des meilleures techniques qui assure leur protection lors qu'ils sont en contact avec des milieux très agressifs tel que le milieu acide chlorhydrique. L'influence de la présence de l'extrait a différente pourcentage sur les processus de corrosion de l'acier X70 en milieu HCl 1M a été étudiée par des mesures la perte de masse. Les résultats obtenus ont montré que l'efficacité inhibitrice de la corrosion atteint une valeur maximale d'environ 97,134 % après l'ajout de l'extrait de la plante oudneya africana avec des différentes concentrations. Après 20 minutes.

Mots clés : Corrosion, inhibition, acier x70 ,oudneya africana , milieu corrosif.

المخلص

يركز هذا العمل على تثبيط تآكل الفولاذ X70 في وسط حمضي بواسطة المستخلصات النباتية oudneya africana هناك عدة طرق لمنع أو تأخير تآكل المواد المعدنية ، ويعتبر استخدام المثبطات من أفضل التقنيات التي تضمن حمايتها عند ملامستها لوسائط شديدة العدوانية مثل حمض الكلور. تمت دراسة تأثير وجود المستخلص بنسب مختلفة على عمليات التآكل لفولاذ X70 في وسط حمض الهيدروكلوريك وذلك بقياس فقد الكتلة. أظهرت النتائج المتحصل عليها أن كفاءة تثبيط التآكل وصلت إلى أقصى قيمة بلغت حوالي 97.134% بعد إضافة مستخلص نبات oudneya africana بتركيز مختلفة. 20 دقيقة.

الكلمات المفتاحية: تآكل ، تثبيط ، فولاذ x70 ، oudneya africana ، بيئة التآكل.

Abstract

This work focuses on the inhibition of the corrosion of X70 steel in an acid medium of 1M HCl by plant extracts oudneya africana. There are several methods to prevent or delay the corrosion of metallic materials, the use of inhibitors is one of the best techniques that ensure their protection when they are in contact with very aggressive media such as hydrochloric acid. The influence of the presence of the extract at a different percentage on the corrosion processes of X70 steel in 1M HCl medium was studied by measuring the loss of mass. The results obtained showed that the corrosion inhibiting efficiency reached a maximum value of about 97.134% after adding the extract of the plant oudneya africana with different concentrations. After 20 mins.

Keywords: Corrosion, inhibition, steel x70, oudneya africana, corrosive environment.

Sommaire

Titre	Page
Dédicace	
Remercîment	
Liste des figures	
Liste des photos	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations	
Résumé	
Sommaire	
Introduction Générale	1
Chapitre I Plantes médicinales	
I.1.Introduction	4
I.2.Définition des plantes médicinales	4
I.3.origine des plantes médicinales	4
I.3.1.Les plantes spontanées	4
I.3.2.Les plantes cultivées	5
I.4.Utilisation des plantes médicinales	5
I.5.La phytothérapie	5
I.6.Définition et fonctions des métabolites secondaires	6
I.7.Classification des métabolites secondaires	6
I.7.1.Les composées phénoliques	6
I.8. Les différentes méthodes de préparation des plantes médicinales	8
I.8.1. L'infusion	8
I.8.2.Décoction	8
I.8.3.La macération	8
I.8.4.Les compresses	8
I.8.5. La lixiviation ou percolation	8
I.8.6. Le suc	9
I.8.7. L'inhalation	9
Conclusion	10
Références bibliographiques	11
Chapitre II Extraction des plantes	
II.1. Introduction	13
II.2.Définitions L'extraction	13

Sommaire

II.3.Principe	13
II.4.Intérêt de l'extraction	13
II.5.Type d'extraction	14
II.5.1. L'enfleurage	14
II.5.2. L'extraction par les solvants volatils	14
II.5.3. Extraction par hydrodistillation	14
II.5.4. Extraction liquide-liquide	15
II.5.5. Extraction solide-liquide	16
II.5.6. Extraction assistée par micro-ondes	16
II.6. Plante oudneya africana	17
II.6.1. Présentation	17
II.6.2. Présentation de famille des brassicacées (crucifères)	17
II.6.3. La plante oudneya africana	18
II.6.4. Position systématique	18
II.6.5. Etude botanique	19
II.6.6. Description botanique et systématique	19
II.6.7. Utilisation traditionnelle	19
II.6.8. Etude chimique	20
Conclusion	21
Reference bibliographique	22
Chapitre III La corrosion	
III.1. Introduction	25
III.2. Définition de la corrosion	25
III.3. Mécanismes réactionnels de la corrosion	26
III.3.1. Réactions partielles	26
III.4. L'origine de corrosion	26
III.5. Types de corrosion	27
III.5.1. Corrosion chimique (sèche)	27
III.5.2. Corrosion électrochimique (humide)	27
III.5.3. Corrosion biochimique (biocorrosion)	28
III.6. Morphologie de la corrosion	28
III.6.1. Corrosion uniforme	28
III.6.2. Corrosion localisé	28
III.7. Facteur de corrosion	33

Sommaire

III.7.1. Facteurs accélérateur de corrosion	35
III.8. les acier	35
III.8.1. Définition des acier	35
III.8.2. Fabrication de l'acier	36
III.8.3. Différents types des aciers	36
Conclusion	37
Références Bibliographiques	38

Chapitre IV Les inhibiteurs	
IV.1. Introduction	43
IV.2. Historique	43
IV.3. Définition	44
IV.4. Lutte contre la corrosion	44
IV.5. Critères de inhibiteur	44
IV.6. Utilisation	45
IV.7. Conditions d'utilisation	45
IV.8. Classification de inhibiteur	45
IV.8.1. Inhibiteur Selon la nature de l'inhibiteur	45
IV.8.2. Inhibiteur Selon l'action	46
IV.8.3. Inhibiteur selon le mécanisme réactionnel	47
IV.8.4. Selon le domaine d'application	48
IV.9. Méthodes des détermination d'efficacité inhibitrice	49
IV.9.1. Méthode par perte de masse	49
IV.9.2. Méthodes électrochimiques	50
Conclusion	55
Références bibliographiques	56
Chapitre V Matériels et méthodes	
V.1. Introduction	58
V.2. Procédure expérimentale	58
V.3. Méthode	58
V.3.1. Extraction a reflux	58
V.3.2. Filtration	59
V.3.3. Perte de masse	59

Sommaire

V.4. Matière et matériels	59
V.4.1.l'acier au carbone (X70)	60
V.5 . Préparation d'échantillons	61
V.5.1. Préparation d'acier	61
V.5.2. Préparer l'inhibiteur (l'extrait d'oudneya africana) :	62
V.5.3. Préparer le milieu corrosif	63
V.5.4.Préparation les essais	65
V.6. Mode opératoire	65
Reference bibliographique	67
Chapitre VI Résultats et discussions	
VI.1.Introduction	70
VI.2. Détermination La perte de masse	70
VI.3. Etude de l'efficacité inhibitrice	71
Conclusion Générale	76
Recommandation	77

Introduction Générale

Introduction générale

La corrosion est un phénomène de dégradation des métaux et c'est un problème mondial majeur qui touche les aciers . Ses conséquences de l'utilisation des matériaux dans différents domaines ,particulièrement dans l'industrie et les installation pétrolières .

La corrosion est un action chimique complexe, difficile pour à expliquer. parfois Il n'y a pas une corrosion mais nombreux formes de corrosion possibles pour les métaux. .

Il existe plusieurs moyennes de protection contre la corrosion métallique par exemple l'inhibiteur qui présente une technologie de protection facile qui dépend a des sources naturelles ou chimique ,cette technologie considère comme le seul moyenne d'intervention à partir du milieu corrosif .

L'étude des inhibiteur de corrosion dépend a plusieurs méthodes :la perte de masse , la spectroscopie d'impédance électrochimique et méthode de Tafel .la méthode de perte de masse c'est un méthode facile et plus simple par rapport à d'autres type d'essais.

Le travail que nous présentons dans ce mémoire est subdivisé en deux parties principales et une conclusion générale. La première partie, concerne une synthèse théorique, composée de trois chapitres contenant respectivement:

- Le premier chapitre consiste à l'étude bibliographie, les plantes médicinales, ces principaux métabolites secondaires, les usages traditionnels.
- Le deuxième chapitres consiste l'extraction, La présentation botanique de la famille des Brassicacées et l'espèce *Oudneya africana* .
- Le troisième chapitres «la corrosion» consiste à l'étude théorique de la corrosion, les types de corrosion, les facteurs provoquant de la corrosion et les différentes formes de corrosion .
- Le quatrième chapitre « les inhibitions de corrosion » on parle dans ce chapitre sur les méthodes de protection contre la corrosion et les mécanismes d'inhibition.

La deuxième partie : partie pratique est subdivisée en deux chapitres :

- Le quatrième chapitre « procédés expérimentaux » ce chapitre résumé tous les appareille, les produits chimiques (acides, solvants,). Les inhibiteurs et toutes les conditions qui nous avons utilisée dans ce travail.

Introduction générale

- Le cinquième chapitre « résultats expérimentaux et discutait » ce chapitre résume ce travail. Et en globe tous les résultats obtenus, calculées, leurs explications, et nous avons terminé ce chapitre par des résultats généraux.

Enfin une conclusion générale qui résume l'ensemble de résultats obtenus.

Chapitre I

Plantes médicinales

I.1.Introduction:

Les plantes médicinales agissent de façon préventive ou curative sur l'organisme, car elles ont la capacité de modifier le métabolisme. On peut les utiliser dans un but thérapeutique pendant un certain temps, afin de mieux profiter de leurs effets. De plus, la phytothérapie connaît un nouvel essor ces dernières années. Ceci signifie que l'engouement pour ces pratiques se développe de plus en plus, et qu'il faut veiller à les encadrer. Attention, les plantes médicinales ne sont pas sans dangers et peuvent se révéler toxiques si elles sont mal ingérées ou en cas de surdosage. Il est donc important de demander conseil à son médecin avant de prendre ce type de traitement. [1]

I.2.Définition des plantes médicinales:

Ce sont des plantes utilisées en médecine traditionnelle dont au moins une partie possède des propriétés médicamenteuses. Leur action provient de leurs composés chimiques (métabolites primaires ou secondaires) ou de la synergie entre les différents composés présents. [2]

En d'autres termes nous pouvons dire qu'une plante médicinale est une plante dont un des organes, par exemple la feuille ou l'écorce, possède des vertus curatives lorsqu'il est utilisé à un certain dosage et d'une manière précise. Au Moyen Âge, on parlait de "simples". Dans le Code de la Santé Publique, il n'existe pas de définition légale d'une plante médicinale au sens juridique. C'est une plante, non mentionnée en tant que médicinale, qui est en vente libre par les pharmaciens. [3]

La majorité de la population mondiale (75%) représentant la tranche vivant sous le seuil de la pauvreté, utilise les plantes pour subvenir aux besoins de santé primaire, malgré l'existence des médicaments synthétiques. Comme dans beaucoup d'autres pays d'Afrique subtropicale, plus de 75 % des ivoiriens se soignent par les plantes. [4]

I.3.origine des plantes médicinales

Les plantes médicinales divisées en deux origines : plante spontanée, plante cultivée.

I.3.1.Les plantes spontanées:

Cette catégorie constitue les plus anciennement utilisées et représentant encore aujourd'hui un pourcentage notable du marché mondial. Leur répartition et développement dépend de plusieurs facteurs tels que le type de sol et surtout du climat. Ces plantes sont en effet influencées par la température, la latitude, l'altitude, la composition du sol, etc. Ces

conditions édaphiques font de ces plantes des véritables réservoirs de spécificités génétiques.[5]

I.3.2.Les plantes cultivées :

La culture des plantes évite ces inconvénients. Elle assure une matière première en quantité suffisante , homogène au double point de vue aspect et composition chimique. Elle peut être intensifiée ou non suivant les besoins médicaux. Naturellement, la culture doit s'effectuer dans les meilleures conditions possibles et tenir compte, entre autres, des races chimiques. [6]

I.4.Utilisation des plantes médicinales:

L'usage des plantes est très souvent explicité conformément à l'antique théorie des signatures. Selon cette conception thérapeutique, les plantes, par leurs formes, leurs couleurs ou d'autres caractères, signent la nature des organes qu'elles sont aptes à soigner. En effet, pour Dioscoride , puis Paracelse qui donna à cette théorie une grande notoriété, Allah donna à l'homme des remèdes qu'Il avait placés dans les végétaux. Pour les identifier, l'homme devait alors observer leur morphologie, car elle renfermait l'indice de leur utilisation. Ainsi, la pulmonaire, dont les feuilles allongées tachées de blanc rappelaient les lobes des poumons, était donc toute indiquée dans les affections respiratoires ou la colchique, avec son bulbe en forme de gros orteil, ne pouvait être destinée qu'au traitement de la goutte. [7]

La médecine traditionnelle connaît de nos jours un regain d'intérêt et de nombreux diabétiques y ont régulièrement recours. Plus de 1 200 espèces de plantes, utilisées en médecine traditionnelle, présentent des propriétés antidiabétiques. Cependant pour la plupart d'entre elles, les rapports scientifiques ne sont pas encore élucidés. [8]

I.5.La phytothérapie:

La phytothérapie est donc une thérapeutique destinée à traiter certains troubles fonctionnels et certains états pathologiques au moyen de plantes, de parties de plantes et de préparations à base de plantes. C'est une thérapeutique inspirée de la médecine traditionnelle basée sur un savoir empirique enrichi au fil des générations. C'est ce qu'on appelle la « phytothérapie traditionnelle », qui est toujours grandement utilisée dans certains pays qui perpétuent les usages de leurs ancêtres. [9]

I.6. Définition et fonctions des métabolites secondaires:

Les métabolites secondaires sont présents dans toutes les plantes supérieures, et qui ont une répartition limitée dans l'organisme de la plante. Dans plus de 200 00 structures ont été définies. [10]

Les métabolites secondaires sont des molécules organiques complexes synthétisées et accumulées en petites quantités par les plantes autotrophes. Ce sont des produits à structure chimique souvent complexe, ils sont très dispersés et très différents selon le type d'espèce. Ils pourraient jouer un rôle dans la défense contre les herbivores et dans les relations entre la plante et son environnement. [11]

I.7. Classification des métabolites secondaires :

Les métabolites secondaires sont divisées en 3 grandes classes : les composés phénoliques, les terpènes, et les alcaloïdes

I.7.1. Les composés phénoliques

Les composés phénoliques sont une vaste classe de substances organiques cycliques très variées, d'origine secondaire, caractérisées par la présence d'un noyau benzénique, portant un groupement hydroxyle libre ou engagé dans une fonction ester, éther ou hétéroside, ou sous forme de polymères naturels (tanins), forment le groupe des composés phytochimiques le plus important de plantes. [12]

Le terme phénolique est utilisé pour définir des substances qui possèdent au moins un noyau benzénique, lui-même porteur d'un nombre variable de fonctions hydroxyles (OH) libre, ou engagé dans une autre fonction tels que : éther, ester, hétéroside...etc. Ces structures peuvent également être acylées, glycosylées, ce qui donne une grande variété de structures et de polarités. [13]

A/- Acides benzoïques :

Les acides hydroxybenzoïques sont des acides dont la formule de base est C₆-C₁. Parmi les composés retrouvés dans les acides hydroxybenzoïques les acides protocatéchique, ellagique, gallique sont les plus abondants. [14]

b/-Acides cinnamiques :

Les acides phénols dérivés de l'acide cinnamique sont souvent estérifiés. Les plus

courants sont l'acide cinnamique, l'acide caféique, l'acide férulique, l'acide p-coumarique et l'acide synapique

Remarque : Les acides hydroxycinnamiques sont plus fréquents que les acides hydroxybenzoïques et comprennent essentiellement l'acide p-coumarique, caféique, férulique et sinapique. [15]

I.7.1.1. Les flavonoïdes:

Les flavonoïdes lato sensu sont des pigments quasiment universels des végétaux. Presque toujours hydrosolubles, ils sont responsables de la coloration des fleurs, des fruits et parfois des feuilles. tel est le cas des flavonoïdes jaunes (chalcones, aurones, flavonols jaunes), des anthocyanosides rouges, bleus ou violets. quand ils ne sont pas directement visibles, ils contribuent à la coloration par leur rôle de Co-pigment : tel est le cas des flavones et des flavonols incolores Co-pigmentant et protégeant les anthocyanosides (Pharmacognosie). [16]

I.7.1.2. les Tanins:

Les tanins sont des substances polyphénoliques de structure variée, de saveur astringente ayant en commun la propriété de tanner la peau. Cette aptitude est liée à leur propriété de se combiner aux protéines. Leur poids moléculaire est compris entre 500 et 3000 g/mol. Les tanins sont divisés en deux groupes. Les tanins forment avec les métaux lourds, notamment les sels de fer, des précipités de couleur très foncée : noires, brunes, bleues sombres, utilisés pour cette raison dans la fabrication de certaines encres. [17]

I.7.2. Les terpénoïdes (Isoprénoïdes et Stéroïdes):

Les terpénoïdes sont des métabolites secondaires synthétisés par les plantes, organismes marins, les champignons et même les animaux. Ils dérivent d'une structure de base à cinq carbones (C₅H₈), communément appelée isoprène. Selon le nombre répétitif de cette unité, les terpénoïdes sont classés en : monoterpénoïdes (C₁₀), sesquiterpénoïdes (C₁₅), et diterpénoïdes (C₂₀). [18]

I.7.3. Alcaloïdes:

Les alcaloïdes constituent avec les hétérosides, la majorité des principes actifs des plantes médicinales. Leur extrême importance tient d'une part à leur activité et d'autre part à leur toxicité. Le terme d'alcaloïdes a été introduit par W. Meissner au début du XIXe

siècle , pour désigner les substances naturelles réagissant comme des bases, comme des alcalis (de l'arabe al kaly, la soude et du grec eidos, l'aspect), il rappelle le caractère alcalin de ces substances, mettant à profit leur extraction et leur dosage. [19]

I.8. Les différentes méthodes de préparation des plantes médicinales:

Pour la préparation des plantes médicinales, on a utilisé différentes méthodes elles dépendent des maladies traitées, ou selon la plante utilisée.

I.8.1. L'infusion:

C'est est une méthode utilisée pour les herbes fraîches ou sèches, les feuilles, les fleurs mais aussi les racines ou l'écorce sous forme de poudre . Elle consiste à verser l'eau bouillante sur les plantes au moment précis, couvrir le récipient et laisser infuser de dix minutes à une heure selon les plantes. [12]

I.8.2. Décoction:

Les plantes sont versées dans l'eau froide et portées à ébullition un temps plus ou moins long, deux ou trois minutes pour les feuilles, les tiges et les fruits ; cinq minutes ou plus pour les écorces et les racines. [20]

I.8.3. La macération :

Procédé de dissolution et d'extraction partielle par un solvant donné, consistant à maintenir, pendant plusieurs heures, la matière première en contact, à froid, avec ce solvant. Le mélange (matière première et solvant) doit être remué à intervalle régulier. Le produit obtenu est un macéré ou un macérât. [5]

I.8.4. Les compresses:

La compresse est l'application d'un linge que l'on a trempé dans une décoction de plantes . On l'applique ensuite sur la partie malade. [21]

I.8.5. La lixiviation ou percolation :

Procédé de dissolution et d'extraction partielle consistant à épuiser une matière première en faisant filtrer, à travers elle, un solvant froid ou chaud qui entraîne, avec lui, tout composé soluble. Le produit obtenu est un lixiviat. Par exemple le café filtré est obtenu par lixiviation. [5]

I.8.6. Le suc:

Il suffit de réduire la plante en purée. Il est préférable de le faire avec des plantes fraîches mais parfois- quand la plante est trop épaisse ou donne peu de jus – il est nécessaire de la cuire dans un peu d'eau. Une fois la purée de pulpe obtenue, filtrée on peut boire le suc dilué dans un peu d'eau ou l'utiliser en compresse. Cette méthode est rarement employée, car le produit obtenu est souvent très amer et ne se conserve pas. [12]

I.8.7. L'inhalation:

C'est une technique qui consiste à dégager les voies respiratoires (nez, poumons, etc.) en respirant la vapeur chargée de substances actives des plantes. On se penche au-dessus du liquide chaud contenant de l'extrait liquide des plantes, la tête couverte d'une serviette pour respirer la vapeur pendant quelques minutes. [21]

Conclusion

Les plantes médicinales sont des plantes pour l'utilisation médicinale traditionnelle .on désigne deux origine des plantes :spontanée et cultivée .la préparation des plantes ils sont être selon plusieurs méthodes ,elles dépendent des maladies traitées tel que l'extraction .

Références bibliographiques:

- 1 Z. Imad Eddine, Etude de l'effet inhibiteur de corrosion des extraits des plantes *Lactuca virosa* L. et *Verbascum thapsus* L. sur l'acier X60 dans un milieu acide H_2SO_4 2M, thèse de master ,en Chimie Analytique, Université de Larbi ben M'hidi d'Oum el Bouaghi,2020,p33.
- 2 A. Salah Eddine, phytothérapie et plantes médicinales, thèse de master en Protection des Ecosystèmes, Université des Frères Mentouri Constantine,2018,p3 .
- 3 J. Yves Chabrier, Plantes médicinales et formes d'utilisation en phytothérapie ,Sciences pharmaceutiques,2010,p26.
- 4 D. Toure, Etudes chimique et biologique des huiles essentielles de quatre plantes aromatiques médicinales de côte d'ivoire,2015,p5.
- 5 S.OUEDRAOGO *et al* , Production de matières premières et fabrication des médicaments à base de plantes médicinales,2021,p752,754.
- 6 G. Mounira et S. Mériem, Contribution à l'étude biochimique de quelques plantes médicinales dans le Sahara Septentrional algérien, thèse Master en Biochimie appliquée ,Université Echahid Hamma Lakhdar -El oued,2015,p5.
- 7 B. Abdelaziz, Investigation phytochimique sur des extraits bioactifs de deux brassicaceae médicinales du sud algérien : *Moricandia arvensis* et *Zilla macroptera*, thèse de doctorat en Chimie Organique, université Abou Bakr Belkaid –Tlemcen,2016,p10,18.
- 8 H. M. Ali, Contribution à l'étude in vitro de l'effet des extraits de feuilles de *Retama raetam* sur l'activité de l' α -amylase, thèse pour l'obtention du Diplôme d'Etude Supérieur en Biochimie , Université Abou Bakr Belkaid –Tlemcen,2012,p7.
- 9 A. S.Limonier ,La Phytothérapie de demain : Les plantes médicinales au cœur de la pharmacie, le diplôme d'état de docteur en Pharmacie, la faculté de pharmacie de Marseille ,2018,p20.
- 10 B. Khadra, Contribution à l'étude phytochimique et activité biologique des extraits des graines de *Coffea canephora*, thèse de Master en Biochimie, Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen,2017, p5.
- 11 F. Asma, Étude phytochimique et évaluation de l'activité biologique (antioxydante-antibactérienne) des extraits de la plante *Teucrium polium* L. sous espèce *Thymoïdes* de la région Beni Souik, Biskra, Thèse de Doctorat en Chimie Organique et Phytochimie , Université Mohamed Khider Biskra,2019, p4.

- 12 R. Hannane, Contribution à l'étude phytochimique et valorisation de l'espèce *Agave americana* L. dans l'Ouest Algérien, Thèse de Doctorat 3ème Cycle En Sciences de l'Environnement, Université Djillali Liabes de Sidi Bel Abbès, 2017, p10.5.
- 13 N. Bekhti, Caractérisation physico-chimiques des Polyphénols et Alcaloïdes utilisés en médecine, Thèse de doctorat en chimie physique et théorique, modélisation moléculaire Intitulée, Université Djillali Liabes Faculté des sciences exactes Sidi Belabbès, 2021, p13.
- 14 K. Asma et M. Maroua, Comparaison des méthodes d'extraction des principes actifs de quelques plantes médicinales, Thèse de master en Biochimie appliquée, Université Kasdi Merbah Ouargla, 2018, p4.
- 15 A. Mahdia et H. Mounira, Contribution à l'étude phytochimique, les activités biologiques (Antioxydante et Antibactérienne) d'une plante médicinale *Cleome arabica* L (Région d'Oued Souf), Master en Biochimie Appliquée, Université Echahid Hamma Lakhdar-el oued, 2015, p6.
- 16 G. Meroua, Étude des activités biologiques de la plante *Artemisia campestris*, Thèse de Master en Biochimie des Molécules bioactives et leurs applications, Université L'arbi ben M'hidi Oum El Bouaghi, 2018, p6.
- 17 H. Mahdjouba, Etude phytochimique de *Rosmarinus Officinalis* (L) et *Marrubium Vulgare* (L) (Aspect qualitatif), Thèse de Master en Chimie Organique, Université Ziane Achour de Djelfa, 2015, p25
- 18 H. Mounira et A. Ouerdia, Etude de l'activité antibactérienne des flavonoïdes et des tanins du marrube blanc et l'évaluation de l'activité antioxydante de l'extrait tannique, Thèse De Master en Chimie Pharmaceutique, Université Mouloud Mammeri de Tizi-ouzou, 2017, p12.
- 19 M.D. Hadria, Evaluation chimique et activité antidermatophyte de quelques plantes médicinales d'Algérie, Thèse de Doctorat en Sciences, Université de Constantine-1, 2014, p18.
- 20 L. Roumeissa et L. Maya, Comparaison de trois méthodes d'extraction des composés phénoliques et des flavonoïdes à partir de la plante médicinale : *Artemisia herba alba* Asso, Thèse de Master en Biochimie Moléculaire et santé, Université des Frères Mentouri Constantine-1, 2015, p9.
- 21 Recueil de Plantes Médicinales et leurs vertus, expériences des paysans du Togo et du Bénin en 2018.

Chapitre II
Extraction des
plantes

II.1. Introduction:

Les extractions sont parmi les méthodes les plus utilisées en analyse pour séparer les mélanges. Cette technique utilise un moyen pour séparer sélectivement un ou plusieurs composés d'un mélange sur la base de propriétés chimiques ou physiques. Le moyen d'extraction n'est pas ou peu miscible avec les composants principaux du mélange alors que le composé à extraire possède plus d'affinité avec le moyen d'extraction qu'avec les composants principaux du mélange. [1]

II.2. Définitions L'extraction:

L'extraction consiste à transférer un composé d'une phase à une autre:

- D'une phase liquide à une autre phase liquide.
- D'une phase solide à une phase liquide.

C'est une opération qui consiste à séparer certains composés d'un organisme (animal ou végétal) selon diverses techniques. [2]

II.3. Principe:

L'extraction consiste à traiter un mélange homogène ou non de liquides ou de solides par un solvant pur dans le but d'en extraire un constituant solide ou liquide.

L'opération d'extraction se déroule en deux parties:

- Une première partie de transfert du composé à extraire entre le mélange initial et le moyen d'extraction.
- Une deuxième partie de séparation du moyen d'extraction du mélange principal. [2]

II.4. Intérêt de l'extraction

Le but de l'extraction est d'isoler une ou plusieurs molécules à partir d'un organisme. Ainsi, la découverte de nouveaux médicaments peut passer par l'étude de ces substances naturelles et si une molécule se trouve être performante dans un domaine précis, elle pourra faire l'objet d'une commercialisation sous forme de médicament. [3]

II.5. Type d'extraction:

Il existe plusieurs méthodes d'extraction , ont été développées avant Apparence de de la chimie moderne.

II.5.1. L'enfleurage:

L'enfleurage est habituellement réservé aux fleurs qui contiennent de très faibles concentrations en essences. Cette technique met à profit la solubilité des huiles essentielles dans les corps gras , elle repose sur le pouvoir de ces derniers à absorber naturellement les arômes. Elle est pratiquée à chaud ou à froid , selon la fragilité et l'aptitude des plantes à résister à la chaleur. [4]

II.5.2. L'extraction par les solvants volatils :

Cette méthode est utilisée pour les organes végétaux présentant une concentration en essence relativement faible ou pour les essences que l'on ne peut extraire par distillation. Elle est basée sur le pouvoir qu'ont certains solvants organiques à dissoudre les composants des huiles essentielles. [5]

II.5.3. Extraction par hydrodistillation :

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, et comme Les HE sont insolubles dans l'eau mais soluble dans la vapeur, lorsqu'on envoie de la vapeur D'eau sur la plante, elle se charge au passage des huiles . La chaleur permet l'éclatement et la libération des molécules odorantes contenues dans les cellules végétales. [6]

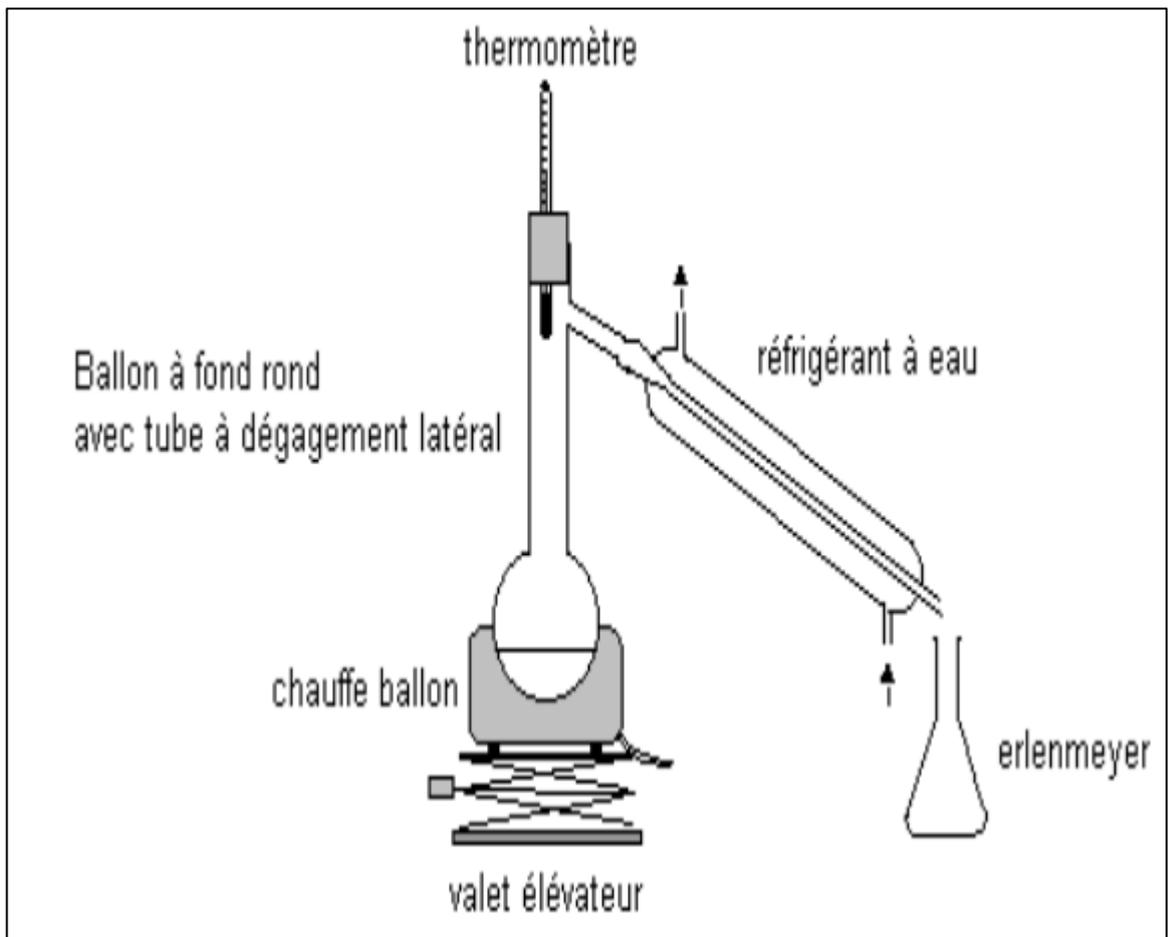


Figure II.1. : Montage d'hydrodistillation [6]

II.5.4. Extraction liquide-liquide :

L'extraction liquide-liquide est l'une des techniques de préparation d'échantillons les plus anciennes. C'est une opération fondamentale de transfert de matière entre deux phases liquides non miscibles, sans transfert de chaleur. Cette technique permet d'extraire une substance dissoute dans un solvant, à l'aide d'un autre solvant, appelé solvant d'extraction, dans lequel elle est plus soluble. Le solvant initial et le solvant d'extraction ne doivent pas être miscibles.[1]

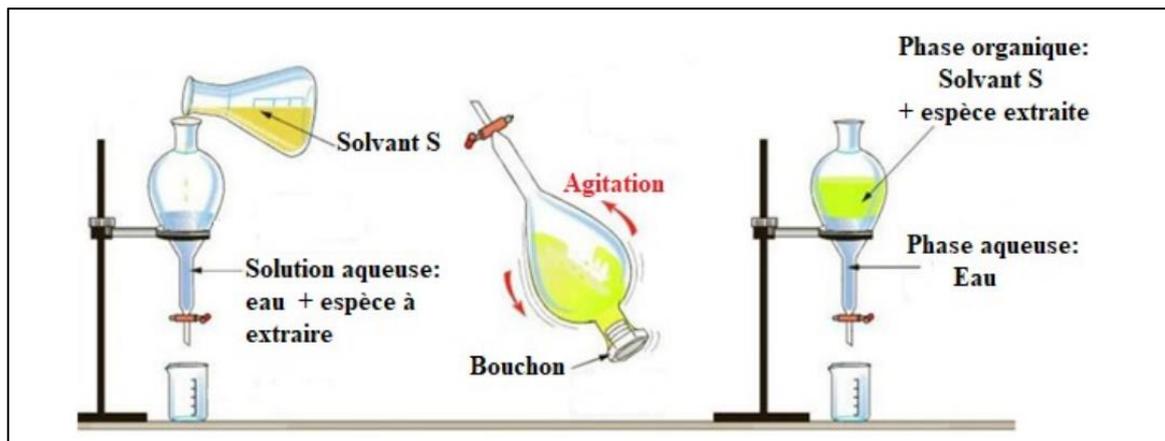


Figure II.2: Schéma d'extraction liquide-liquide [1]

II.5.5. Extraction solide-liquide:

L'extraction solide-liquide est un phénomène lent qui permet d'extraire une substance présente dans un solide pour la faire passer dans un solvant liquide. On peut utiliser successivement des liquides dont le pouvoir solvant vis-à-vis des constituants de la phase solide est différent (dissolution fractionnée). La macération, l'infusion et la décoction sont des méthodes d'extraction solide-liquide. [2]

II.5.6. Extraction assistée par micro-ondes:

C'est une technique récente développée dans le but d'extraire des produits naturels comparables aux HEs et aux extraits aromatiques. Dans cette méthode, la plante est chauffée par un rayonnement micro-ondes dans une enceinte dont la pression est réduite de façon séquentielle : les molécules volatiles sont entraînées dans le mélange azéotrope formé avec la vapeur d'eau propre à la plante traitée.

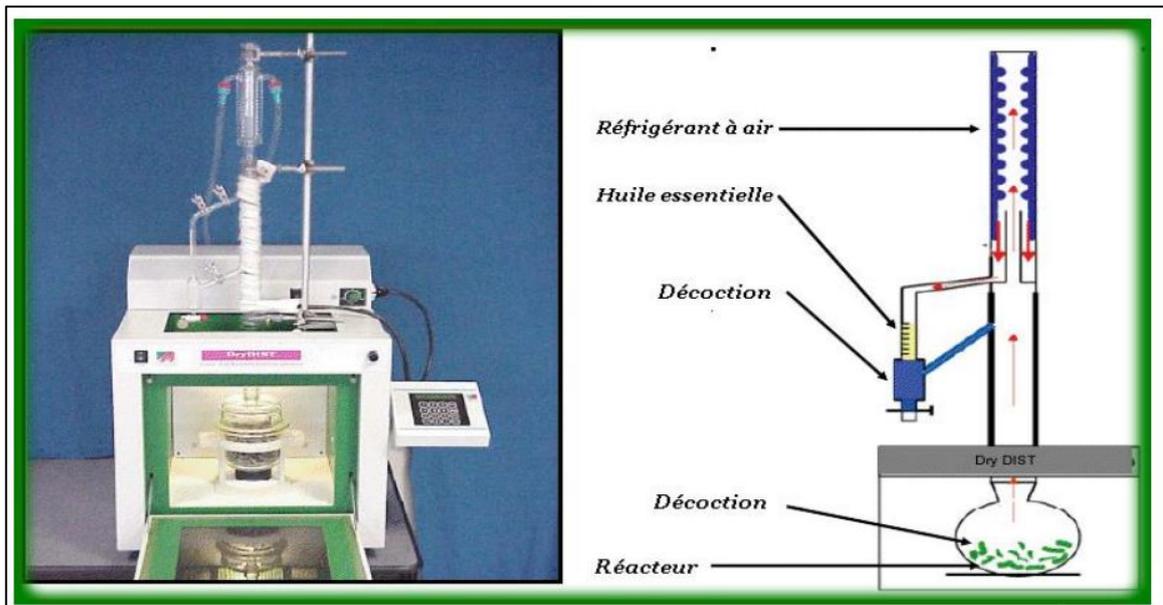


Figure II.3: Hydrodistillation assistée par micro-ondes [6]

II.6. Plante oudneya africana:

II.6.1. Présentation :

Depuis longtemps, les plantes médicinales furent une source inépuisable permettant de traiter certaines maladies et pathologies souvent mortelles. En Algérie, les plantes médicinales forment un groupe relativement important et un réservoir inestimable de molécules bioactives, cependant un nombre limité d'espèces est étudié en terme d'investigation phytochimique et de valorisation biologique. [7]

Au cours de nombreux travaux de recherche, une espèce a été récoltée : oudneya africana ,elle appartient à la famille botanique des Brassicaceae.

II.6.2. Présentation de famille des brassicacées (crucifères):

Les brassicacées appelées autrefois « Crucifères » constituent une importante famille de plantes dicotylédones , représentées dans le monde entier mais principalement dans la région tempérée de l'hémisphère Nord. Ils peuplent presque la totalité des habitats et des milieux de vie possibles, sables et roches maritimes, bords de ruisseaux, talus calcaires, pelouses humides ou sèches, cultures et jardins, bords de chemins cailloutis et prairies de montagne, les moutardes, choux, et quelques plantes ornementales (aubriète, ibéris, giroflées) comptent parmi les crucifères. [8]

II.6.3. La plante oudneya africana:

Le genre Oudneya appartient à la famille des Brassicacées et comprend quatre mille espèces. Ils se produisent principalement dans les régions tempérées et froides de l'hémisphère Nord ,est une espèce sauvage de cette genre qui croît spontanément dans la région aride . Cette plante est une plante saharienne endémique qui est distribué dans le désert libyen, tunisien, algérien et marocan . Elle vive dans le sol de gypse et dans la roche du désert, et répandue dans le nord du Sahara . [9]



Photo II.1: d'oudneya africana.

II.6.4. Position systématique:

Tableau II.1:position systématique d' oudneya africana. [10]

Embranchement	Spermaphyte
Classe	Dicotylédone
Ordre	Pariétales
Famille	Brassicaceae ou Crucifèrae
Genre	Oudneya
Espèce	Africana
Synonyme	Henophyton deserti (Coss. & Dur.)

II.6.5. Etude botanique:

Oudneya africana R. est une plante endémique du Sahara septentrional qui appartient à la famille Brassicaceae , elle se rencontre en Algérie , en Tunisie, au Maroc et en Libye. En Algérie elle se trouve dans le Mezab, El Golea, Ouargla et Biskra. La floraison s'effectue pendant l'hiver et le printemps. [11]

II.6.6. Description botanique et systématique

Plante vivace en buisson rameux, pouvant atteindre 1 mètre de haute. Feuilles sont nombreuses allongées, en spatule, un peu charnue, alternées, sessiles et rétrécies à la base.. Fleurs à quatre pétales de couleur mauve ou violette donnant une silique allongée et bosselée aux bords plus ou moins ondulés laissant voir les graines disposées sur deux rangs superposées. le Fruit est cylindrique étroit. Plante pérenne, ligneuse, en période chaude, qui régénérera que les conditions seraient favorables. [12]



Figure II.4: d'*Oudneya africana* [12]

II.6.7. Utilisation traditionnelle:

Oudneya africana R. Br. localement nommée "Alga" ou "Henat l'ibel" . Cette plante médicinale est traditionnellement utilisées depuis long temps en médecine populaire par les populations locales de Ouargla, Ghardaïa et El-Oued (Algérie). [9]

On utilise l'*Oudneya africana* (Alga) pour traiter les maladies de la peau en usage externe, sous forme de pâte, mélangé avec *Lawsonia inermis* (Henné); au Maroc, elle est utilisé dans le traitement des maladies de l'intestin. [13]

Pharmacopée: Elle est utilisée, en poudre ou en compresse, pour les traitements des lésions cutanées.

Intérêt pastoral : Elle est très appréciée par les dromadaires (d'où son nom arabe). [14]

II.6.8. Etude chimique:

Une recherche bibliographique exhaustive réalisée sur l'espèce *Oudneya africana* a montré que cette dernière est très peu étudiée. La seule étude chimique concernant cette espèce est relativement récente. Cette étude réalisée par Stocker et collaborateurs , a permis de mettre en évidence la présence de trois isoflavonoïdes :

- Maackiaine 3-O-(6''-O-malonyl-β-glucoside) [isoflavone 7- O-(6''-O-malonyl-β-glucoside]
- Judaicine 7-O-glucosid
- Judaicine 7-O-(6''-Omalonylglucoside). [15]

Conclusion

L'extraction c'est la méthode la plus utilisée consiste à traiter le mélange homogène (liquide ou solide) par le solvant .

Oudneya africana est une plantes de famille brassicacées ,médicinale saharienne endémique et sauvage qui croit spontanément dans la région ride.la floraison s'effectue pendant l'hiver et le printemps .oudneya africana est une plante qui utiliser pour les maladies de la peau et les maladies de l'intestin.

Reference bibliographique:

- 1 S. Ben Dia, Polycopié du cours :technique de séparation en chimie analytique, Université des Frères Mentouri Constantine-1,2020,p11,12,13.
- 2 B. A. Hassiba, Polycopie du cours : technique d'extraction ,de purification et de conservation en analyse biochimique , Université de Ferhat Abbas de Sétif ,2016,p13,18.
- 3 Z. Mellouk ,Les différents type d'extraction ,Chapitre 1, Méthodologie Scientifique et technique d'étude du vivant ,p2.
- 4 B. Z. Baya , Etudes physico-chimiques des plantes médicinales Algériennes , Thèse de Doctorat en Chimie Organique Appliquée , Université Houari Boumediene ,2011,p28.
- 5 G. Chafika et D. Nora, Effets antimicrobiens de l'extrait au éthanol de *Thymus vulgaris* (Thym) récolté dans la région de Naama sur la croissance des germes spécifiques du yaourt : *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus bulgaricus* ,Thèse de Master en Contrôle de la Qualité des Aliments, Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem, 2017,p14.
- 6 B. Souhir et B. Habiba , Extraction et caractérisation de la substance active de curcumine , Thèse de Master en Chimie Pharmaceutique , Université Larbi Ben M'Hidi Oum El Bouaghi , 2019,p21,24,25.
- 7 F.Aasma ,Etude phytochimique et évaluation de l'activité biologique (antioxydante – antibactérienne) des extraits de la plante *teucrium polium* L.sous espèce *Thymoides* de la région Benisouik , Biskra , Thèse de Doctorat en Chimie Organique et Phytochimie , Université de Mohamed Khider Biskra ,2019,p57.
- 8 B.El-hassan, N.Nouria et S.Moghtet , Propriétés anti radicalaires d'une plante saharienne *antastaticahierochuntical* .Issue d'une région de l'extrême sud-ouest Algérien,2015,p55.
- 9 S. Imane et Z. Maroua, Etude de l'activité antidiabétique et antioxydante de l'extrait aqueux d'*Oudneya africana* R. Br. de la région d'El Oued chez des rattes rendues diabétiques par l'alloxane, Master en Biochimie Appliquée ,Université Echahid Hamma Lakhdar, El-oued ,2018,p16,17.
- 10 G. Mounira et S. Mériem, Contribution à l'étude biochimique de quelques plantes médicinales dans le Sahara Septentrional algérien, Thèse Master en Biochimie Appliquée ,Université Echahid Hamma Lakhdar ,El-oued,2015,p18.

- 11 L .Fatiha et M. Chahra, Contribution à l'étude de quelques paramètres biochimiques biologiques (antioxydante et anti bactérienne) de oudneya africana R de la région Ghardaïa , Thèse de Master Biochimie Appliquée , Université Echahid Hamma la Khdar –El oued,2017,p17.
- 12 A.Rima, Effet de stress salin sur la germination et croissance de l'espace oudneya africana R, Thèse de Master en Biotechnologie végétale, Université de Kasdi Merbah Ouargla,2019,p15.
- 13 A.Cheriti et B.Draoui , Publication Académique , Université de Bechar ,2009,p17.
- 14 A. Chehma, Catalogue des plantes spontanées du sahara septentrional Algérien ,Université de Kasdi Merbah, Ouargla ,2006,p51.
- 15 S. Abla ,Etude de l'extrait chloroformique D'oudneya africana , Thèse Magister en Chimie Organique , Université EL Hadj Lakhdar ,Batna,p39.

Chapitre III

La corrosion

III.1. Introduction:

La corrosion est un phénomène nuisible qui détruit le matériau et réduit ses propriétés, le rendant inutilisable pour une application prévue. [1]

La phénomène de corrosion est un problème mondial majeur qui touche de nombreux secteurs, dont l'industrie [2]. phénomènes de corrosion dépendent d'un grand nombre de facteurs qui interviennent non pas individuellement, mais en relation plus ou moins complexe les uns avec les autres : la nature et la structure du matériau, l'environnement , la température,etc .

Ce chapitre est consacré pour mieux comprendre les mécanismes de corrosion pour adopter les meilleurs moyens de protection au futur ainsi que les aspects fondamentaux du phénomène de corrosion sa définition, ses types et ses formes.

III.2. Définition de la corrosion:

Le terme de corrosion provient du latin *corrodere*, qui signifie ronger, attaquer. [3], la corrosion peut être définie comme l'interactions physico-chimique entre un matériau et son milieu environnant, qui conduisent à une altération de ce matériau. [4]

D'après la norme internationale ISO 8044 (1999), la corrosion est définie comme :

« l'interaction physico-chimique entre un métal et son milieu environnant entraînant des modifications dans les propriétés du métal et pouvant conduire à une dégradation significative de la fonction du métal, du milieu environnant ou du système technique dont ils font partie».[5]

Présentation de phénomène de corrosion métallique la (**Figure III.1**)

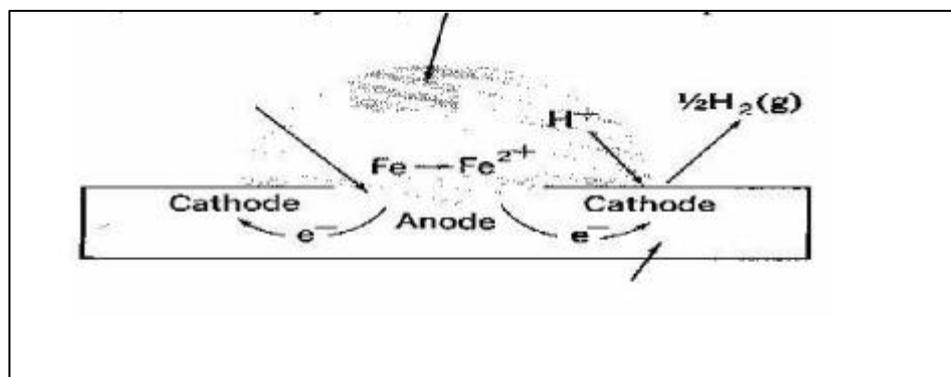
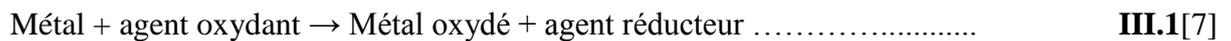


Figure III. 1: schémas du phénomène de corrosion. [6]

III.3. Mécanismes réactionnels de la corrosion:

Ce sont des réactions d’oxydo-réduction irréversibles entre le métal et un agent oxydant du milieu environnant. L’oxydation du métal implique la réduction de l’agent oxydant.

La réaction de façons :



III.3.1. Réactions partielles:

Les électrons échangés au cours de la réaction d’oxydo-réduction [8] .En effet La réaction globale (II.4) se compose de deux demi réactions réaction partielle anodique est le piège de réaction d’oxydation, et la réaction partielle cathodique est la piège de réaction de réduction.[9]

On a Le fer est corrodé dans un milieu acide avec dégagement de dihydrogène [7], selon les équations [8] :



III.4. L’origine de corrosion:

Les causes de la corrosion sont multiples et complexes et elles résultent d’interactions chimiques et /ou physiques entre le matériau et son environnement [10], parmi les paramètres qui provoquent la corrosion en trouve :

- Composition chimique et microstructure du métal,
- Composition chimique de l’environnement,
- Paramètres physiques (température, convection, irradiation, ...etc.)
- Sollicitations mécaniques (contraintes, chocs, frottements, ...etc.). [11]

III.5. Types de corrosion :

En raison des différents environnements entourant le matériau, plusieurs types de corrosion peuvent être distingués :

III.5.1. Corrosion chimique (sèche) :

C'est la dégradation des métaux par l'environnement à une température supérieure à 500 °C . On distingue deux types de dégradation :

- ❖ La corrosion chimique est l'attaque directe du métal par son environnement qui résulte de l'oxydation du métal par les gaz (O₂, SO₂, H₂O) , La réaction se produit



- ❖ La corrosion chaude qui résulte d'une dissolution de l'oxyde par les sels ou métaux fondus (Na₂SO₄ par exemple) [12,13,14]

III.5.2. Corrosion électrochimique (humide) :

C'est le mode le plus fréquent. Elle se traduit par des transferts électroniques entre un métal et une solution électrolytique à son contact (circulation d'un courant électrique). [15]

La corrosion électrochimique doit donc réunir simultanément quatre facteurs pour pouvoir se déclencher :

- ❖ **Une anode** : c'est la partie du métal où se développe la réaction d'oxydation entraînant une dissolution de cette partie sous forme de cations positifs dans le milieu aqueux,
- ❖ **Une cathode** : c'est la partie du métal où se développe la réaction de réduction d'une espèce contenue dans l'électrolyte (dégagement d'hydrogène par réduction d'ions H⁺ , formation d'eau par réduction de l'oxygène en milieu acide, formation d'ions OH⁻ par réduction de l'oxygène en milieu basique, dépôt d'un métal par réduction d'un de ses cations...), [16]
- ❖ **Un conducteur électrique** : qui puisse véhiculer les électrons libérés de l'anode vers la cathode. Ce rôle est assuré par le métal lui-même,
- ❖ **Un conducteur ionique** : qui puisse permettre la migration des cations libérés de l'anode vers les anions libérés à la cathode pour assurer la neutralité électrique et fermer le circuit électrique. Ce rôle est joué par le milieu électrolytique lui-même. [17]

III.5.3. Corrosion biochimique (biocorrosion):

Elle résulte de l'action de bactéries ou de produits provenant de l'activité bactérienne tels que des acides organiques ou des gaz comme CO_2 et SO_2 , sur le matériau métallique. Les canalisations enterrées sont sujettes à ce type de corrosion . [15]

III.6. Morphologie de la corrosion:

En tenant compte de la forme et des sites de l'attaque, les principaux types de corrosion sont regroupés en deux grandes familles : corrosion uniforme et corrosion localisée.[18]

III.6.1. Corrosion uniforme:

C'est l'aspect de corrosion le plus rencontré dans la pratique, mais c'est l'aspect aussi le moins dangereux, car le métal est attaqué sur toute la surface et avec la même vitesse de corrosion [14], Elle se traduit par une dissolution uniforme de la surface métallique en contact avec l'agent agressif. [19]

Dans ce mode de corrosion on ne distingue pas à l'échelle macroscopique, les lieux cathodiques des lieux anodiques [20] (la **Figure III.2**).

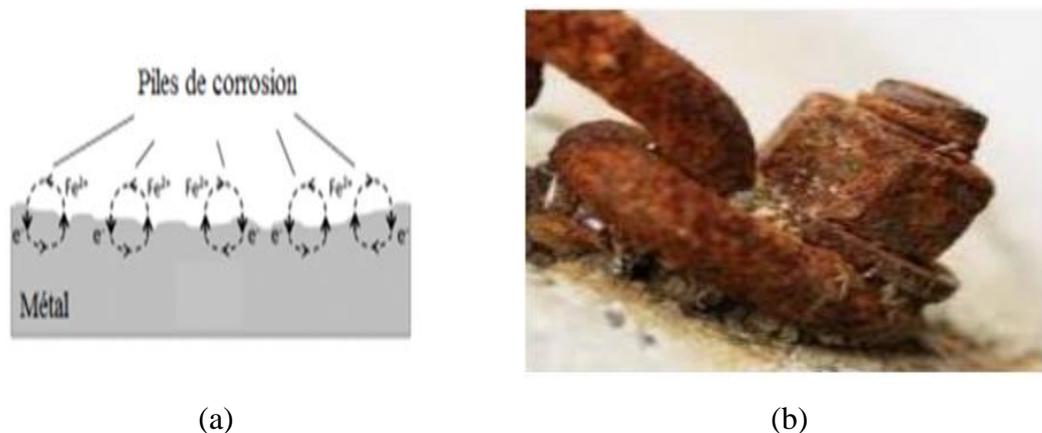
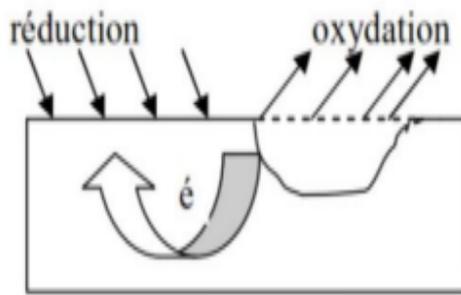


Figure III.2 : a)-Distribution homogène des demi-réactions anodiques et cathodiques génère une corrosion uniforme [21] et b)-exemple de l'acier en carbone. [22]

III.6.2. Corrosion localisé :

C'est l'aspect de corrosion le plus dangereux car l'attaque se fait en certains endroits de la surface du métal dans le cas où la réaction de corrosion se déroule à un lieu spécifiquement anodique, elle peut apparaître sous forme de piqûres, fissures, sillons, etc. En pratique la corrosion localisée provient d'une hétérogénéité du matériau ou de l'environnement. [23]



(a)



(b)

Figure III.3 : a)-Localisation d'une des demi-réactions anodique ou cathodique génère une corrosion localisée [24] et b)- corrosion localisée : exemple de l'acier. [46]

III.6.2.1. Corrosion par piqûres :

La corrosion par piqûres (putting corrosion), est produite par certains anions ,notamment le chlorure, sur les métaux protégés par un film d'oxyde mince. Elle induit typiquement des cavités de quelques dizaines de micromètres de diamètre. [25]

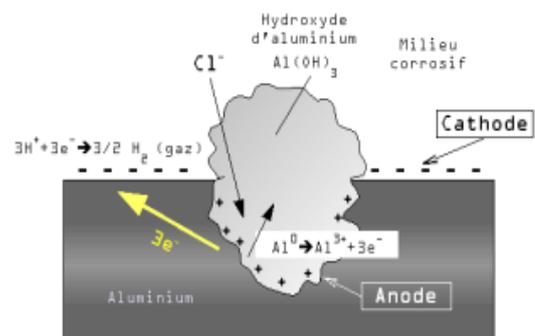


Figure III.4 : Corrosion par piqûre de l'aluminium. [26]

III.6.2.2. corrosion par effet crevasse (caverneuse) :

Appelée aussi corrosion caverneuse, elle est due à une différence d'accessibilité de l'oxygène entre deux zones d'une structure métallique [27]. Il y a alors une attaque des parties métalliques les moins accessibles à l'oxygène Cette forme de corrosion présente de grande analogies avec la corrosion par piqûres que nous venons d'étudier. [28]

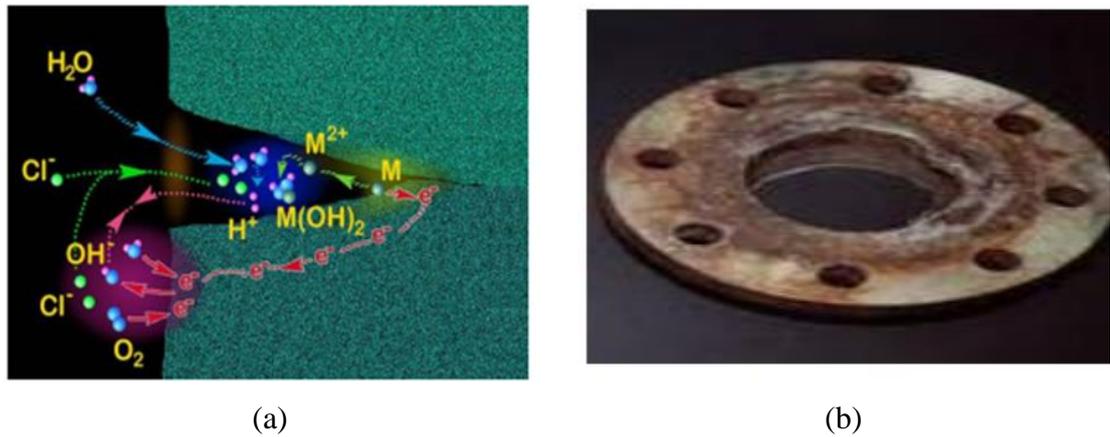


Figure III.5: a)- Corrosion caverneuse b)-exemple d'un acier allié sous un joint. [29,46]

III.6.2.3. Corrosion érosion :

La corrosion par érosion se produit dans un fluide en mouvement. Cette forme de corrosion est liée à la vitesse de passage du fluide. Elle est due à l'action conjointe d'une réaction électrochimique . [29,30]

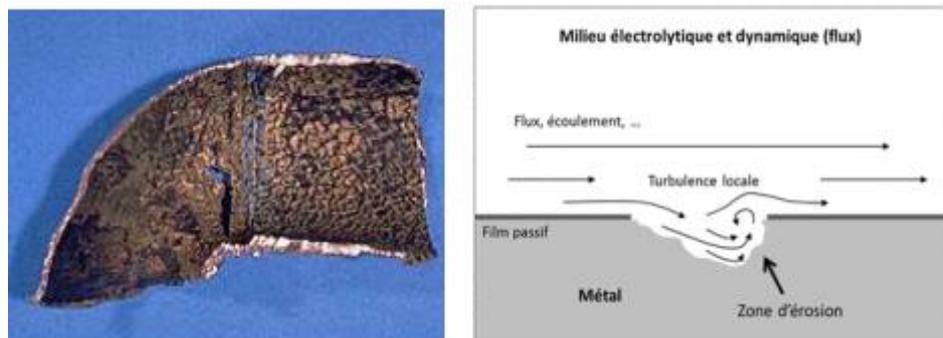


Figure III.6 : Aspect et mécanisme de la corrosion-érosion. [26]

III.6.2.4. Corrosion galvanique :

Dans certains cas, la corrosion se produit lorsque deux métaux différents entrent en contact électrique entre eux et sont immergés dans un électrolyte. C'est ce qu'on appelle la corrosion galvanique. Ce dépend de la présence d'une anode et d'une cathode métalliques [31]. La corrosion s'établit sur le métal le moins noble et s'arrête sur le métal le plus noble, elle se manifeste aussi lorsque les deux parties d'un objet métallique d'un même métal ne sont plus au même potentiel. [32]

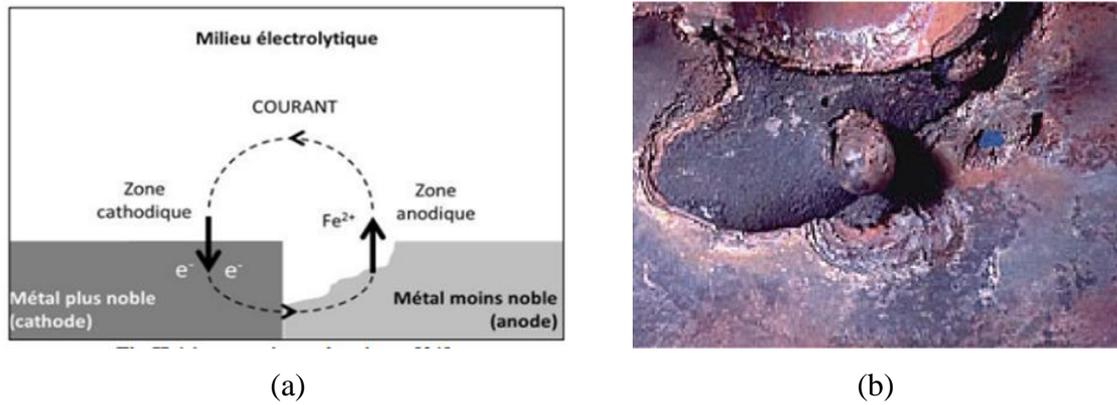


Figure III.7 : a)- la corrosion galvanique [32] b)-corrosion galvanique au niveau d'une zone de brasage entre la brasure Cu-p et le tube en cuivre. [33]

III.6.2.5. Corrosion sous contrainte :

Correspond à une fissuration du métal qui résulte de l'action commune d'une contrainte mécanique et d'une réaction électrochimique, qui peut se développer jusqu'à la rupture complète de la pièce métallique. [34]

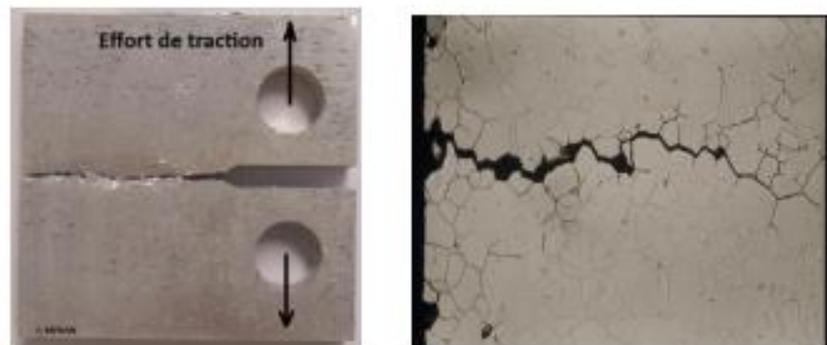


Figure III.8 : La corrosion sous contrainte . [26]

III.6.2.6. Corrosion inter-granulaire :

La corrosion se développe aux points de jonction des grains du métal, détruisant progressivement la cohésion du matériau. Cette manifestation est quasiment invisible à l'œil nu mais affecte considérablement la résistance mécanique du métal .[3]

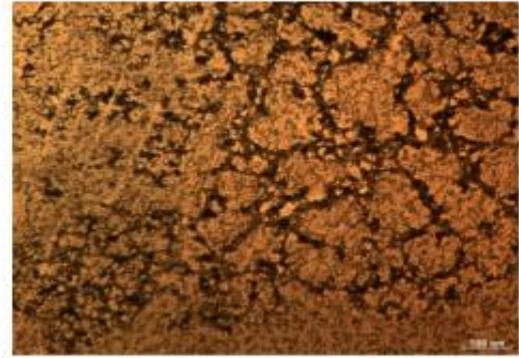
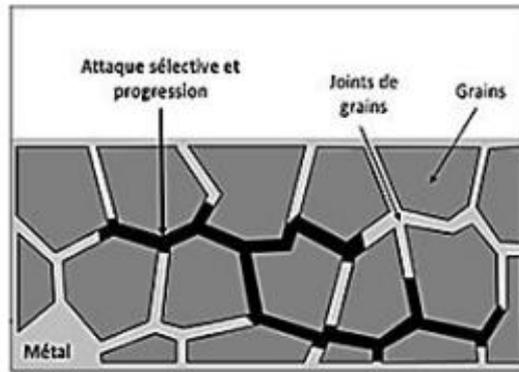


Figure III.9 : Corrosion au niveau des joints de grains d'une structure métallique. [26]

III.6.2.7. Corrosion filiforme :

La corrosion filiforme est spécifique aux métaux peints. Elle est initiée aux défauts du revêtement (rayures) et points faibles (arêtes, bords, ...) puis se propage à l'interface entre le métal et la peinture en formant des filaments fins (de 0,1 à 0,5 mm de large) et longs (sur plusieurs millimètre) . Une atmosphère très humide est pré requise (plus de 90% d'humidité relative).



Figure III.10 : Corrosion filiforme sur un échantillon d'aluminium peint et scarifié.[35]

III.6.2.8. Corrosion fatigue :

Très comparable à la corrosion sous contrainte, ce phénomène apparaît sous l'action conjuguée de l'environnement et d'une sollicitation cyclique. Elle se manifeste par un abaissement de la résistance du matériau à (la **Figure III.11**) .



Figure III.11 :Défaillance par la fatigue- corrosion d'un tube d'économiseur à basse pression.[36]

III.6.2.9. Corrosion sélective :

Est l'oxydation d'un composant de l'alliage, conduisant à la formation d'une structure métallique poreuse. [32]

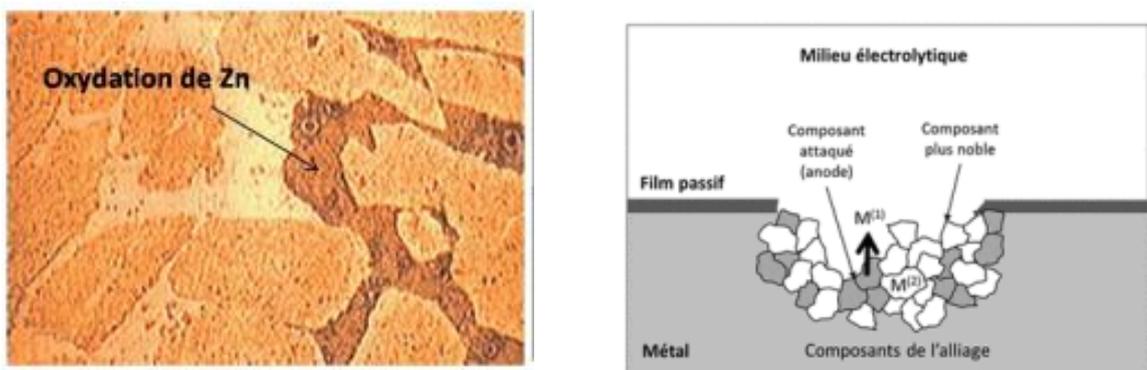


Figure III.12 : Mécanisme de la corrosion sélective d'un laiton (alliage cuivre-zinc).[26]

III.7. Facteur de corrosion :

Les phénomènes de corrosion dépendent de plusieurs facteurs qui peuvent être classés en quatre groupes principaux tels que les :

Facteurs définissant les modes d'attaque, facteurs métallurgiques, facteurs définissant les conditions d'emploi, facteurs dépendant du temps. Tous ces facteurs sont représentés sur le tableau suivant : [37,38]

Tableau III.1 : Représente les facteurs de corrosion.

Facteurs relatifs au milieu et définissant le mode d'attaque	<ul style="list-style-type: none"> • Concentration du réactif • Teneur en oxygène, en impuretés, en gaz dissous (CO₂, NH₃, H₂S) • Acidité (PH) du milieu, salinité, résistivité • Température, Pression • Présence de bactéries
Facteurs métallurgiques	<ul style="list-style-type: none"> • Composition de l'alliage, hétérogénéités cristallines • Procédés d'élaboration • Impuretés dans l'alliage, inclusions • Traitements thermiques, mécaniques • Additions protectrices.
Facteurs définissant les conditions d'emploi	<ul style="list-style-type: none"> • Etat de surface, défaut de fabrication • Forme de pièces • Sollicitations mécaniques • Emploi d'inhibiteurs • Procédés d'assemblage (couple galvaniques, soudures,) • Croûtes d'oxydes superficielles • Force électromotrice extérieure (électrolyse)
Facteurs dépendant de temps	<ul style="list-style-type: none"> • Vieillissement • Tensions mécaniques internes ou externes • Température- Modalité d'accès de l'oxygène ou autres gaz dissous • Modification des revêtements protecteurs • Apparition d'un dépôt (calcaïque ou autre)

La vitesse de corrosion d'un métal dans un milieu corrosif dépend à la fois des caractéristiques des deux paramètres La température et le PH ont une influence directe sur la vitesse de corrosion, et une influence indirecte à travers la phase aqueuse (eau de condensation, eau de production) La vitesse d'écoulement du fluide, la nature du film formé à la surface d'un métal et la pression totale ont une influence directe sur la pression partielle du CO₂. [39]

III.7.1. Facteurs accélérateur de corrosion :**➤ 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 le quelle se trouve le matériau. [40]

➤ Effet de l'acidité :

La susceptibilité du matériau à la corrosion est en fonction de PH de l'électrolyte. Une forte concentration en protons dans la solution augmente l'agressivité du milieu, ce qui modifie les équilibres des réactions chimiques et électrochimiques. La corrosion augmente avec la diminution de pH du milieu. [41]

➤ Régime hydrodynamique :

Le transport des réactifs vers l'interface et des produits de réaction l'électrolyte est de nature à modifier la cinétique des réactions électrochimiques en changeant la concentration des espèces et donc le potentiel d'équilibre. Les conditions hydrodynamiques fixes les vitesses de réactions en contrôlant le transport de matière par établissement d'une couche limite de diffusion des espèces, appelée couche de Nernst, ce qui explique l'importance de l'agitation de l'électrolyte lors des essais de corrosion en laboratoire. [42]

➤ La salinité :

Les chlorures sont des ions agressifs, souvent à l'origine de corrosion localisée, leur présence en solution s'accompagne d'effets complémentaires, d'une part, leur concentration locale induit une acidification du milieu et d'autre part, la salinité une influence sur la conductivité du milieu. [43]

III.8. les acier:

L'acier joue un rôle très important dans la vie quotidienne des hommes. Il est utilisé dans plusieurs domaines. Il est à l'origine de toutes révolutions scientifiques et industrielles grâce à leurs propriétés.

III.8.1. Définition des acier:

Le fer est l'élément chimique de numéro atomique 26, de symbole Fe .[44]

L'acier est un alliage métallique utilisé dans les domaines de la construction métallique et de la construction mécanique. L'acier est constitué de deux éléments au moins, majoritairement le fer puis le carbone dans des proportions comprises entre 0,02 % et 1,67 % en masse. [45]

La teneur en carbone qui confère aux alliages les propriétés d'un minéral appelé «acier». L'acier est développé pour résister aux contraintes mécaniques, aux attaques chimiques ou à une combinaison des deux, et il existe d'autres métaux qui dépendent du fer, pas de l'acier, comme la fonte et les ferro-alliages, par exemple. [46]

III.8.2. Fabrication de l'acier :

L'acier s'élabore actuellement de deux manières : [47]

- Dans un haut fourneau, à partir du minerai de fer et de coke avec réduction du carbone dans un convertisseur.
- Dans un four électrique, à partir d'acier de récupération. On parle d'acier de recyclage ou d'acier électrique.

III.8.3. Différents types des aciers :

Les aciers présentent un très grand nombre de nuances différentes. On peut classer les divers types d'alliages à base de fer selon leur composition chimique ou selon leur domaine d'utilisation. L'adoption de cette dernière nous permet de recenser quatre familles d'aciers: [48]

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

Conclusion

La corrosion est un problème industriel sérieux, car elle peut causer diverses formes de dommages parfois irréparables à l'environnement et même à la vie humaine. en entraînant des pertes de matériaux, d'énergie, d'argent, d'équipement, de matériaux de construction et des perturbations de bon fonctionnement des machines et peut provoquer aussi des problèmes à la santé comme la pollution et la contamination .Le problème de la corrosion nous conduit à la classification des types chimique , électrochimique et biochimique .ainsi que deux principaux forme de corrosion uniforme ou localisée et de trouver la raison de l'existence de toutes sortes.

Puisque ce phénomène peut se manifester sous de nombreuses dommages alors est nécessaire de pensé à des solutions pour l'éviter. Parmi ces moyens de prévention, on citera la protection par revêtement , la protection électrochimique ou la protection par l'utilisation des inhibiteurs. qui jouent un rôle important dans la protection contre la corrosion.

Références Bibliographiques:

- 1 G. Laala ,Tenue à la corrosion des revêtements composites Ni/SiC électrodéposés sur le substrat en acier, Thèse Doctorat en Sciences Génie Mécanique ,Université de Batna-2 Mostefa Ben Boulaïd, 2018, p11.
- 2 B. Nassim et M. Sabrina, Elaboration d'un revêtement à base d'oxyde de cérium destiné à la protection de la corrosion de l'acier en milieu marin , Thèse de Master en Génie Chimique, Université Abderrahmane Mira - Bejaia, 2015, p3.
- 3 Y. Lazhar, Etude de la corrosion localisée par piqûres des aciers inoxydables 304L et 430 : effet de la déformation à froid par traction et laminage. Thèse de Doctorat, Université de Constantine 1, 2013, p13.
- 4 J. Guézennec, Biodégradation des matériaux, Edition quels risque pour la santé et l'environnement , 2017 ,p9.
- 5 Maillet, Interactions argilite de Tournemire / fer métal en contexte in situ : résultats à10 ans de contact, Thèse de Doctorat UFR des Sciences Fondamentales et Appliquées, Université de Poitiers, 2012,p 11.
- 6 D. Boualem, Résine de schinus molle comme inhibiteur vert pour l'acier API 5L X70 en milieu HCl 5% , Thèse de Master en Sciences et Techniques , Université Mohamed Khider de Biskra, 2020, p7 .
- 7 A. Addaou, Corrosion et protection des matériaux, Ecole Supérieure de Technologie, Cour en ligne.
- 8 A. Kamel, L'effet synergétique de la gomme arabique et les halogènes pour l'inhibition de l'acier API5L X70 en milieu HCl ,Thèse de Master Sciences et Techniques, Université Mohamed Khider de Biskra, 2019, p9.
- 9 D. Boubakeur et H.Yahya ,Technique évaluation des inhibiteurs de corrosion par CO₂ dans le champ Hamra ,Thèse de Master en Mécanique des Chantiers Pétroliers, Université Kasdi Merbah Ouargla, 2019, p2.
- 10 B.Abdeljalil et S. Abdel basset, Etude d'inhibition de la corrosion du fer en milieu acide par l'extrait de periploca, Thèse de Master en Génie Chimie , Université de Ghardaïa, 2020, p5.
- 11 A. Imad, Résistance à la corrosion des revêtements composites nickel-alumine sur différents substrats ,Thèse de Magistère en Génie Mécanique, Université Hadj Lakhdar Batna, 2014, p 3.

- 12 K.Fariza et Z. Hayat, Propriétés inhibitrices de l'extrait de la plante d'ortie vis-à-vis de la corrosion de l'acier XC38 en milieu H_2SO_4 , Thèse de Master en Génie Chimique , Université A. M. Oulhadj – Bouira, 2019 , p6.
- 13 B. Lamia , Effet anti corrosif d'une diamine aromatique et de sa base de schiff sur l'acier x52 en milieu HCl 1M, Thèse de Magister en Génie Electrochimique, Université Ferhat Abbas-Setif, 2012 , p07.
- 14 S. Bensaada , Cours de corrosion , livre en ligne ,p158.
- 15 M. Boulkroune, Chimie inhibition de la corrosion du zinc en milieu, Thèse de Doctorat en Sciences en Acide, Université de Constantine,2014, p4 .
- 16 B.Einar, Corrosion and protection, Norway, 2003.
- 17 B. Houda ,Modélisation de l'effet de la corrosion sur des tubes inoxydables destines aux appareils à pression, Thèse De Magister en Génie Mécanique ,Université 20 Aout 1955 Skikda,2014, p5.
- 18 A. Azeddine, Etude du comportement à la corrosion de l'aluminium dans différents milieux, Thèse de Magistère en Science Mécanique , Université de Batna2, p5.
- 19 S. Kherraf, Comportement électrochimique de l'acier A105 dans différents milieux. Influence de quelques inhibiteurs , Thèse de Magister en Chimie Appliquée, Université de Skikda, 2008, p32.
- 20 Z. Imad Eddine ,Etude de l'effet inhibiteur de corrosion des extraits des plantes Lactuca virosa L. et Verbascum thapsus L sur l'acier X60 dans un milieu acide H_2SO_4 2M, Thèse de Master en Chimie , Université de Larbi ben M'hidi d'Oum El Bouagh,2020, p7.
- 21 Syndicat national des entrepreneurs spécialistes de travaux de réparation et renforcement de structures (strres) ,Décembre 2020.
- 22 Y. Guedri , Etude chimique et électrochimique de l'inhibition de la corrosion de l'acier grade B de l'extrait de la plante Unula viscosa dans le milieu HCl 1M , Thèse de Master en Chimie Organique, Université Larbi Tebassi –Tébessa .
- 23 H. Latifa, Étude comparative de la corrosion localisée d'un acier ordinaire et d'un acier inoxydable, Thèse de Magister en Science des Matériaux, Université Hadj Lakhdar-Batna, 2014,p3 .
- 24 O. Kamla et C. Hadjer , Effet des inhibiteurs verts sur la corrosion des aciers ,thèse de Master en génie de l'environnement , Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi, Bourdj Bou Arreridj, 2021,p 4 .
- 25 K. EL GUERMAI , la corrosion ,Université Hassan II- Ain Chok.

- 26 H. Bensabra, Cours de corrosion et protection des métaux, Thèse de Master en Génie des Matériaux, Université de Jijel, (2016).
- 27 B. Grosgeat et P. Colon , La Corrosion , Support de Cours (Version PDF), Université Médicale Virtuelle Francophone,2010.
- 28 M. Hélie, Matériaux métalliques phénomènes de corrosion ,Commissariat à l'Énergie Atomique Université d'Evry - Val d'Essonne.
- 29 D. Mourad et R. Sohaib , Étude électrochimique de l'efficacité inhibitrice des huiles sur la corrosion de l'aluminium, Thèse de Master en Chimie Des Matériaux, Université Mohamed Khider de Biskra , 2020 ,p9.
- 30 O. Dob, Formulation d'une solution aqueuse Anti-corrosive pour les refroidissement des moteurs à combustion interne ,Thèse Magister en Electrochimie-Corrosion , Université DU 20 Aout 1955 – Skikda, 2008, p 24.
- 31 .A. Shanableh, Studies on natural extracts as inhibitors of mild steel corrosion in 1M HCl solution, Phd Thesis, University of Sharjah, 2009.
- 32 I. Lilia, Etude de la corrosion et la protection des pipelines de reseau de collecte d'huile de la region tft –secteur nord, Thèse de Master en Génie de L'environnement. ,Université A. M. Oulhadj– Bouira , 2018 , p29 .
- 33 K. Heythem, Etude l'efficacité de propyltriphenylphosphonium bromide 98% contre la corrosion de l'acier X60 dans un milieu d'acide sulfurique (H_2SO_4) 1M, Thèse de Master en Génie Chimique, Université de Ghardaïa,2019 ,p05.
- 34 N. D. Malha, Etude des performances de l'Extrait de la Sabline Rouge « Spergularia Rubra » comme inhibiteur vert de corrosion de l'acier ordinaire en environnements sévères , Thèse de Master en Génie chimique, Université de Blida 1, 2020, p5.
- 35 A. Even, Compréhension des mécanismes d'inhibition de la corrosion dans le cadre de revêtements hybrides pour pièces aéronautiques, Thèse Doctorat en Mécanique des Solides , des Matériaux, des Structures et des Surfaces, Université de Bretagne Sud, 2019 Français,P20.
- 36 D. Karima, Etude électrochimique de l'efficacité inhibitrice de substances vertes sur la corrosion de l'acier au carbone dans un milieu aqueux, Thèse de Doctorat en Génie Mécanique, Université 20 Août 1955 Skikda, 2018, p17.
- 37 L. Babouri, Etude de la résistance à la corrosion des alliages de cuivre en milieu salin, Thèse de Magister en Chimie Appliquée ,Electrochimie - corrosion, Université du 20 Aout 1955 – Skikda , 2008 , p30.

- 38 H.Salhi, Etude de la boruation des aciers industriels : Modélisation et Expérimentation ,Thèse de Magister en Mécanique des Matériaux, EMP, Ecole Nationale Polytechnique , 2020 , p45.
- 39 M. Bilel , Synthèse des inhibiteurs contre la corrosion des ACIERS , Thèse de Magister en Chimie Analytique et Physique , Université Mentouri-Constantine , 2011, p07 .
- 40 S. Payan, Comportement à la corrosion galvanique de matériaux composites à matrice d'alliage d'aluminium renforcée par des fibres de carbone haut- module, Thèse de Doctorat en Physico-Chimie de la Matière Condensée , Université de Bordeaux, France (2001).
- 41 K. Faiza ,Etude de l'efficacité de deux inhibiteurs de corrosion dans les milieux multiphasiques (Eau , huile et gaz) , Thèse de Magister en Sciences Chimiques ,Université M'Hamed Bougara de Boumerdes, 2008.
- 42 A. Popova *et al* , AC and DC study of the température effect on mild steel corrosion in acid media in the presence of benzimidazole dérivatives ,Corros. Sci, 45(2003)33.
- 43 A.Younssi ,Etude électrochimique du comportement de l'alliage cuivre –zinc (cu-38zn)en milieu acide sulfurique, Thèse de Magister ,Université 20/08/1955 de Skikda, 2014 , p30.
- 44 M. Mehall et E. Benamor ,Identification expérimentale des caractéristiques mécaniques de l'acier X70 D'ALFAPIP , Thèse de Master en Génie Mécanique ,Université Kasdi Merbah Ourgla,2020, p30.
- 45 M. Abdelfattah , Etude de L'effet inhibiteur d'un compose Amide vis-à-vis de la corrosion de L'acier en milieu acide HCl 1M,Thèse de Master en Chimie , Université Abou-Bekr Belkaid – Tlemcen,2019 p 12
- 46 M. B. Zergoune et N. Touban, Etude de L'effet inhibiteur sur l'extrait de plante CalotropisProcera (Krnaka) la corrosion de L 'acier X70 en milieu acide HCl 1M , Thèse de Master en Génie Chimique ,Université de Ghardaïa, 2020 , p24 12-15.
- 47 K. Zahi, Z.Noura ,Etude de l'effet de l'inhibition de l'hydrolat de la plante « Pituranthos Chloranthus » sur la corrosion de l'acier X70 en milieu acide chlorhydrique (HCl) 1M , Thèse de Master en Génie Chimique ,Université de Ghardaïa, 2019 , P16.
- 48 A. Mansar et Z.Messiid ,Approche verte et durable pour la protection d'un acier au carbone contre la corrosion en milieu acide, Thèse de Master en Sciences de la Matière , Université Larbi Tébessi-Tébessa, 2020 , p9 .

Chapitre IV

Les inhibiteurs

IV.1.Introduction :

Les inhibiteurs de corrosion constituent un moyen à part entière de protection contre la corrosion métallique. Ils présentent l'originalité d'être le seul moyen d'intervention à partir du milieu corrosif, ce qui en fait une méthode de contrôle de la corrosion facile à mettre en œuvre et peu onéreuse, pour peu que le ou les produits utilisés soient d'un coût modéré. Les nombreuses études consacrées, depuis une cinquantaine d'années, à ces composés, ont abouti à proposer des produits ou des mélanges de produits précis correspondant à des systèmes de corrosion (couples métal milieu corrosif) donnés. [1]

IV.2. Historique :

Comme pour bien d'autres domaines, il est difficile de déterminer l'origine temporelle exacte de l'inhibition de la corrosion considérée par ailleurs, comme une technologie à part. Les Romains avaient déjà connaissance du phénomène de corrosion. Au premier siècle après Jésus Christ, le grand naturaliste et historien romain, Pline l'Ancien (23-79 après J.C.), mentionne des méthodes de protection pour éviter la corrosion du fer et du bronze: de l'huile ou du bitume pour le bronze, de la poix, du gypse ou de la céruse pour le fer.[2] mentionne des méthodes de protection pour éviter la corrosion du fer et du bronze : de l'huile ou du bitume pour le bronze, de la poix, du gypse ou de la céruse pour le fer. L'étude de la corrosion a débuté aux environs du 17^e siècle, mais ce n'est qu'au cours du 19^e siècle que l'on a étudié scientifiquement les moyens de lutter contre cette corrosion. En effet, il y a quelques décennies, il a été observé que le dépôt calcaire formé à l'intérieur des conduites transportant certaines eaux naturelles protégeait cette conduite ; plutôt que d'améliorer sans cesse la résistance à la corrosion des conduites en agissant directement sur ces dernières, il s'est avéré plus pratique d'ajuster les concentrations minérales des solutions transportées, qui sont à l'origine des dépôts calcaires "protecteurs". [3]

En 1945, on comptait moins de 30 papiers traitant des inhibiteurs. Dans un article de 1948 , Waldrip se référait à un rapport datant de 1943 au sujet de sa discussion concernant la protection contre la corrosion des puits de pétrole. De nombreux articles concernant l'inhibition ont été rédigés durant la période couvrant 1945 à 1954 : ceux- ci traitaient entre autre de l'inhibition dans les domaines de l'aviation, des chaudières, des circuits de refroidissement, des moteurs diesel, des sels de déneigement, des raffineries de pétrole, des pétroliers. [4]

IV.3. Définition:

Les inhibiteurs de corrosion constituent un moyen de lutte original contre la corrosion des métaux. L'originalité vient du fait que le traitement anticorrosion ne se fait pas sur le métal lui-même mais par l'intermédiaire du milieu corrosif. [5]

Selon la norme ISO 8044, un inhibiteur est une substance chimique ajoutée au système de corrosion à une concentration choisie pour son efficacité, celle-ci entraîne une diminution de la vitesse de corrosion du métal sans modifier de manière significative la concentration d'aucun agent corrosif contenu dans le milieu agressif. La définition d'un inhibiteur de corrosion retenue par la "National Association of Corrosion Engineers (NACE)" est la suivante : un inhibiteur est une substance qui retarde la corrosion lorsqu'elle est ajoutée à un environnement en faible concentration. [6]

IV.4. Lutte contre la corrosion :

La lutte contre la corrosion représente toutes les mesures qu'on peut prendre pour protéger les matériaux métalliques contre l'action destructive du milieu. La protection la plus immédiate est de choisir des métaux ou alliages résistant aux milieux agressifs. Et, dès la phase de conception d'une installation, la protection contre la corrosion doit être considérée pour éviter de nombreux problèmes et garantir une certaine durée de vie. [7]

IV.5. Critères de inhibiteur:

- Réduire la vitesse de corrosion du métal sans affecter les propriétés physicochimiques du milieu ou du métal.
- Être stable aux températures d'utilisation et en présence des autres constituants du milieu, en particulier avec les oxydants.
- Être soluble et disperser dans le milieu.
- Être efficace à faible concentration.
- Respecter les normes de non-toxicité.
- Peu onéreux. [8]

IV.6. Utilisation:

Les inhibiteurs ont plusieurs domaines traditionnels d'application: [9]

- Le traitement des eaux (eaux sanitaires ,eaux des procédés industriels ,eaux de chaudières ,etc.)-
- L'industrie du pétrole :forage ,extraction ,raffinage ,stockage et transport ,dans cette industrie , l'utilisation des inhibiteurs de corrosion est primordiale pour la sauvegarde des installations:
- Les peintures ou les inhibiteurs de corrosion sont des additifs assurant la protection anticorrosion des métaux.

IV.7. Conditions d'utilisation:

Un inhibiteur (ou un mélange d'inhibiteurs) peut être utilisé comme unique moyen de protection : [10]

- Soit comme protection permanente.
- Soit comme protection temporaire pendant la période de stockage, de décapage ou de nettoyage). Un inhibiteur peut être combiné à un autre moyen de protection: protection supplémentaire d'un alliage à haute résistance à la corrosion, addition à un revêtement de surface tel que peinture, graisse, huile, etc.

IV.8. Classification de l'inhibiteur:**IV.8.1. Inhibiteur Selon la nature de l'inhibiteur:****IV.8.1.1. Les inhibiteurs organiques :**

Les inhibiteurs organiques représentent un groupe très important d'inhibiteurs de corrosion. L'efficacité des inhibiteurs organiques est liée à la structure, à la concentration et aux propriétés chimiques de la couche formée dans des conditions précisées . L'action d'un inhibiteur organique est le résultat de son adsorption à la surface du matériau . Après cette adsorption à la surface, ils ont une double action ralentissant simultanément les processus anodique et cathodique. [11]

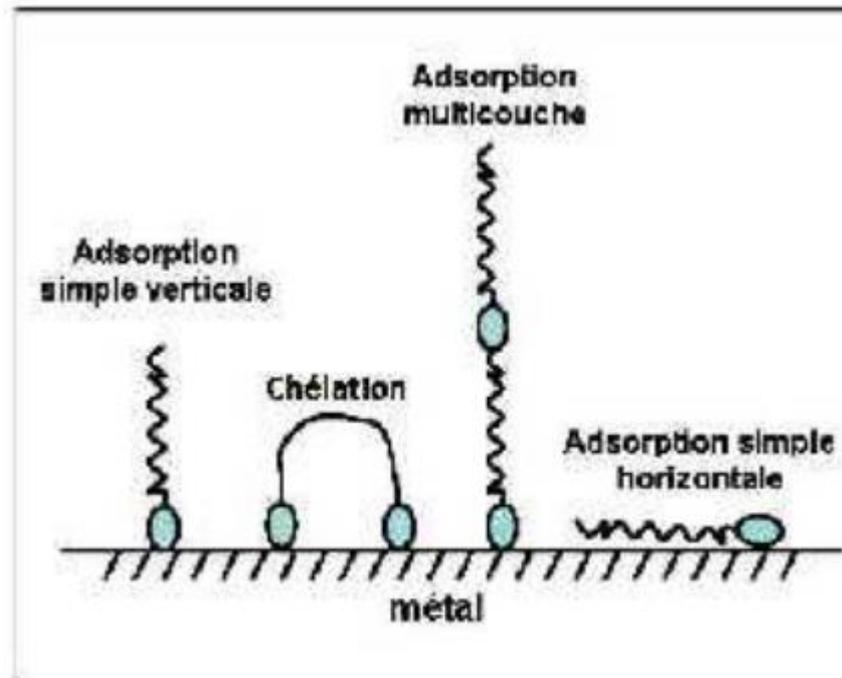


Figure IV.1: Représentation schématique des modes d'adsorption des molécules organiques inhibitrices sur une surface métallique.[12]

IV.8.1.2. 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 leurs produits de dissociation qui assurent les phénomènes d'inhibition (anions ou cations). Les principaux anions inhibiteurs sont les oxo-anions de type XO_n^{4-} tels les chromates, molybdates, phosphates, silicates,... Les cations sont essentiellement Ca^{2+} et Zn^{2+} et ceux qui forment des sels insolubles avec certains anions tels que l'hydroxyle OH^- . Le nombre de molécules en usage à l'heure actuelle va en se restreignant, car la plupart des produits efficaces présentent un côté néfaste pour l'environnement. [13]

IV.8.2. Inhibiteur Selon l'action:

IV.8.2.1. Les inhibiteurs anodiques:

Les inhibiteurs anodiques diminuent la densité de courant de dissolution du métal et déplacent le potentiel de corrosion dans le sens positif. Ce type d'inhibiteurs doit être utilisé en quantité suffisante car dans le cas contraire, ils peuvent accentuer la corrosion des zones non protégées. [14]

IV.8.2.2. les inhibiteurs cathodiques:

Ils agissent au niveau des sites cathodiques microscopiques en diminuant la densité du courant partiel cathodique et déplacent le potentiel de corrosion dans le sens négatif. Ceci se produit par la précipitation des espèces insolubles sur les sites cathodiques. Des ions du cuivre sont utilisés en tant qu'inhibiteurs cathodiques en raison de la précipitation de $\text{Cu}(\text{OH})_2$ aux sites cathodiques.

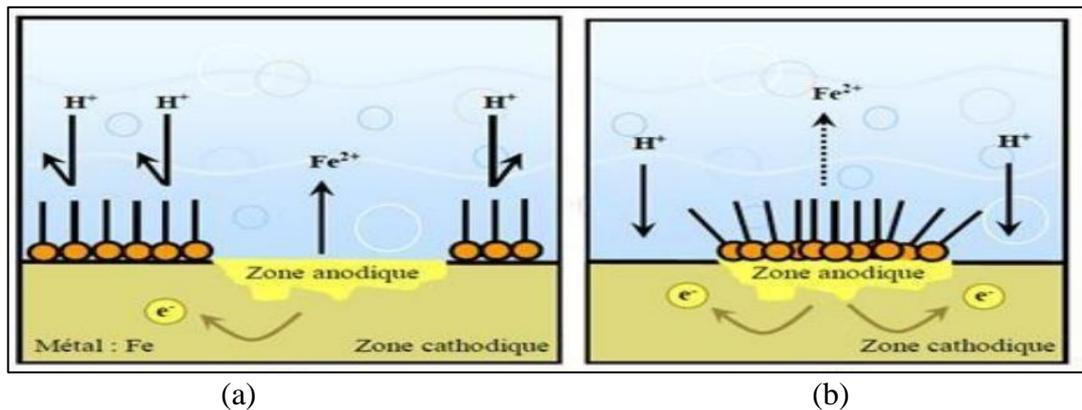


Figure IV.2 : Formation des couches barrières (a) cathodiques et (b) anodiques interférant avec les réactions électrochimiques, dans le cas d'une étude en milieu acide .[9]

IV.8.2.3. Inhibiteur mixtes:

Les inhibiteur de corrosion qui augmentent la résistance ohmique de l'électrolyte sont considérés ,dans certains cas ,comme inhibiteurs filmant (anodique et cathodique).

La résistance de la solution augmente suite à la formation d'un film à la surface du métal.

Lorsque le film est déposé sélectivement sur la surface anodique , le potentiel de corrosion se déplace vers des valeurs positives .Dans le cas où le film est déposé à la surface cathodique , le potentiel de corrosion balance vers des valeurs négatives. [15]

IV.8.3. Inhibiteur selon le mécanisme réactionnel:

Pour inhibiteur par mécanisme réactionnel on peut distinguer différents types d'inhibiteurs: ceux agissant par adsorption, par passivation ou par précipitation:

IV.8.3.1. Les inhibiteurs agissant par adsorption:

Les inhibiteurs agissant par adsorption sont en général les inhibiteurs organiques. Ils empêchent l'action du milieu agressif en se fixant sur la surface du métal. Leur fixation se fait principalement par la fonction active de l'inhibiteur ; cependant, les parties polaires peuvent être également adsorbées. Ceux qui agissent par adsorption chimique s'avèrent souvent plus efficaces que ceux agissant par adsorption physique, car le partage des électrons renforce

la liaison entre le métal et l'inhibiteur. Généralement, en présence d'une chimisorption la molécule inhibitrice agit comme donneur d'électrons alors que le métal agit comme accepteur d'électrons. [15]

IV.8.3.2. Les inhibiteurs de passivation:

Les inhibiteurs de passivation sont des inhibiteurs minéraux, ils provoquent la passivation spontanée du métal en renforçant la couche d'oxyde formée naturellement sur la surface du métal, ils se réduisent sur les pores de la couche d'oxyde/hydroxyde plus au moins protectrice qui se forme naturellement sur la surface métallique. [12]

IV.8.3.3. Les inhibiteurs agissant par précipitation :

Provoquent la formation d'un film superficiel constitué de sels minéraux ou de complexes organiques peu solubles formé lors de la précipitation des produits de réaction cathodique tout en bloquant la dissolution anodique. Il s'agit généralement de sels d'acide faible et de base forte comme les borates, les silicates, les phosphates, les polyphosphates et les sels de zinc. [14]

IV.8.4. Selon le domaine d'application:**IV.8.4.1. Inhibition en milieu acide :**

Les inhibiteurs en milieu acide sont utilisés pour éviter l'attaque chimique de l'acier durant l'opération de décapage ou de détartrage, qui se font tous en milieu acide. Ils sont employés dans l'industrie pétrolière en les ajoutant aux fluides de forage. Pour le milieu acide, ce sont les inhibiteurs organiques qui sont souvent utilisées , et ceci a cause de leur capacité exceptionnelle a s'adsorbé sur les surfaces métalliques , ce qui bloque les sites électro-actives.[16]

IV.8.4.2. 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. [17]

IV.8.4.3. Inhibition en phase gazeuse :

Ces inhibiteurs sont appliqués pour une protection temporaire des pièces métalliques durant leur transport et stockage. Exemples de telles pièces métalliques sont les machines et les pièces électroniques, Pour les applications en phase gazeuse, des composés organiques avec des pressions de vapeur élevées sont souvent utilisés. [16]

IV.8.4.4. 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.

Les pigments les plus connus sont : L'oxyde de plomb Pb_3O_4 , Le chromate de zinc $ZnCrO_4$. [17]

IV.9. Méthodes des détermination d'efficacité inhibitrice:**IV.9.1. Méthode par perte de masse:**

La méthode de perte de masse a l'avantage d'être facile à mettre en œuvre, de ne pas nécessiter de matériel important, mais ne permet pas l'approche des mécanismes mis en jeu lors de la corrosion. Son principe repose sur la mesure de la perte de poids Δm subie par un échantillon de surface S , pendant le temps d'immersion t dans un solution corrosive. [18]

Le taux de corrosion est donné par la relation suivante : [19]

$$T = \frac{\Delta m}{(S.t)} \dots\dots\dots \text{IV.1}$$

- $\Delta m = m_1 - m_2$
- m_1 : masse de l'échantillon avant test en [g]

- m_2 : masse de l'échantillon après test en [g]
- S : surface de l'échantillon exposé au milieu corrosif en [cm²]
- t : temps d'immersion en [min] .

L'efficacité inhibitrice est donnée par la relation suivante :

$$P(\%) = \frac{m - m_{inh}}{m} \times 100 \dots\dots\dots \text{IV.2}$$

Où : m et m_{inh} sont les pertes de poids de l'échantillon après immersion dans la solution respectivement sans et avec inhibiteur.

IV.9.2.Méthodes électrochimiques :

On peut classé les méthodes électrochimiques en deux groupes: Méthodes stationnaires, et Méthodes non stationnaires(transitoires).

IV.9.2.1.Méthodes stationnaires:

IV.9.2.1.1.Suivi du potentiel en circuit ouvert :

Cette technique simple apporte des informations préliminaires sur la nature des processus se produisant à l'interface métal/électrolyte. Au bout d'un temps suffisamment long pour qu'un régime stationnaire soit établi, l'électrode métallique prend, par rapport à la solution un potentiel, appelé potentiel de corrosion (E_{corr}). E_{corr} est un indicateur qualitatif de l'état de corrosion d'un substrat métallique dans un milieu électrolytique. Cette mesure permet également de connaître la durée d'immersion minimale nécessaire à l'établissement d'un état stationnaire indispensable pour le tracé des diagrammes d'impédance électrochimique. [20]

IV.9.2.1.2.Courbes de polarisation :

La courbe de polarisation de l'interface métal-solution est une caractéristique fondamentale de la cinétique électrochimique, mais ne rend compte que de l'étape la plus lente du processus global à l'interface électrochimique.

Pour déterminer une courbe de polarisation potentiostatique, on applique à l'aide d'un potentiostat, différents potentiels entre l'électrode de travail et une électrode de référence. On mesure le courant stationnaire qui s'établit après un certain temps dans le circuit électrique

entre cette électrode de travail et une contre-électrode. Cette méthode permet de déterminer d'une façon précise les paramètres électrochimiques d'un métal au contact de l'électrolyte à savoir : la vitesse instantanée de corrosion (I_{corr}), le potentiel de corrosion (E_{corr}), les pentes de Tafel, les résistances de polarisations (R_p), les courants limites de diffusion. Elle donne des mesures rapides et sa mise en oeuvre est relativement simple. La détermination de la vitesse de corrosion à partir des courbes de polarisation est étroitement liée à la cinétique régissant le processus électrochimique. Pour déterminer expérimentalement les paramètres électrochimiques (I_{corr} , E_{corr}) une présentation logarithmique de la densité de courant est en général préférable, car elle met en évidence la relation linéaire entre le logarithme de la densité de courant et le potentiel.

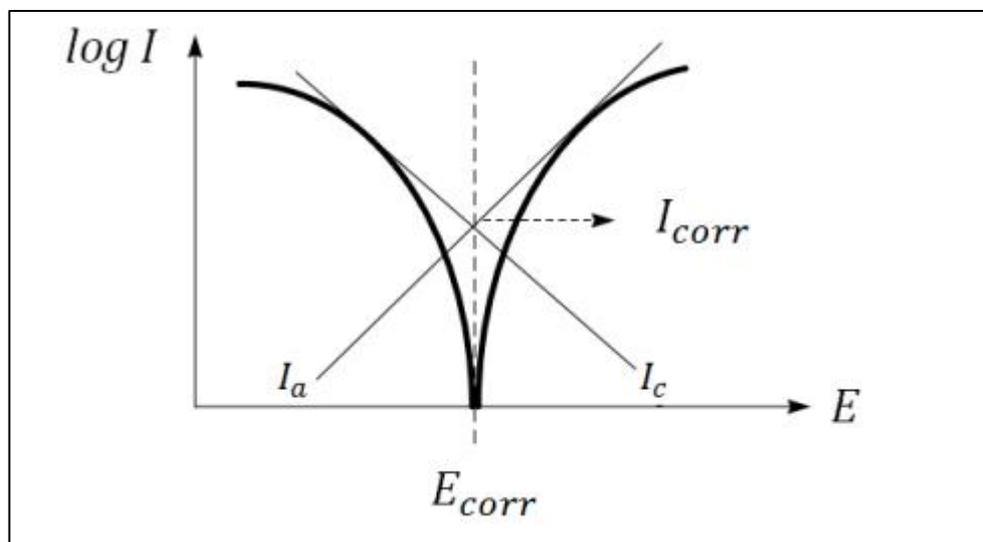


Figure IV.3 : Détermination des paramètres électrochimiques à partir des droites de Tafel.[13]

IV.9.2.1.3. Méthode de Tafel :

La méthode de Tafel partiellement décrite dans la démonstration de l'équation de Butler-Volmer permet d'obtenir expérimentalement ces paramètres électrochimiques. En effet, la relation entre le courant de corrosion et la surtension d'électrode η ($\eta=(E-E_{corr})$), est donnée par la formule simplifiée de l'équation fondamentale de Butler-Volmer :

$$I = I_a + I_c = I_{corr} \left[e^{\left(\frac{2.303}{ba} \eta\right)} - e^{\left(\frac{-2.303}{bc} \eta\right)} \right] \dots \quad \text{IV.3}$$

Où I_a et I_c sont les densités des courants partiel anodique et cathodique, I_{corr} le courant de corrosion, b_a les pentes de Tafel des réactions anodique et cathodique telle que :

$$\left[b_a = \frac{2.303 RT}{\alpha \eta F} \text{ et } b_c = \frac{2.303 RT}{(1-\alpha) \eta F} \right] \dots\dots\dots \text{IV.4}$$

F étant la constante de faraday, R la constante universelle des gaz parfait, T la température absolue, η le nombre d'électrons transférés et α c'est le coefficient de transfert de charge.

Dans le cas de forts surtension anodique (η_a) ou cathodique (η_c) (supérieur à 100 mv, en valeur absolue), l'un ou l'autre des courants anodique et cathodique de la relation de Bulter-volmer devient négligeable et le courant mesuré correspond au courant partiel anodique ou cathodique. Ceci est illustré par la (Figure IV.4) qui représente la courbe de polarisation globale résultante de la somme des deux courbes élémentaires de polarisation (anodique et cathodique qui ne sont pas accessible expérimentalement).

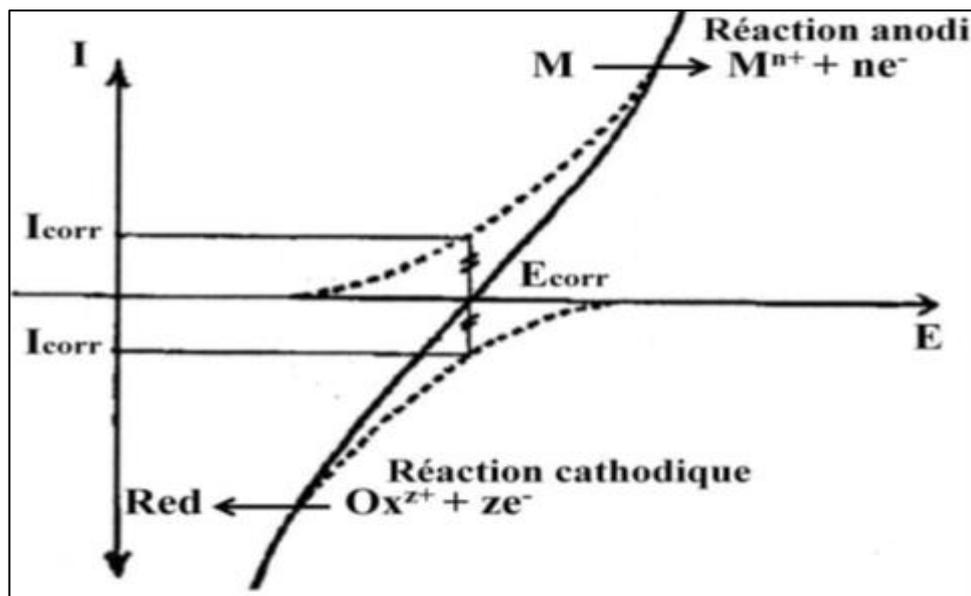


Figure IV.4 : Courbe Intensité-potentiel en échelle linéaire (contrôle par un processus de transfert de charge) ; en pointillés : courbes de polarisation partielles anodique et cathodique.[17]

IV.9.2.2.Méthodes transitoires:

IV.9.2.2.1a spectroscopie d'impédance électrochimique :

La spectroscopie d'impédance électrochimique est une méthode non-stationnaire qui permet d'avoir des informations sur les étapes élémentaires qui constituent le processus

électrochimique global. Son principe consiste à superposer au potentiel de l'électrode une modulation de potentiel sinusoïdale de faible amplitude et à suivre la réponse en courant pour différentes fréquences du signal perturbateur.

La réponse en courant est également sinusoïdale, superposée à un courant stationnaire mais déphasée d'un angle ϕ par rapport au potentiel. Inversement, un courant peut être imposé et le potentiel enregistré (**Figure IV.4**).

Le système électrochimique peut, en effet, être considéré comme une "boîte noire" qui réagit en émettant un signal $y(t)$ quand il est soumis à une perturbation $x(t)$ (**Figure IV.5**). Les deux signaux sont alors reliés par une fonction de transfert $H(\omega)$ telle que :

$$y(\omega) = H(\omega)X(\omega) \dots\dots\dots \text{IV.5}$$

$X(\omega)$ et $y(\omega)$ étant respectivement les transformées de Fourier de $x(t)$ et $y(t)$.

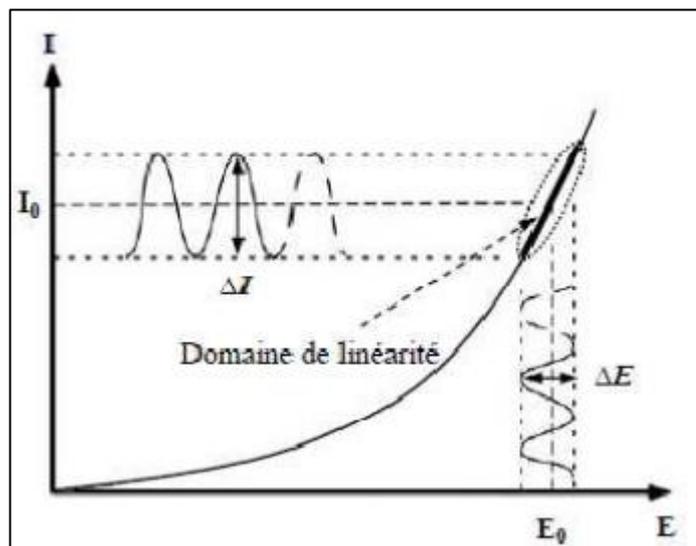


Figure. IV.5: Schéma d'un système électrochimique non linéaire soumis à une perturbation sinusoïdale.

L'expression totale de la tension est donnée par l'équation :

$$E(t) = E_0 + |\Delta E| \sin(\omega t) \dots\dots\dots \text{IV.6}$$

Avec $\omega = 2\pi f$ (pulsation), f correspond à la fréquence de perturbation en Hz .

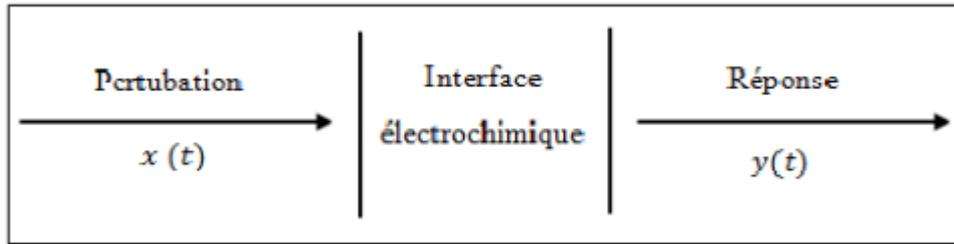


Figure. IV.6: Schéma d'une fonction de transfert.

La réponse en courant sinusoïdal obtenue après un temps de relaxation, se surimpose alors au courant continu de polarisation I qui définit l'état stationnaire étudié, avec un déphasage φ entre ΔE et ΔI . Son expression est de l'équation suivante :[10]

$$I(t) = I_0 + |\Delta I| \sin (\omega t + Q) \dots\dots\dots \text{IV.7}$$

Conclusion

L' inhibiteur de corrosion c'est un moyen de protection contre la corrosion des métaux et des aciers , cette méthode nécessite des connaissances, des conditions plus particulièrement et de certaines manières .

Les inhibiteurs sont des substances qui retardent la corrosion, en général vous utilisez pour diminuer le taux de corrosion .

Références bibliographiques:

- 1 A. Fiala , Synthèses et caractérisations de nouvelles molécules contenant du soufre et de l'azote, études de leur effet inhibiteur sur la corrosion des métaux de transition application à la protection du cuivre en milieux acides, Thèse de doctorat en chimie, Université Mentouri Constantine,2007,p5.
- 2 D. Karima , Etude électrochimique de l'efficacité inhibitrice de substances vertes sur la corrosion de l'acier au carbone dans un milieu aqueux, Thèse de Doctorat en Mécanique des Matériaux et des Surfaces, Université 20 Août 1955 Skikda,2018,p34,42.
- 3 I.Ichchou, Étude électrochimique de l'inhibition classique ou par des monocouches auto-assemblées d'un dérivé de la thiourée, vis-à-vis de la corrosion en milieu acide de l'acier au carbone XC38,Thèse de Magister en Chimie, Université de Abou Bekr Belkaid ,2011,p6.
- 4 M. K. Amine, Etude théorique et expérimentale de l'effet d'inhibition de la corrosion d'un acier au carbone par les dérivées de base de Schiff en milieu acide chlorhydrique, Thèse de Magister en Chimie, université de Abou Bekr Belkaid Telmcen,2013,p7.
- 5 S. Souhila, Synthèse et caractérisation d'inhibiteurs bi- fonctionnels : application à la corrosion des aciers de construction, Thèse de Magister en Electrochimie,2010,p17.
- 6 A.A. Aghzzaf, Argiles en tant que réservoirs d'inhibiteurs de corrosion métallique issus de ressources naturelles dans des peintures pour la protection des métaux, Université de Lorraine Français,2014,p30.
- 7 F. Constantin , Etude de l'efficacité d'inhibiteurs de corrosion utilisés dans les liquides de refroidissement , Universitatea din Pitești ,2011,p25.
- 8 N.D. Malha , Etude des performances de l'Extrait de la Sabline Rouge « Spargularia Rubra » comme inhibiteur vert de corrosion de l'acier ordinaire en environnements sévères , Thèse de Master en Génie Chimique, Université de Blida 1,2020,p8.
- 9 K.Faiza ,Etude de l'efficacité de deux inhibiteurs de corrosion dans les milieux multiphasiques (Eau , huile et gaz) , Thèse de Magister en Sciences Chimiques, Université M'Hamed Bougara de Boumerdes,2008,p11,17.
- 10 H. Hanane , Synthèse, caractérisation et étude du pouvoir inhibiteur de nouvelles molécules bases de Schiff, Thèse de Doctorat en Génie Électrochimique, Université Ferhat Abbas – Setif-1,2015,p4,39,40.

- 11 K. Fariza et Z. Hayat, Propriétés inhibitrices de l'extrait de la plante d'ortie vis-à-vis de la corrosion de l'acier XC38 en milieu H_2SO_4 , Thèse de Master en Génie Chimique , Université A. M. Oulhadj – Bouira, 2020, p21.
- 12 D.MERIEEM, Élaboration et étude expérimentale et théorique des propriétés inhibitrices de corrosion de nouveaux dérivés d'éthyle hydrogène [(méthoxyphényl) (méthylamino) méthyl] phosphonates, Thèse de Doctorat en Electrochimie des Matériaux, Université Ferhat Abbas- Sétif-1, 2020, p33.34.
- 13 Z. Imad Eddine , Etude de l'effet inhibiteur de corrosion des extraits des plantes *Lactuca virosa* L. et *Verbascum thapsus* L. sur l'acier X60 dans un milieu acide H_2SO_4 2M, Thèse de Mémoire de Master en Chimie Analytique , Université de Larbi ben M'hidi d'Oum el Bouaghi, 2020, p16,19,20.
- 14 B. Fatima et I. Djohra , Etude de l'inhibition de la corrosion de zinc dans l'acide chlorhydrique par l'extrait de la plante d'Ortie., Mémoire de fin d'études , Thèse de Master en Génie Chimique , Université A. Mira – Bejaia, 2017, p19.20.
- 15 M.bilel intitule, Synthèse des inhibiteurs contre la corrosion aciers, Thèse de Magister Electrochimie, Université Mentouri Constantine, 2011, p14.15,33.
- 16 Abdeljalil et S.Abdel Basset, Etude d'inhibition de la corrosion du fer en milieu acide par l'extrait de periploca, Thèse de Master en Génie Chimie, Université de Ghardaïa, 2020, p37,38.
- 17 K. Heythem, Etude l'efficacité de propyltriphenylphosphonium bromide 98% contre la corrosion de l'acier X60 dans un milieu d'acide sulfurique (H_2SO_4) 1M, Thèse de Master en Génie Chimique, Université Ghardaïa , 2019, p27,34.
- 18 K. Mansouri et al , Electrochemical and gravimeter study on corrosion inhibition by (methoxymethyl) triphenylphosphonium chloride in acid media H_2SO_4 0.5M, Asian J. Research Chem. 15(1): January - February 2022, université de Ghardaia.
- 19 M.Lebrini, Synthèses et études physicochimiques de nouveaux thiazoles inhibiteurs de corrosion de l'acier en milieu acide, Thèse de Doctorat, Université des Sciences et Technologies de Lille, Novembre 2005.
- 20 Y. Thiziri et K. Kenza, Utilisation de l'extrait de la verveine citronnelle comme inhibiteur de corrosion de l'acier X42 dans le milieu HCl 0,5M, Thèse de master en Génie chimique, Université A. Mira – Bejaia 2021, p32.

Chapitre V
Matériels et
méthodes

V.1. Introduction :

Dans ce chapitre nous avons a présenté les matériaux, matériels utilisés, les solutions d'étude, les méthodes expérimentales, la discussion des résultats obtenu , pour but d'étude la corrosion d'acier X70 dans un milieu 1M de HCl et l'efficacité inhibitrice d'extrait de *Oudneya africana*.

V.2. Procédure expérimentale :

Nous avons fait La partie expérimentale au sien du laboratoire de l'université de Ghardaïa (laboratoire de Génie des procédés Gp4),de bons résultats ont été obtenue grâce à la disponibilité du produits et matériels dans des bonnes conditions.

V.3. Méthode :

V.3.1. Extraction a reflux:

Cette méthode consiste à mettre la poudre des plantes dans de l'eau et chauffer jusqu'à l'ébullition. Ce dernier empêche la perte de réactif ou de produit par évaporation (**Figure V.1**). Dans le vase à réaction (souvent un ballon), du fait de l'augmentation de la température, certaines espèces chimiques s'évaporent. Ces espèces chimiques montent alors dans le réfrigérant. De l'eau froide s'écoule en permanence dans ce réfrigérant, au contact des parois, les gaz refroidissent et se condensent sous formes de gouttelettes sur les parois du réfrigérant et finissant par retomber dans le vase à réaction.

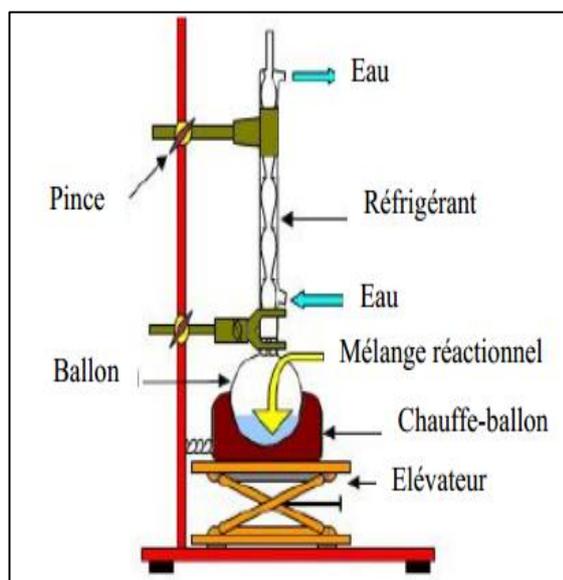


Figure V.1 : Montage de chauffage à reflux simple.[1]

V.3.2.Filtration:

La filtration est un procédé de séparation permettant de séparer les constituants d'un mélange qui possède une phase liquide et une phase solide au travers d'un milieu poreux. L'utilisation d'un filtre permet de retenir les particules du mélange hétérogène qui sont plus grosses que les trous du filtre (porosité). Le liquide ayant subi la filtration est nommée filtrat ou perméat, tandis que la fraction retenue par le filtre est nommé des résidus. [2]

V.3.3. Perte de masse:

Cette méthode présente l'avantage d'être d'une mise en œuvre simple, de ne pas nécessiter un appareillage important, mais ne permet pas l'approche des mécanismes mis en jeu lors de la corrosion. Son principe repose sur la mesure de la perte de poids Δp subie par un échantillon de surface S , pendant le temps t d'immersion dans une solution corrosive maintenue à température constante. [3]

V.4. Matière et matériels**Tableau V.I :** matières et matériels de l'expérience.

Matériels	Matières
Papier abrasif (1000-1200 – 2000)	Acier X70
Pipette graduée	L'eau distillée
Bécher de 100ml	l'acide chlorhydrique 1M (HCl)
Fiole jaugée 1000 ml	Acétone
File de plastique pour suspension l'échantillon	Plante d'Oudneya Africana
Support	
Balance électrique	
Papier filter	
Montage d'extraction chauffage a reflux	
Eprouvette graduée	
Pied à coulisse	
Entonnoir	

V.4.1. l'acier au carbone (X70) :

Le matériau choisi dans cette étude est l'acier au carbone (X70) qui apporté de ALFAPIPE Ghardaïa . Les échantillons utilisés dans notre expérience , ont été prélevés à partir d'un tube, sous forme cubique de déférentes dimensions $L \times D \times H$.

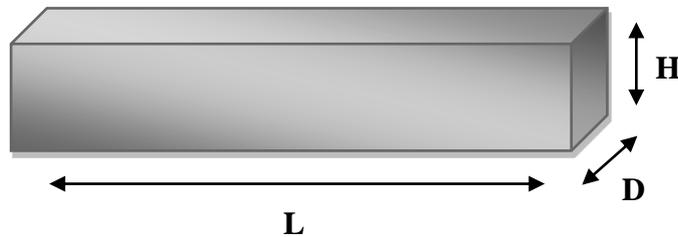


Tableau V.2: Résumé Les compositions chimiques de l'acier X70 .

Designation	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni
Maximum sur produit	0.070	0.372	1.675	0.0092	0.0026	0.089	0.014	0.037

Désignation	Al	Co	Cu	Nb	Ti	V	Sn	Ca
Maximum sur produit	0.0337	0.0072	0.032	0.0562	0.0274	0.0027	0.0025	0.003

Désignation	B	N	Fe	Cu+Ni+Cr+Mo	Nb+V+Ti	CE _{pcm}
Maximum sur produit	0.0003	0.0034	97.5	0.172	0.0863	00.176

V.5 . Préparation d'échantillons :**V.5.1. Préparation d'acier:**

- **Découpage:** Son rôle est de découper la plaque métallique en petite morceaux.



Photo V.1: Scie à ruban.

- **Fraisage:** Son rôle est d'éliminer la surface indésirable.



Photo V.2: Fraiseuse.

- **Polissage à chaud:** c'est l'un des étapes de finition, son rôle est d'éliminer l'épaisseur en excès des morceaux métallique



Photo V.3: Polisseuse à chaud.

- **Polissage à froid:** c'est l'un des étapes de finition, son rôle est de lisser les morceaux métalliques.

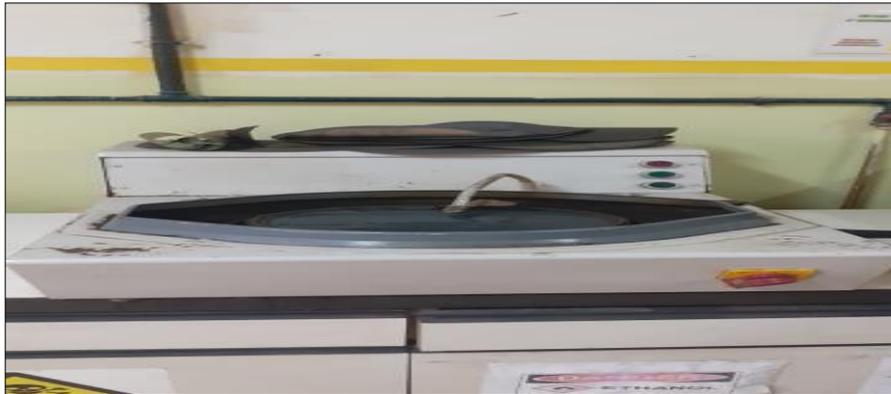


Photo V.4 : Polisseuse à froid.

- **Polissage manuelle des aciers X70**

On utilise la méthode de polissage manuellement sur l'acier X70 par des papiers abrasifs avec des numéros (1000, 1200, 2000) pour éliminer toutes les traces qui sont dans l'acier pour obtenir une bonne pièce de l'X70 afin d'obtenir un bon résultat dans cette expérience.



Photo V.5: Acier X70 avant le polissage



Photo V.6: Acier X70 après le polissage

V.5.2. Préparer l'inhibiteur (l'extrait d'oudneya africana) :

L'inhibiteur utilisée dans ce travail c'est l'extrait d'oudneya africana, pour obtenir la solution inhibitrice, nous effectuons les étapes suivantes:

- On a récolté la plante oudneya africana à partir de la région de Ghardaïa en mars 2022.

- On a nettoyé la plante par l'eau froid puis sécher naturellement au plein air pendant 10 jours.
- On a versé 60g de la plante (les feuilles , les fleurs) avec 1100 ml d'eau distillé dans la boucle de montage à reflux pendant 50 min .
- Après 5 min nous avons arrêté l'opération et laissé la solution refroidir.
- On a filtré la solution , finalement l'extrait inhibitrice est prêt .

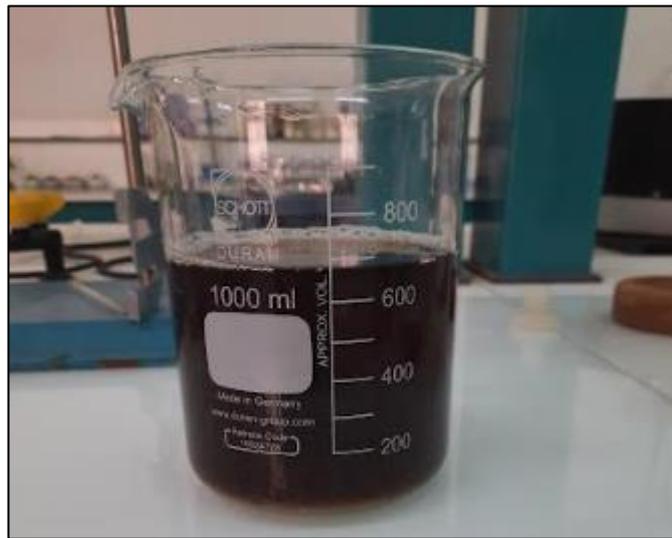


Photo V.7: Inhibiteur (l'extrait d'oudneya africana)

V.5.3. Préparer le milieu corrosif

Le milieu corrosif est une solution de l'acide chlorhydrique HCl 1M, obtenue par dilution avec de l'eau distillée.

$$C = \frac{10.p.d}{M} \dots\dots\dots \mathbf{V.1}$$

- C : la concentration de HCl (mol/l)
- P : pourcentage (37%)
- d : la densité (1.176g/mol)
- M : la masse molaire (36.46g/mol)

A.N :

$$\frac{10 \times 37 \times 1.176}{36.46} = 11.93M$$

On prépare un litre de milieu corrosif :

$$C_1V_1 = C_2V_2 \dots\dots\dots V.2$$

$C_2 = 1 \text{ mol/l}$; $V_2 = 1 \text{ L} = 1000 \text{ ml}$; $C_1 = 11.93 \text{ mol/l}$; $V_1 = ?$.

Alors :

$$V_1 = \frac{C_2V_2}{C_1} = 83.79 \text{ ml}$$

Pour préparer le milieu corrosif de la solution d'acide chlorhydrique, il faut suivi ces étapes respectivement :

- Première étape, nous versons une quantité de l'eau distillée dans une fiole jaugée de 1000 ml, ensuite verser 83.79 ml de l'acide chlorhydrique (HCl) 1 M, par la éprouvette graduée de 100ml.
- Deuxième étape , on complète à 1000 ml par l'eau distillé (H_2O).
- En fin, on a obtenir un milieu corrosif pour utiliser dans cette expérience.



Photo V.8: le milieu corrosif acide chlorhydrique 1M (HCl)

V.5.4.Préparation les essais :

- Pour bécher 01 on aura 100ml de la solution Hcl 1M et 0ml d'extrait inhibitrice ;
- Pour bécher 02 on aura 90ml de la solution Hcl 1M et 10ml d'extrait inhibitrice ;
- Pour bécher 03 on aura 80ml de la solution Hcl 1M et 20ml d'extrait inhibitrice ;
- Pour bécher 04 on aura 70ml de la solution Hcl 1M et 30ml d'extrait inhibitrice ;
- Pour bécher 05 on aura 60ml de la solution Hcl 1M et 40ml d'extrait inhibitrice ;
- Pour bécher 06 on aura 50ml de la solution Hcl 1M et 50ml d'extrait inhibitrice ;
- Pour bécher 07 on aura 40ml de la solution Hcl 1M et 60ml d'extrait inhibitrice ;
- Pour bécher 08 on aura 30ml de la solution Hcl 1M et 70ml d'extrait inhibitrice ;
- Pour bécher 09 on aura 10ml de la solution Hcl 1M et 90ml d'extrait inhibitrice ;
- Pour bécher 10 on aura 0ml de la solution Hcl 1M et 100ml d'extrait inhibitrice ;

on laisse 20min (le temps d'immersion).



Photo V.9: Plonge l'acier X70 dans le milieu
corrosif



Photo V.10: Plonge l'acierx70 dans
l'inhibiteur

V.6. Mode opératoire :

Après apporté des échantillons, doivent être nettoyées ses surfaces selon deux étapes . La première, consiste à frotter la couche des sédiments sur la surface de l'acier par du papier abrasif de 1000,1200,2000 cette opération exige de l'eau distillée pour éviter l'augmentation de température résulté de frottement, qui implique la modification de la structure des échantillons. La deuxième, consiste de nettoyer les échantillons par l'acétone, et enfin obtenir une acier comme une miroir.

Après la préparation des échantillons on mesure les grandeurs suivantes :

- Mesure de La masse des échantillons qui a été préparé (avant l' immersion) m_1 .
- Mesure des dimensions d'échantillons L, H, D, à qui rendre compte de la surface d'échantillon, la relation suivante :

$$S = 2(LD + LH + DH) \dots\dots\dots \mathbf{V.3}$$

Plonge l'échantillon dans les béchers qui contient un volume de l'extrait et volume de 1M HCl qui a été fixée avec une film en plastique pendant un temps d'immersion définie (20min). Et puis retire et sèche . finalement mesure le poids et enregistré après la corrosion m_2 .

Pour le calcul :

On a utilisé la formule suivant pour les calculs de la perte de masse:

$$\Delta m = m_1 - m_2 (g) \dots\dots\dots \mathbf{V.4}$$

La vitesse de corrosion :

$$V = \frac{\Delta m}{S.t} (g/cm^2.min) \dots\dots\dots \mathbf{V.5}$$

- S : la surface de l'échantillon.
- t : le temps d'immersion.

La vitesse de corrosion :

$$V' = K.V (mm/ans) \dots\dots\dots \mathbf{V.6}$$

Ou : $K = 1123076.92$.

Le rendement d'inhibition est calculé à partir de la relation suivant :[4]

$$R(\%) = \frac{[V-V_i]}{V} 100 \dots\dots\dots \mathbf{V.7}$$

- V : la vitesse de corrosion sans inhibiteur
- V_i : la vitesse de corrosion en présence d'inhibiteur.

Reference bibliographique:

1. K. Fariza et Z.Hayat, Propriétés inhibitrices de l'extrait de la plante d'ortie vis-à-vis de la corrosion de l'acier XC38 en milieu H_2SO_4 ,Thèse de Master en Génie Chimique ,Université A. M. Oulhadj - Bouira,2020,p26.
2. B. Souhir et B. Habiba, Extraction et caractérisation de la substance active de curcumine, thèse de master en Chimie Pharmaceutique, Université Larbi Ben M'Hidi / Oum El Bouaghi ,2019,p32.
3. B. Abderrahim, Comportement à la Corrosion d'un Acier Doux, dans un Milieu à Différents PH, en Présence de $ZnCl_2$, Thèse de Magister, Université Hadj Lakhdar de Batna,22010,p2
4. M.Benzargoun et N.Touban, Etude de L'effet inhibiteur sur l'extrait de plante CalotropisProcera (Krnaka) la corrosion de L'acier X70 en milieu acide HCl 1M , Thèse de Master en Génie Chimique, Université de Ghardaia,2020, P60.

Chapitre VI
Résultats et
discussions

VI.1. Introduction:

La vitesse de corrosion de l'acier immergé dans solution sont déterminés par méthode de perte de masse. Les expériences de ce travail sont réalisés avec l'addition des inhibiteurs de corrosion dans un but de déterminer la concentration optimale assurant une protection maximale de l'acier.

VI.2. Détermination La perte de masse:

Pour déterminer la perte de masse fait les étapes suivantes :

- On prépare 10 échantillons selon les conditions cités dessous (polissage et rinçage)
- On prend 10 bécher et les remplit par l'acide HCL 1M et l'extrait d'oudneya africana , chaque bécher contiens un échantillon pesé avant et après l'imméré (t=20min) de déferents pourcentage d'extrait d'ordre croissant ; 0 , 10, 20, 30, 40, 50, 60,70,90,100 on obtient les résultats suivants :

Tableau VI.1: Présentée la déference volume d'extrait .

	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	90%	100%
m₁	39.2203	38.9112	41.8262	40.1678	39.5290	42.1009	41.8400	39.2228	42.7245	41.7403
m₂	39.2169	38.9079	41.8252	40.1673	39.5280	42.1001	41.8399	39.2226	42.7235	41.7397
Δm	0.0034	0.0033	0.0010	0.0005	0.0010	0.0008	0.0001	0.0002	0.0010	0.0006

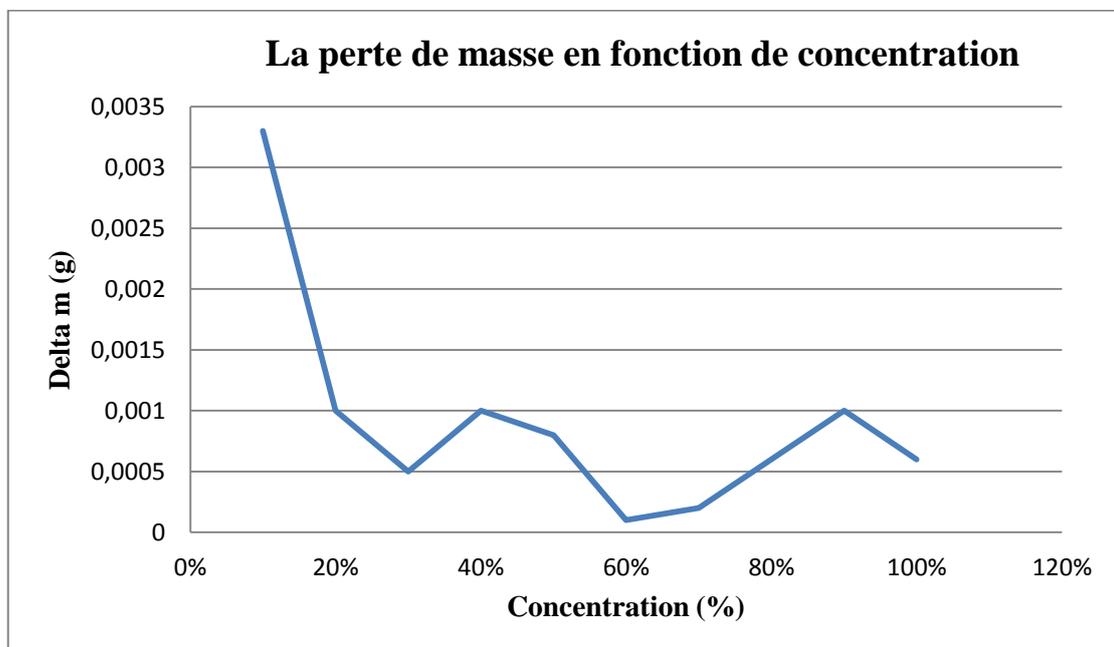


Figure VI.1 : La perte de masse en fonction de concentration.

➤ Interprétation

Ce graphe présente la déference de masse en fonction du pourcentage d'extrait .

On observe au début à 0% une diminution de la perte de masse jusqu'à 30%, après il y a une augmentation à 40% après on a une diminution lente jusqu'à 60 % ,puis une augmentation à 90% . On remarque que le meilleur pourcentage à 60% d'extrait d'oudneya africana donc 40%de acide HCl 1M.

VI.3. Etude de l'efficacité inhibitrice :

Après 20 min d'immersion des échantillons en enlève ce dernier



Photo VI.1: L'échantillon avant immersion

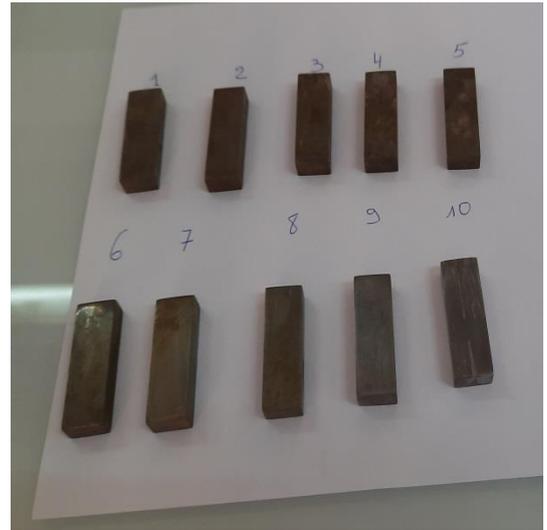


Photo VI.2: L'échantillons après immersion

➤ Interprétation :

Après 20min on enlève les échantillons, On observe que l'échantillon immergé à une concentration de faible est corrodé de tous les faces, et de concentration fort est corrodé de 2ou 3 faces seulement.

Après ces résultats, nous concluons qu'il y a une relation entre la concentration de solution inhibitrice et la corrosion Tel que la concentration augmente, la corrosion diminue.

Tableau VI.2: Les mesures des différentes Paramètres de l'acier X70 en absence et présence d'inhibiteurs.

Le temps de immersion est 20min.

Le pourcentage d'extrait %	Δm (g)	Surface (cm ²)	V (g/cm ² .min)	V' (mm/ans)	R %
0%	0.0034	21.5370	$7.89338 \cdot 10^{-6}$	8.86487	-
10%	0.0033	21.57155	$7.64896 \cdot 10^{-6}$	8.59037	3.0964
20%	0.001	22.20017	$2.25223 \cdot 10^{-6}$	2.52943	71.467
30%	0.0005	21.93787	$1.13958 \cdot 10^{-6}$	1.27984	85.563
40%	0.001	21.60586	$2.31419 \cdot 10^{-6}$	2.59901	70.682
50%	0.0008	22.42388	$1.78381 \cdot 10^{-6}$	2.00336	77.401
60%	0.0001	22.10406	$2.26203 \cdot 10^{-7}$	0.25404	97.134
70%	0.0002	22.02632	$4.54002 \cdot 10^{-7}$	0.50988	94.248
90%	0.001	22.34358	$2.23778 \cdot 10^{-6}$	2.51319	71.650
100%	0.0006	22.17355	$1.35296 \cdot 10^{-6}$	1.51948	82.860

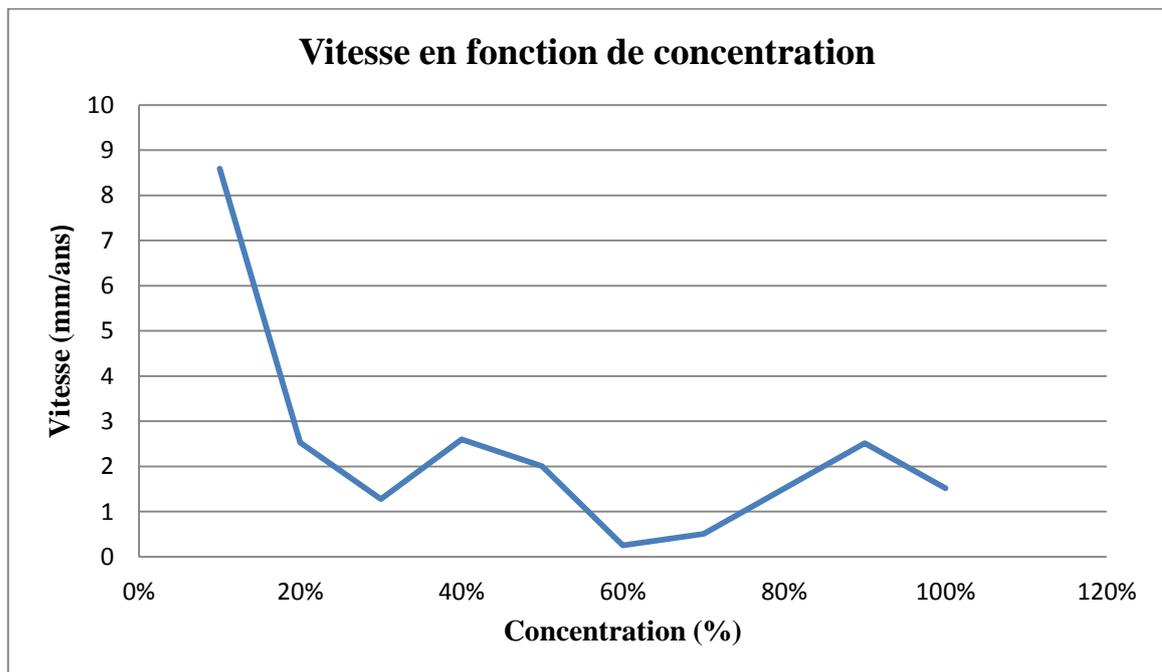


Figure VI.2: La vitesse en fonction de concentration

➤ **Interprétation**

D'après la (FigureVI.2) On peut conclure que la vitesse de corrosion de l'échantillon immergés dans le milieu corrosif en absence et présence de l'inhibiteur (extrait oudneya africana) présente une diminution de vitesse jusqu'à 30% puis augmente à 40% et ré-diminué

atteindre la vitesse minimale à une concentration de 60% après cette valeurs la vitesse augment.

D'après ces résultats vous ne concluez que *extrait oudneya africana* est un bon inhibiteur est vitesse (0.25404mm/ans) à concentration de 60%.

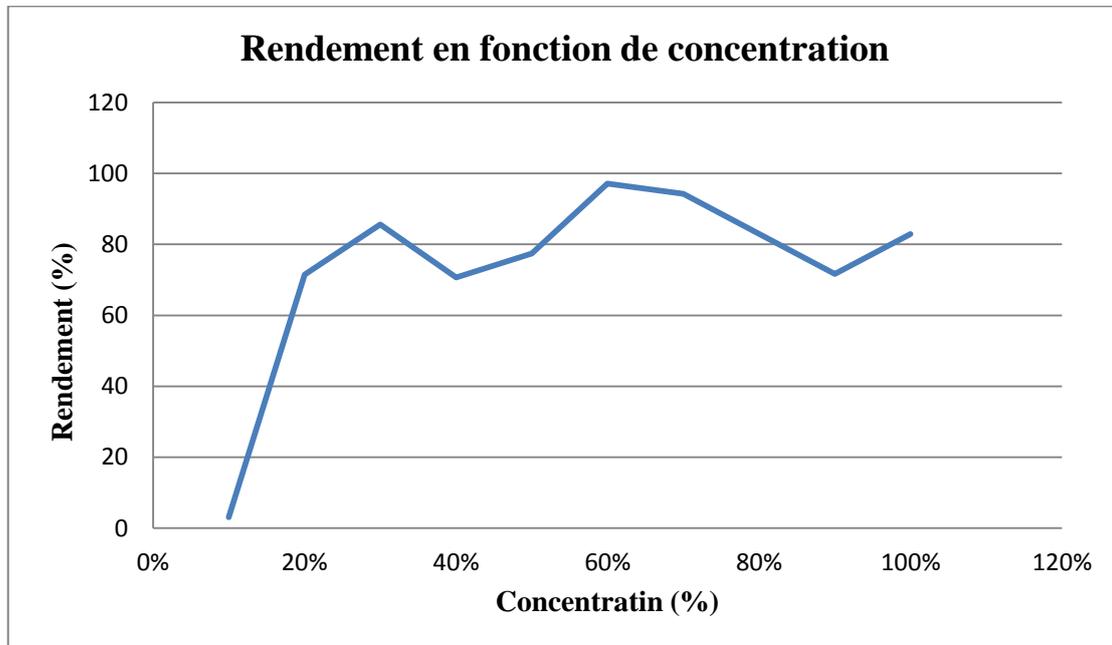


Figure VI.3: le rendement en fonction de concentration

➤ Interprétation

D'après la (**figureVI.3**) On peut conclure que le rendement de l'échantillon immergés dans le milieu corrosif en absence et présence de l'inhibiteur (*extrait oudneya africana*) présente une augmentation de rendement jusqu'à 30% puis augmente à 40% et ré-augmenté atteindre le rendement maximale à une concentration de 60% après cette valeurs la vitesse diminué.

D'après ces résultats vous ne concluez que *extrait oudneya africana* est un bon inhibiteur est efficacité (97.134%) à concentration de 60%.

V.4.Discussion des résultats :

Grâce les courbes et les tableaux obtenue à partir de la méthode de la perte de masse, nous concluons que:

- L'effet de concentration d'inhibiteur sur la vitesse de corrosion. la concentration d'inhibiteur augmente donc la vitesse de corrosion diminue.

- L'efficacité inhibitrice en fonction de la concentration.

La concentration augmente alors l'efficacité inhibitrice augmente, ou la valeur maximale de l'efficacité égale 97.134% à une concentration de 60%.

D'après les résultats obtenus, nous concluons que les inhibiteurs de l'extrait d'*Oudneya africana* ont joué un rôle dans la réduction de la vitesse de corrosion de l'acier X70.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

L'objet de notre travail est porté sur l'utilisation des extraits d'oudneya africana. Afin d'offrir des propriétés inhibitrices de corrosion vis-à-vis de l'acier X70 en milieu acide HCl 1M.

Pour réaliser cette étude nous avons utilisé la méthode de perte de masse. Les principaux résultats de cette étude auxquels nous avons abouti peuvent être résumés comme suit :

La présence d'extrait d'oudneya africana dans l'acide chlorhydrique est très importante . par ce que diminuer la vitesse de corrosion et protéger notre acier contre la perte de masse , c'est-à-dire on va éviter la dégradation de métaux.

A partir de cette étude , nous concluons que la meilleur résultat est obtenu dans le milieu 60% d'extrait d'oudneya africana rendement 97.134%,la valeur de vitesse est 0.25404 mm/ans .

Par conséquence, l'extrait d'oudneya africana est très efficace pour le problème de corrosion.

Recommandation :

Après cette étude nous avons conclure que la plante d'oudneya africana ayant une pouvoir inhibitrice , alors nous recommandons les chercheurs pour continu cette travail et comprendre le mécanisme de protection par l'utilisation d'autre méthode de l'extraction ou les méthode d'étude les inhibiteurs.